

## EMPREGO DE MODELAGEM NUMÉRICA PARA ESTIMATIVA DE RADIAÇÃO SOLAR NO ESTADO DO CEARÁ

*Francisco José Lopes de Lima<sup>1,2</sup>, Fernando Ramos Martins<sup>1</sup>, Jerfferson Souza,<sup>1</sup>Enio Bueno Pereira<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, Av. dos Astronautas 1758, CEP: 12227-010, São José dos Campos/SP, BRASIL - <sup>2</sup>[francisco.lima@cptec.inpe.br](mailto:francisco.lima@cptec.inpe.br)

**RESUMO:** O conhecimento preciso da radiação solar incidente é de grande importância para o planejamento energético brasileiro, servindo de base para o desenvolvimento de futuros projetos de plantas fotovoltaicas e de aproveitamento da energia solar pelas mais diversas tecnologias. Este trabalho apresenta uma análise da performance de previsão de radiação solar incidente ao nível do solo utilizando os modelos atmosféricos de mesoescala BRAMS e WRF para o estado do Ceará, localizado na região Nordeste do Brasil. Os dados medidos pela rede de plataformas de coleta de dados (PCDs) da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) foram utilizados para o desenvolvimento do estudo. Este artigo contempla 2 períodos do ano de 2009, março e outubro, que apresentam características climáticas diferentes no Nordeste Brasileiro. Conclui-se que para o mês de Março o WRF obteve um melhor desempenho enquanto para Outubro os dois modelos obtiveram desempenho similares.

**ABSTRACT:** The information on the surface solar irradiation will be essential to support Brazilian energy planning, design of PV power plant projects and others commercial and non-commercial use of the solar energy resource. This work presents a comparative analysis for performance of surface solar irradiation forecast by using mesoscale weather models BRAMS and WRF for the State of Ceará, located in northeastern Brazil. The ground data acquired in PCD's network managed by Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) were used. The analyses were performed for 2 months of 2009, March and October, which presents different typical climate characteristics. It was concluded that the WRF provided better short term forecasts for March, while both models showed similar performance in October.

### 1. INTRODUÇÃO

Devido ao uso intensivo dos combustíveis fósseis nas últimas décadas, aumentou significativamente a concentração de gases indutores de efeito estufa na atmosfera, causando o fenômeno conhecido como aquecimento global, que por sua vez obriga a uma mudança significativa na matriz energética mundial devido aos possíveis efeitos nocivos desse aumento da temperatura média do planeta sobre o meio ambiente.

Em resposta a essa demanda, a utilização de fontes alternativas de energias, como a solar, a eólica e a biomassa vem crescendo significativamente nos últimos anos, sendo que os recursos solar e eólico são abundantes no Nordeste do Brasil, onde está inserido o estado do Ceará. O

conhecimento da irradiação solar incidente é assim de grande importância para o planejamento energético brasileiro, servindo de base para o desenvolvimento de futuros projetos de plantas fotovoltaicas e de aproveitamento da energia solar pelas mais diversas tecnologias. Neste sentido, o objetivo deste estudo é fazer uma comparação entre dois modelos de mesoescala, BRAMS e WRF na estimativa de radiação solar para o Estado do Ceará para o ano de 2009 nos meses de Março e Outubro, que são períodos com características climáticas diferentes na região em estudo para uma estação localizada no litoral e outra no interior do Estado.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os dados utilizados nesta pesquisa são os três primeiros dias de observações horárias de radiação solar incidente para um período de dois meses Março e Setembro para o ano de 2009, coletados nas Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) da FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos em duas estações, localizada no Estado do Ceará, Acaraú, Litoral Norte e Acopiara, Sertão Centro-Sul. As PCDs estão equipadas com sensores meteorológicos que medem temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar global, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento e pluviometria. (MENEZES NETO et al., 2009). A localização das estações é apresentada na Figura 1.

As simulações numéricas foram realizadas utilizando-se os modelos BRAMS e WRF. O objetivo foi avaliar a previsão da irradiação solar na superfície fornecidas por esses modelos, em duas localidades uma no interior e outra no litoral para o Estado do Ceará. Foram estabelecidos dois períodos: março de 2009, correspondente à temporada do ano considerado chuvoso; e outubro, do referido ano, correspondente ao período seco.

