

# SENSIBILIDADE DE ALTA RESOLUÇÃO DO MODELO WRF PARA A ESTIMATIVA DE RADIAÇÃO SOLAR NO ESTADO DO CEARÁ

*Venize A. TEIXEIRA<sup>1,2</sup>, Francisco J. L. De LIMA<sup>1</sup>, Fernando R. MARTINS<sup>1</sup>, Enio B. PEREIRA<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Centro de Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, Av. dos Astronautas 1758, CEP: 12227-010, São José dos Campos/SP, BRASIL - <sup>2</sup>[nizeteixeira@gmail.com](mailto:nizeteixeira@gmail.com)

**RESUMO:** O estudo avaliou a sensibilidade de duas parametrizações do WRF para radiação solar, parametrização GFDL e RRTM acoplada com Dudhia, na resolução horizontal de 16km e 4km, em localidades com características de altitude e clima diferentes do Ceará. As simulações foram realizadas com o modelo WRF para o mês de setembro de 2009. Utilizou-se os dados observacionais horários de radiação solar provenientes das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) da FUNCEME operando em Itapipoca no norte cearense; Tabuleiro do Norte em Jaguaribe; e Várzea Alegre localizada no Centro-Sul cearense. Os resultados mostraram que o aumento na resolução do modelo, dependendo da localidade e parametrização utilizada, pode apresentar desvantagens para simular a irradiação solar. Ambas parametrizações tendem a superestimar os valores de irradiação solar observada, contudo a parametrização Dudhia se mostrou eficaz em boa parte dos casos. A eficácia das simulações de ambas parametrizações apresentou variabilidade com relação a localidade.

**ABSTRACT:** This paper presents an sensitivity evaluation of two parameterizations for radiative processes available in model WRF: GFDL coupled with Dudhia and RRTM. Two horizontal resolutions were used: 16km and 4km. The simulations were performed with the model WRF for September 2009. Observational data acquired in PCD's operated by FUNCEME in Itapipoca (Northern area of Ceará), Tabuleiro do Norte and Várzea Alegre located in Mid-Southern area of Ceará. The preliminary results showed that the increase in horizontal resolution may be ineffective to improve the reliability of solar radiation forecasts. In all simulations performed, the model overestimated the solar radiation measurements. However, the parameterization Dudhia presented good performance for specific weather conditions.

## 1-INTRODUÇÃO

O mundo tem passado por um intenso crescimento populacional e tecnológico. Hoje, o número de habitantes já supera os sete bilhões e a tecnologia tem se tornado cada vez mais fundamental na qualidade de vida da população, o que deverá refletir em um crescimento anual de 4% na demanda de energia dos países em desenvolvimento nos próximos 20 anos (GOLDEMBERG, 1998).

O Brasil, no cenário global, figura como um país em pleno crescimento econômico e tecnológico e que, como consequência, tem necessitado cada vez mais de uma ampla disponibilidade de energia elétrica. Atualmente, cerca de 75% da energia elétrica utilizada no país provém de usinas hidrelétricas. Porém, apesar de ser considerada fonte renovável e limpa, a hidroeletricidade apresenta um impacto ambiental significativo devido ao alagamento de grandes áreas, alteração de vazão e cursos de rios, etc. Acrescente-se a isso, o fato de que os maiores recursos hidroelétricos ainda disponíveis no Brasil encontram-se localizados na região Amazônica e cuja exploração é bastante polêmica em razão de aspectos técnicos e ambientais. Neste contexto, a energia solar tem se apresentado como uma alternativa válida e sustentável de geração de eletricidade que pode viabilizar o desenvolvimento de regiões remotas onde o custo da eletrificação pela rede convencional é demasiadamente alto com relação ao retorno financeiro do investimento e reduzir as emissões de gases poluentes à atmosfera como estabelece a Conferência de Kyoto. Em virtude disso, muitos estudos utilizando estimativas de imagens de satélite (MARTINS et al 2004); dados observacionais (MARTINS e PEREIRA, 2011) e modelagem numérica (COSTA, 2012), têm sido realizados buscando aumentar o conhecimento da disponibilidade de irradiação solar incidente no País, é assim contribuir para o planejamento energético brasileiro e servir de base para o desenvolvimento de futuros projetos de plantas fotovoltaicas e de aproveitamento da energia solar pelas mais diversas tecnologias. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a sensibilidade de duas parametrizações existentes no modelo WRF: Esquema GFDL e Esquema Dudhia acoplado ao RRTM. Além disso, o estudo procura investigar as vantagens da utilização de alta resolução na simulação de irradiação terrestre. Assim, o trabalho pretende contribuir para tornar a utilização do Modelo WRF mais útil e eficiente na simulação de disponibilidade solar no Nordeste Brasileiro.

