



PREVISÃO DE CURTO PRAZO DE RADIAÇÃO SOLAR NO NORDESTE DO BRASIL UTILIZANDO O WRF E REDES NEURAS ARTIFICIAL (RNA)

Francisco J. L. Lima¹, Fernando R. Martins¹, Enio B. Pereira¹
¹INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (Brasil)

INTRODUÇÃO

- A Tecnologia e o desenvolvimento da energia solar no Brasil está atrasada em relação a outros países.
- Estudos anteriores apontaram que a energia solar poderia estar em todo território brasileiro.
- Leilões de energia solar estão sendo realizadas, a fim de aumentar a participação e estimular o setor de energia a investir e desenvolver aplicações de energia solar.
- Além disso, este é o momento adequado para pesquisar e desenvolver uma metodologia para fornecer previsões de curto prazo da radiação solar, levando em consideração as características do território brasileiro.

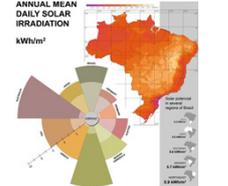


Figura 1. Média anual dos recursos solares no Brasil em comparação com outros países (Fonte, Pereira et al., 2006).

MATERIAIS E MÉTODOS

- Os dados observacionais utilizados neste estudo são de radiação solar horária que foram adquiridas em 110 estações meteorológicas automáticas administrada pelo INMET.
- Os dados para o período chuvoso, no Nordeste brasileiro, foram adquiridas em Maio/2009, ao longo da estação seca foi adquirida os dados para setembro/2009.
- A técnica de análise de cluster foi aplicado a fim de delinear o nordeste em sub-regiões similares para a radiação solar.

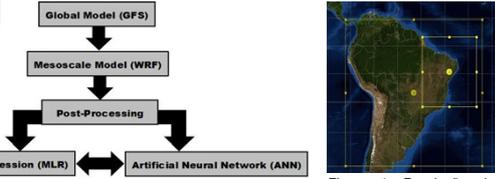


Figura 2. Localização das estações sobre o Nordeste do Brasil.

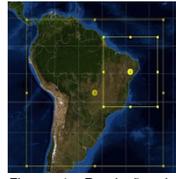


Figura 4. Resolução do modelo WRF e suas respectivas Grades.

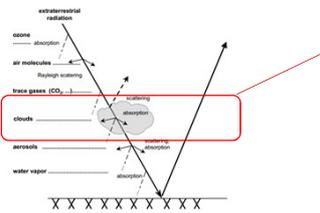


Figura 5. Ilustração do modelo de Céu Claro

- Nuvens altas (clfhi), nuvens médias (clfmi) e nuvens baixas (clflo) do modelo WRF.
- Aplicar regressão linear múltipla com k^* e a cobertura de nuvens de modelo WRF.
- O modelo de céu claro usado foi proposto por Dumortier (1998).
- Finalmente, uma correção relacionando a cobertura de nuvem do modelo e o modelo de céu claro é usado.

$$Irradiation = (a(clflo) + b(clfmi) + c(clfhi) + c)ClearSky \quad (eq.1)$$

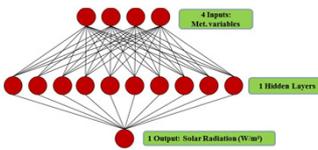


Figura 6. Modelo de Rede Neural Artificial (MLP).

- Abordagem: Redes Neurais MLP, uma camada oculta (Sailor, 1999)
- Entradas: 4 possíveis variáveis do modelo WRF; (ClearSky, clflo, clfmi, clfhi)
- Alvo: Radiação solar medida.
- RNA Algoritmo de Treinamento: Levenberg-Marquardt backpropagation
- Amostras de distribuição: 60% treinamento; 40% validação.

RESULTADOS

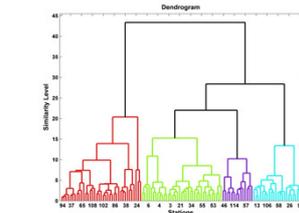


Figura 7. Dendrograma obtido a partir da análise de agrupamento dos dados adquiridos em 110 estações meteorológicas automáticas utilizando o método hierárquico aglomerativo de Ward.