Na simulação com o BRAMS e o WRF adotou-se duas grades: uma principal que tem uma área retangular com 100 pontos na direção x e 100 pontos na direção y, e espaçamento de 16 km; e a grade aninhada, situada entre os limites do retângulo pequeno em vermelho apresentado na Figura 2, com espaçamento de 4 km, cobrindo toda a extensão do Estado do Ceará. Para a parametrização de radiação, tanto para radiação de onda longa, quanto para onda curta, foram utilizados o esquema Carma para o BRAMS e o esquema Dudhia para o WRF.

Diversas são as formas de comparação de modelos numéricos atmosféricos de mesoescala com dados observacionais. Dentre elas, pode-se destacar a comparação direta entre os dados da simulação numérica computacional com os dados das estações meteorológicas e a análise estatística de erros através de cálculos de erro absoluto, erro quadrático médio e correlação estatística (WEBER e BUCKNER, 1982). Neste trabalho, um conjunto de quatro índices estatísticos foi utilizado: Viés Estatístico, Erro Absoluto Médio, Erro Quadrático Médio e o Índice de Correção.

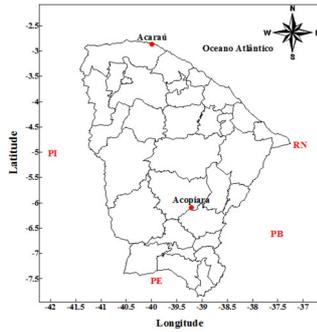


Figura 1. Mapa do estado do Ceará com a localização das estações em estudo.

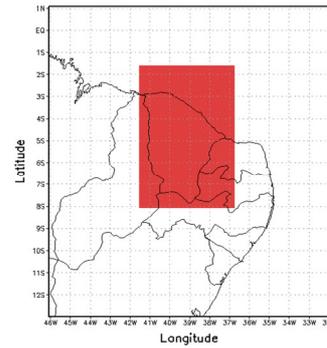


Figura 2. Grades utilizadas para o modelo BRAMS e WRF.

### 3. RESULTADOS

Na Figura 3, observa-se uma concordância entre os valores de irradiação solar estimada pelo os dois modelos, de uma maneira geral os modelos obtiveram uma melhor concordância para a região do litoral que em relação ao interior. Na Figura 4 fica evidente que tanto o BRAMS como o WRF apresentaram uma performance melhor para prever a irradiação solar no litoral cearense do que para o interior do estado.

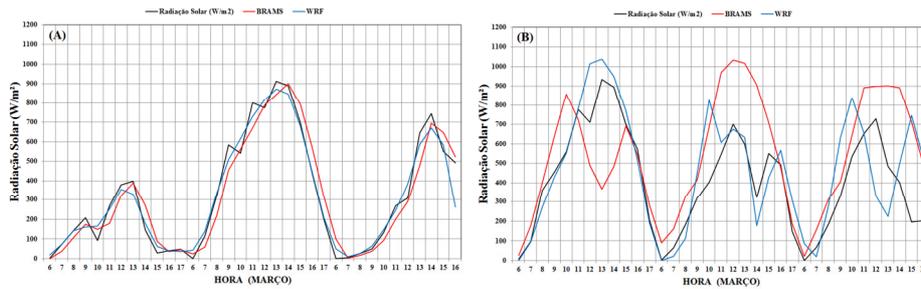


Figura 3. Comparação da irradiação solar na superfície em ( $W/m^2$ ) para Março/2009. A linha preta representa os dados observados, a linha vermelha e azul apresentam as estimativas dos modelos BRAMS e WRF, respectivamente. O gráfico (A) refere-se à Acaraú (Litoral) e (B) corresponde à Acopiara (interior).

