

## SENSIBILIDADE DO MODELO BRAMS PARA ESTIMATIVA DE RADIAÇÃO SOLAR NO ESTADO DO CEARÁ

*Francisco José Lopes de Lima<sup>1,2</sup>, Fernando Ramos Martins<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 avaliação do modelo BRAMS para a estimativa de radiação solar incidente 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 o mês de setembro de 2009, referente à estação seca na região. Conclui-se que para as localidades em estudo o modelo obteve desempenho satisfatório usando o esquema de parametrização do tipo CHEN.

**ABSTRACT:** The forecast of surface solar irradiation will be critical to support Brazilian energy sector, to project and operate PV power plants. Solar irradiation data is also very important for several other commercial and non-commercial uses of the solar energy resource. This work presents a sensitivity analysis of the performance of mesoscale weather models BRAMS in providing surface solar irradiation forecast for the State of Ceará, located in Northeastern region of Brazil. The ground data acquired in PCD's network managed by Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) were used as ground truth. This paper presents the preliminary results obtained for September / 2009, in the middle of dry season at this region. The model BRAMS showed a reasonable performance when CHEN scheme is used as radiative parametrization.

### 1. INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica no Brasil e no mundo vem crescendo e irá praticamente dobrar até o final de 2030, segundo cenário proposto pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2004). Ainda segundo essa agência, a maior parte dessa energia mundial é oriunda de fontes que acarretam e agravam o efeito estufa. No que diz respeito à forma de geração de energia no Brasil, cerca de 75% da energia elétrica provém de usinas hidroelétrica (ANELL, 2007). Essa fonte é considerada renovável e amigável em termos do efeito estufa. No entanto, sua implementação requer rios que tenham grandes vazões ou desníveis acentuados e podem demandar a construção de barragens para controlar a vazão de água tornando a sua implementação dispendiosa tanto do ponto de vista econômico como ambiental devido aos

impactos causados pelo alagamento de grandes áreas e retenção de sedimentos (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

A fim de atender a demanda energética futura com menor impacto ambiental, a utilização de fontes alternativas de energias vem crescendo significativamente nos últimos anos. 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 análise de sensibilidade da influência de três tipos de parametrização dos processos radiativos disponíveis no modelo BRAMS: esquema CARMA, esquema CHEN e parametrização HARRINGTON. Este trabalho apresenta os resultados preliminares deste estudo obtidos por comparação das estimativas de radiação solar para o mês de Setembro de 2009, considerado como período seco no Estado do Ceará. O estudo empregou dados de campo coletados em estações da FUNCEME localizadas em diferentes tipos de clima e altitudes.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os dados utilizados nesta pesquisa são os quatros primeiros dias de observações horárias de radiação solar incidente para o mês de Setembro do ano de 2009, coletados nas Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) da FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídrica em seis estações. A localização das estações, bem como os tipos de clima, altitudes são apresentadas nas Figuras 1a, 1c e 1d, respectivamente.

As simulações numéricas foram realizadas utilizando o modelo BRAMS. O objetivo foi avaliar a melhor parametrização de radiação fornecida por esse modelo, em seis localidades com diferentes tipos de clima e altitude. Acaraú, Icapuí e Araripe apresentam clima tropical quente semi-árido brando. Acopiara está localizada em clima tropical quente semi-árido e Aratuba e Meruoca estão sujeitas à clima tropical quente úmido e subúmido, respectivamente. Quanto à elevação Acaraú e Icapuí são localizadas no litoral cearense, Meruoca, Aratuba e Araripe estão em regiões serranas com altitude aproximadamente de 800m. Acopiara localiza-se a cerca de 300m de altitude. Foi estabelecido o período de setembro de 2009, correspondente à temporada do ano considerado seco, a fim de verificar qual o melhor esquema de parametrização de radiação para esse período do referido ano.

Na simulação com o BRAMS adotou-se uma grade: com uma área retangular com 100 pontos na direção x e 100 pontos na direção y, e espaçamento de 16 km apresentada na Figura 1b. Sempre foi utilizado a mesma parametrização de processos radiativos para radiação de onda longa e para onda curta. Neste estudo foram utilizados os esquemas CARMA, CHEN e HARRINGTON.

Diversas são as formas de verificar o desenvolvimento de modelos numéricos 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 BIAS, RMSE e correlação estatística (WEBER e BUCKNER, 1982).