Figura 8. Distribuição das quatro áreas semelhantes na região Nordeste do Brasil.

RESULTADOS

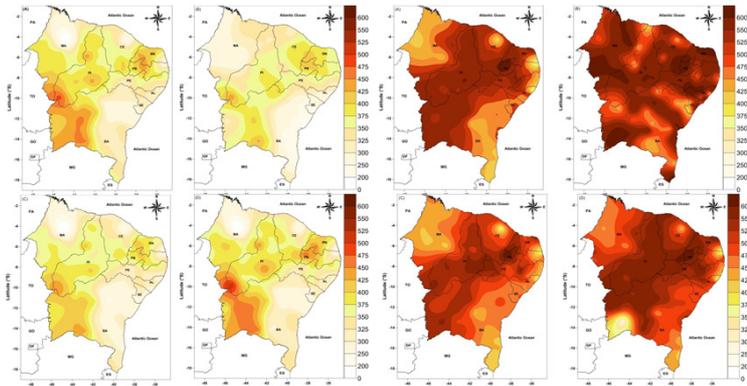


Figura 9. Mapa da radiação solar (W/m²) para Maio/2009 (período chuvoso). (A) dados medidos, (B) modelo WRF, (C) Modelo de RLM e (D) Modelo de RNA.

Figura 10. Mapa da radiação solar (W/m²) para Setembro/2009 (período seco). (A) dados medidos, (B) modelo WRF, (C) Modelo de RLM e (D) Modelo de RNA.

Tabela 01. Índices estatísticos fornecidas pelos modelos WRF, RLM e RNA para Maio/2009.

MODELOS	WRF	RLM	RNA	WRF	RLM	RNA	WRF	RLM	RNA	
ID	INDECEZ									
46	A DO GURGUEIA	50,75	-14,88	-7,85	0,57	0,37	0,31	0,69	0,82	0,85
90	S R DE CASSIA	-56,47	-28,19	-4,23	0,48	0,32	0,29	0,74	0,84	0,86
93	B J DA LAPA	-67,15	-27,15	0,04	0,52	0,29	0,28	0,66	0,86	0,85
99	BECE	-87,77	-30,22	-0,41	0,61	0,31	0,28	0,66	0,87	0,88
13	MACIÃO	-38,39	-20,22	-24,13	0,83	0,54	0,51	0,54	0,73	0,77
28	MOSSORÓ	-10,67	-24,38	-2,91	0,60	0,41	0,38	0,71	0,81	0,83
54	CALCANHAR	-35,58	-28,16	-15,47	0,89	0,46	0,41	0,73	0,81	0,85
85	ARACAJU	-76,88	-23,13	-13,67	0,84	0,55	0,54	0,56	0,86	0,85
23	CAMP GRANDE	15,89	-15,38	-37,06	0,62	0,42	0,47	0,77	0,81	0,76
62	ARAPIRACA	-47,77	-24,88	-6,07	0,76	0,46	0,48	0,65	0,80	0,80
81	CARAVELAS	-29,64	-25,50	-7,67	0,66	0,40	0,39	0,63	0,79	0,79
112	UNA	-89,01	-24,69	-5,02	0,76	0,42	0,39	0,61	0,80	0,83
9	ESTREITO	-80,28	-33,98	-10,30	0,75	0,49	0,46	0,54	0,73	0,75
18	PARNAIBA	-2,30	-29,61	-6,64	0,70	0,44	0,39	0,68	0,82	0,85
34	TAUA	5,82	-14,64	-6,96	0,63	0,37	0,43	0,74	0,84	0,87
68	ITAIPOCA	-51,45	-25,28	-0,76	0,82	0,51	0,44	0,55	0,78	0,80

Tabela 02. Índices estatísticos fornecidas pelos modelos WRF, RLM e RNA para Setembro/2009.