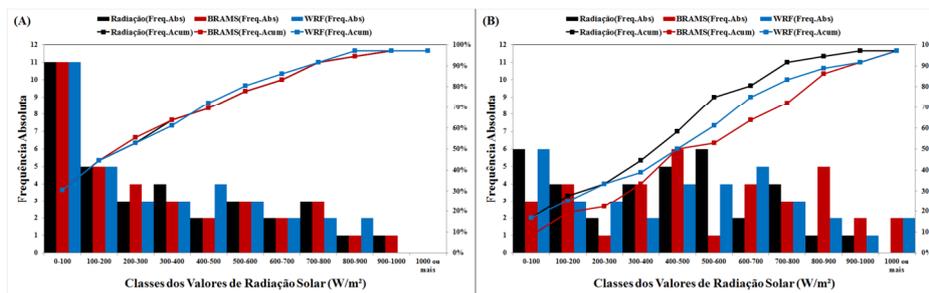


Figura 4. Histograma de frequência absoluta e acumulada para Março de 2009, obtidos a partir dos dados observados (preta), e dos dados estimados pelos modelos BRAMS (vermelha) e WRF (azul). (A) refere-se à Acaraú (Litoral) e (B) corresponde ao resultados para Acopiara (interior).

Tabela 1. Desvios e índices estatísticos para as previsões de irradiação solar fornecida pelos modelos BRAMS e WRF para o mês de Março/2009.

Índice BRAMS (Acaraú)	Valor	Índice WRF (Acaraú)	Valor
Viés estatístico	0,62	Viés estatístico	0,3
Erro Absoluto Médio	3,71	Erro Absoluto Médio	1,45

Erro Quadrático Médio	2,16	Erro Quadrático Médio	0,58
Coefficiente de correlação de Pearson	0,97	Coefficiente de correlação de Pearson	0,98
<b>Índice BRAMS (Acopiara)</b>	<b>Valor</b>	<b>Índice WRF (Acopiara)</b>	<b>Valor</b>
Viés estatístico	8,14	Viés estatístico	4,53
Erro Absoluto Médio	12,12	Erro Absoluto Médio	2,36
Erro Quadrático Médio	55,89	Erro Quadrático Médio	8,09
Coefficiente de correlação de Pearson	0,65	Coefficiente de correlação de Pearson	0,80

A Tabela 1 apresenta todos os índices estatísticos obtidos na comparação das previsões fornecidas pelos modelos de mesoescala e os dados observados nas duas estações. Verifica-se uma performance melhor do WRF tanto para a estação localizada no litoral como para a do interior. As melhores correlações foram encontradas para a estação no litoral enquanto que a estação localizada no interior obteve correlações de 65% e 80% para os modelos BRAMS e WRF, respectivamente.

Na Figura 5, observa-se uma concordância entre os valores de radiação solar estimada pelo os dois modelos, de uma maneira geral os modelos obtiveram uma concordância semelhante para as duas estações em estudo. Observa-se que os dois modelos tendem a superestimar a radiação solar observada para o litoral e para o interior. A Figura 6 evidencia que os modelos BRAMS e WRF tendem a superestimar os dados observados nas duas estações.

Na Tabela 2 se observa que ambos os modelos apresentaram performance similares tanto para a estação localizada no litoral como para a do interior.

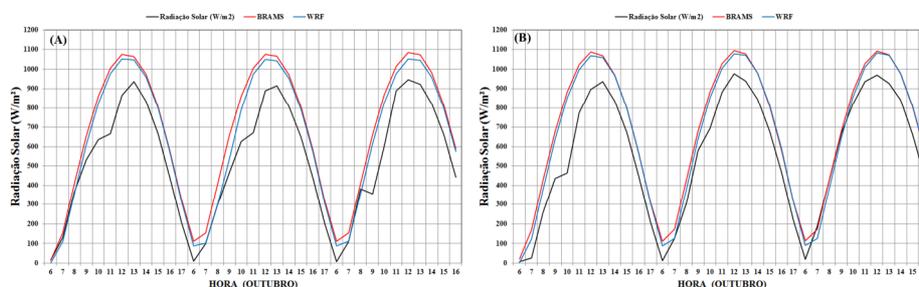


Figura 5. Comparação da irradiação solar na superfície em ( $W/m^2$ ) para Outubro/2009. A linha preta representa os dados observados, a linha vermelha e azul apresentam as estimativas dos modelos BRAMS e WRF, respectivamente. O gráfico (A) refere-se à Acaraú (Litoral) e (B) corresponde à Acopiara (interior).