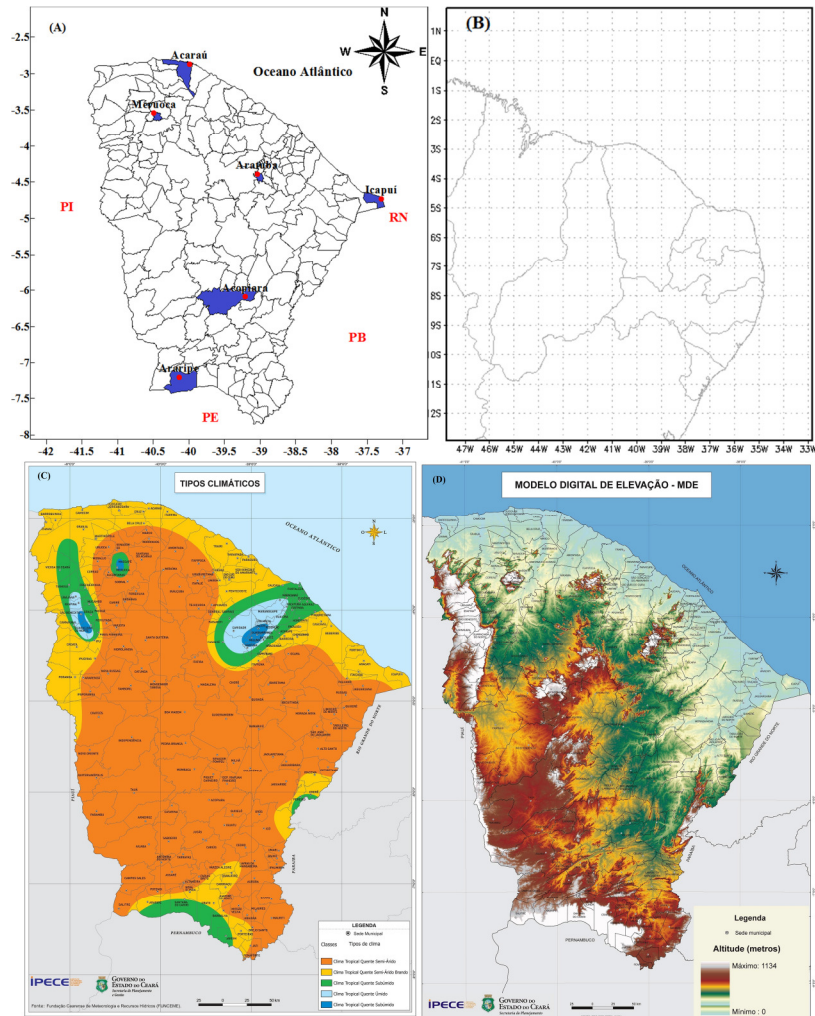


Figura 1. (A) Mapa do estado do Ceará com a localização das estações em estudo, (B) grade utilizado para o modelo BRAMS, (C) Mapas do estado do Ceará com os tipos de clima, (D) Mapa do estado do Ceará com o Modelo Digital de Elevação (MDE).

### 3. RESULTADOS

Na Figura 2 apresenta uma comparação gráfica entre os valores de irradiação solar estimada pelo modelo em todos os esquemas. A parametrização CHEN produziu as estimativas que mais se aproximaram dos valores observados. Observa-se uma forte concordância entre os dados observados e os valores estimados usando o esquema CHEN para as localidades de Acaraú e Icapuí. Pode-se notar que, para o município de Acaraú, o esquema do tipo CHEN simulou de forma satisfatória, enquanto que para Icapuí o modelo superestimou os dados observados em

cerca de  $100 \text{ W/m}^2$  levando em consideração a parametrização do tipo CHEN que foi o melhor esquema verificado em toda a região em estudo.

Os piores resultados foram obtidos para Aratuba que está localizada em uma região serrana e de clima entre tropical quente subúmido e úmido. Provavelmente a causa para essa discrepância tenha sido devido a algum evento de chuva na região decorrentes da característica climática local. Percebe-se que o modelo não conseguiu pegar as variações de nebulosidade em pequena escala em Icapuí, Acopiara, Aratuba, Araripe e Meruoca.