MODELOS	WRF	RLM	RNA	WRF	RLM	RNA	WRF	RLM	RNA	
ID	INDECEZ									
46	A DO GURGUEIA	47,67	-16,14	-6,67	0,24	0,18	0,15	0,94	0,95	0,96
90	S R DE CASSIA	-117,39	-37,99	-9,85	0,56	0,21	0,18	0,66	0,93	0,94
93	B J DA LAPA	71,41	-33,90	-9,79	0,37	0,24	0,21	0,86	0,90	0,92
99	BECE	-125,38	-43,63	-64,10	0,47	0,22	0,18	0,78	0,93	0,93
13	MACIÃO	-85,77	-36,54	-6,74	0,52	0,13	0,26	0,72	0,85	0,87
28	MOSSORÓ	0,48	-28,00	-23,19	0,29	0,20	0,16	0,90	0,93	0,96
54	CALCANHAR	18,33	-33,77	-15,61	0,22	0,20	0,14	0,93	0,94	0,97
85	ARACAJU	121,52	-20,12	-27,28	0,39	0,32	0,24	0,93	0,98	0,96
23	CAMP GRANDE	79,80	-47,81	-3,52	0,41	0,25	0,24	0,88	0,93	0,93
62	ARAPIRACA	6,90	-39,67	-36,63	0,45	0,30	0,28	0,81	0,87	0,87
81	CARAVELAS	195,62	-28,61	-3,53	0,69	0,41	0,37	0,77	0,79	0,83
112	UNA	103,25	-22,80	-20,94	0,56	0,35	0,32	0,83	0,84	0,83
9	ESTREITO	124,20	-39,94	-29,14	0,49	0,38	0,32	0,72	0,77	0,82
18	PARNAIBA	-138,75	-36,63	-16,46	0,46	0,20	0,16	0,80	0,94	0,95
34	TAUA	-54,22	-21,29	-12,23	0,47	0,27	0,26	0,76	0,90	0,91
68	ITAIPOCA	27,78	-14,34	-4,66	0,38	0,24	0,17	0,85	0,92	0,92

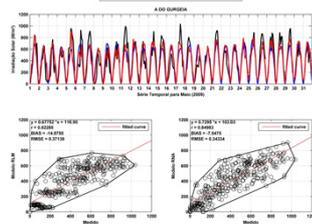


Figura 9. Comparação entre as previsões dos modelos de RLM e o modelo de RNA para o mês de Maio.

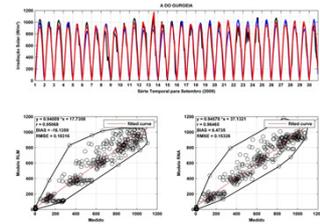


Figura 10. Comparação entre as previsões dos modelos de RLM e o modelo de RNA para o mês de Setembro.

CONCLUSÕES

- O objetivo deste estudo foi desenvolver uma metodologia para o estabelecimento de um sistema de simulação e previsão de radiação solar usando o WRF e os modelos de pós-processamento de RLM e RNA.
- Concluiu-se que a previsão numérica de irradiação solar, com o uso do WRF, em geral, tem um desempenho satisfatório, com boa relação entre os dados de previsão, em comparação com os dados observados e tem correlação média para o mês de maio, período chuvoso e significativa correlações em setembro, período seca, maior intensidade de irradiação.
- Pode-se estabelecer uma metodologia eficiente para a previsão e simulação de radiação solar no Nordeste com o WRF acoplado com um refinamento estatístico com o uso de redes neurais artificiais (RNA) ou regressão linear múltipla (RLM).
- Foi observada com o uso de RNA e RLM uma diminuição significativa no BIAS e RMSE em quase todas as estações do nordeste do Brasil.
- Há um desempenho melhor da RNA em relação a RLM, mas ambos os métodos foram eficientes na melhoria das previsões do WRF. Em resumo, é possível utilizar o modelo WRF para prever a irradiação solar no Brasil com o uso de um devido refinamento estatístico.

AGRADECIMENTOS

Ao INMET pela base de dados observados. Ao Conselho do curso de Pós-graduação em Meteorologia do INPE, à CAPES e ao CNPq pelo suporte financeiro para o desenvolvimento da pesquisa e participação no evento.