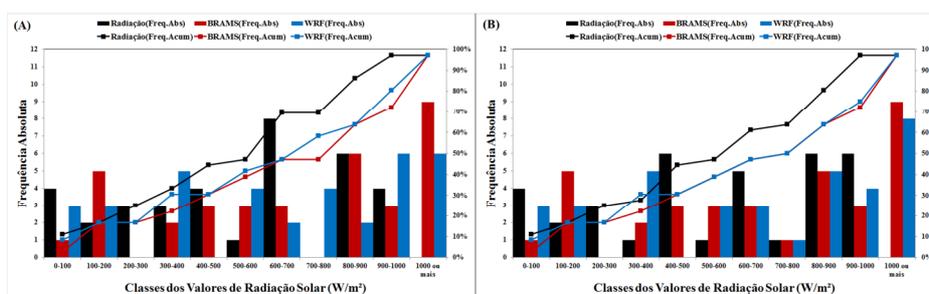


Figura 6. Histograma de frequência absoluta e acumulada para Março de 2009, obtidos a partir dos dados observados (preta), e dos dados estimados pelos modelos BRAMS (vermelha) e WRF

(azul). (A) refere-se à Acaraú (Litoral) e (B) corresponde aos resultados para Acopiara (interior).

Tabela 2. Desvios e índices estatísticos para as previsões de irradiação solar fornecida pelos modelos BRAMS e WRF para o mês de Outubro//2009.

Índice BRAMS (Acaraú)	Valor	Índice WRF (Acaraú)	Valor
Viés estatístico	6,68	Viés estatístico	2,99
Erro Absoluto Médio	9,55	Erro Absoluto Médio	2,26
Erro Quadrático Médio	31,52	Erro Quadrático Médio	0,38
Coefficiente de correlação de Pearson	0,98	Coefficiente de correlação de Pearson	0,98
Índice BRAMS (Acopiara)	Valor	Índice WRF (Acopiara)	Valor
Viés estatístico	5,49	Viés estatístico	2,81
Erro Absoluto Médio	4,15	Erro Absoluto Médio	2,02
Erro Quadrático Médio	19,82	Erro Quadrático Médio	10,78
Coefficiente de correlação de Pearson	0,98	Coefficiente de correlação de Pearson	0,98

#### 4. CONCLUSÕES

Observa-se que para o período chuvoso, nenhum dos dois modelos conseguiu reproduzir as variações referentes à cobertura de nuvem. O WRF obteve os melhores resultados para o período chuvoso que o BRAMS para o mesmo período para todas as localidades avaliadas neste trabalho. No entanto, os dois modelos obtiveram desempenho semelhante para as duas estações durante o período seco com uma tendência a superestimar os dados observados. A continuidade deste trabalho investigará quais as alterações nas parametrizações físicas devem ser realizadas a fim de aprimorar o desempenho dos modelos para o período chuvoso.

#### AGRADECIMENTOS

À FUNCEME pela cessão da base de dados observados nas PCD's do estado do Ceará. Ao Conselho do curso de Pós-graduação em Meteorologia do INPE e a CAPES pelo suporte financeiro para o desenvolvimento da pesquisa e participação no evento. Ao CPTEC pelo apoio e suporte no que se refere ao acesso aos dados de entrada para alimentar os modelos. Ao GMAI pelo suporte técnico na instalação do modelo BRAMS.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MENEZES NETO, O.L., COSTA, A. A., RAMALHO, F. P. Estimativa de radiação solar via modelagem atmosférica de mesoescala aplicada à região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)**, v.24, p.339 - 345, 2009.

WEBER, R. L.; BUCKNER, M.; WEBER, J. Statistical Performance of several mesoscale atmospheric dispersion models. **Journal of Applied Meteorology, NOAA Central Library, Department of Commerce**, v. 21, n. 11, 1633-1644, 1982.