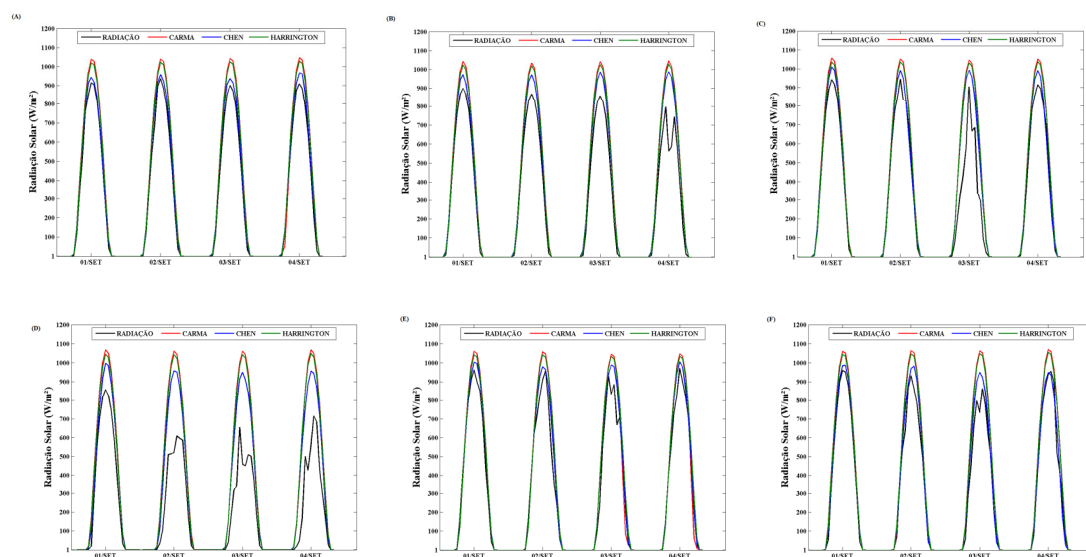


Figura 2. Comparação das estimativas de irradiação solar na superfície em ( $\text{W/m}^2$ ) para SETEMBRO/2009 fornecidas pelo modelo BRAMS utilizando três diferentes esquemas de parametrização dos processos radiativos. A linha preta representa os dados observados, a linha vermelha, azul e verde apresentam as estimativas do esquema CARMA, CHEN e HARRINGTON, respectivamente. O gráfico (A) refere-se à Acaraú, (B) Icapuí, (C) Acopiara, (D) Aratuba, (E) Araripe e (F) a Meruoca.

Observa-se na Tabela 1 uma alta correlação dos dados observados em relação aos simulados pelo modelo em todas as estações demonstrando que o modelo conseguiu a representar tendência dos dados observados. O índice BIAS indica uma forte superestimava da irradiação solar principalmente na estação de Aratuba e Icapuí.. Os valores de RMSE, que indica a dispersão dos desvios, apontam novamente os piores desempenhos em Aratuba e Icapuí. Os valores de RMSE são elevados por que o modelo sempre superestima a radiação independente da condição de nebulosidade observada. As maiores discrepâncias ocorrem sempre na presença de nebulosidade não identificada pelo modelo. A continuidade do estudo pretende identificar as causas da superestimativas em condições de céu claro e as deficiências para parametrização dos eventos de nebulosidade e chuva de menor escala temporal.

Tabela 1. Índices estatísticos para cada localidade em estudo com as simulações de irradiação solar fornecida pelo modelo BRAMS para o mês de Setembro/2009, usado o esquema de parametrização do tipo CHEN.

Índices	Acaraú	Icapuí	Acopiara	Aratuba	Araripe	Meruoca
Valor médio Observado	304,83	290,72	290,98	207,32	311,45	303,99
BIAS	37,06	81,85	71,07	190,86	43,81	36,90
RMSE	42,39	109,73	121,97	235,71	72,64	66,51
r	1,00	0,98	0,96	0,92	0,99	0,99

#### 4. CONCLUSÕES

Observa-se que para o período em estudo que o modelo BRAMS fornece previsões de irradiação solar com superestimativas para todas as estações de superfície utilizadas neste estudo. Porém, a parametrização que mais se aproximou da realidade foi o esquema do tipo CHEN. Observa-se também que o modelo não conseguiu reproduzir as variações referentes à cobertura de nuvem. As localidades que apresentaram um ótimo resultado foi Acaraú e Meruoca enquanto que Icapuí e Aratuba apresentaram altos índices estatísticos. 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 e o desenvolvimento de um refinamento estatístico para a redução dos BIAS observados neste estudo.

#### 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 e CNPq 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

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Capacidade de Geração do Brasil. Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>> Acesso em: 22 jul. 2012.
- HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. Energia e Meio Ambiente. 3. ed. São Paulo: Thomson, 2003. 543 p.
- INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook 2004. Paris: OECD/IEA, 2004. 577 p. Disponível em: <<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/weo2004.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2012.
- 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.