## **2-METODOLOGIA E MÉTODO DE ANÁLISE**

Para verificar a sensibilidade das simulações do WRF para a radiação, optou-se por utilizar dados de três estações em localidades distintas do estado do Ceará. Em Itapipoca, no Norte Cearense com 0 a 200 m de altitude; Tabuleiro do Norte, em Jaguaribe com 0 a 200 m e Várzea Alegre, que fica no Centro-Sul cearense com 201 a 500 m de altitude (Figura 1a). Coletou-se os três primeiros dias de observações horárias de radiação solar incidente para o mês de Setembro de 2009, das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) da FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídrica em três estações. 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. Para as simulações numéricas, utilizou-se o modelo WRF e apenas um período de setembro, correspondente ao período seco do ano.

Na simulação adotaram-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 1b, com espaçamento de 4 km, cobrindo toda a extensão do Estado do Ceará. Para a parametrização de radiação, utilizou-se duas configurações. A primeira utiliza tanto para radiação de onda longa, quanto para onda curta, o esquema GFDL. Na segunda, a radiação de onda curta utiliza o esquema RRTM e a radiação de onda longa é parametrizada pelo esquema Dudhia. Para facilitar a discussão dos resultados, denominou-se a primeira configuração de GFDL e a segunda de Dudhia. A comparação dos dados simulados com os observacionais baseou-se na análise do Erro de Viés médio (BIAS, inglês), Raiz do erro Quadrático Médio (RMSE, em inglês) e o Índice de Correção.

### **3-RESULTADOS**

Observando a simulação do GFDL e Dudhia (Figura 2 à esquerda), podemos verificar que existe uma alta concordância na variação temporal dos dados simulados com os observados nas três localidades, em ambas as configurações. Contudo, foi possível verificar que o GFDL apresentou uma maior sensibilidade com relação à cobertura de nuvem existente nos 2 últimos dias de observação registrado no município de Itapipoca.

Os índices observados para a simulação de 16km (Tabela 1), mostram que tanto o GFDL quanto o Dudhia tendem a superestimar os valores de irradiação solar, com BIAS médio de 39,6 W/m<sup>2</sup> e 30,9 W/m<sup>2</sup> para o GFDL e Dudhia, respectivamente. Ambas as configurações apresentaram um alto RMSE, porém os valores do GFDL foram superiores ao de Dudhia em todas as regiões. Apesar disso, as configurações estudadas apresentaram uma correlação altíssima, próxima de 1 em todos os casos. Com relação à eficiência das configurações em simular a radiação em localidades distintas, verificou-se que ambas as configurações apresentaram maior erro de irradiação sobre Itapipoca, região Norte do Ceará. Nas demais localidades, o GFDL apresentou maior RMSE em Várzea Alegre e maior BIAS em Tabuleiro do Norte. Tendo sido verificado o comportamento inverso para Dudhia.

Segundo Gilliland e Rowe (2007), o aumento da resolução muitas vezes dispensa a utilização de parametrização da microfísica de cumulos. Por isso, optou-se retirar a parametrização de cumulos do GFDL, que já utiliza efeitos de nuvens climatológico pré-definidos na sua parametrização e deixar efeito de cumulos somente no Dudhia. Em ambas as configurações houve concordância temporal entre o simulado e o observado. No entanto, verifica-se que tanto o GFDL quanto o Dudhia, perdem um pouco a sensibilidade para a cobertura de nuvem com o aumento da resolução. Esse efeito é mais evidente na simulação GFDL, evidenciando uma limitação da parametrização com GFDL. Analisando os índices na simulação de 4 km, verificamos que as simulações continuam superestimando os valores de irradiação solar

observada, apresentando valores ainda mais expressivos do que o observado na resolução de 16 km, especialmente para o GFDL, que apresentou BIAS médio de 53,8 W/m<sup>2</sup> em contraposto a 36,8 W/m<sup>2</sup> amostrado por Dudhia. Com relação à eficiência de simulação, por localidades, ambas as configurações continuaram apresentando pior desempenho no Norte Cearense. Dudhia apresentou simulação mais satisfatória no município de Tabuleiro do Norte, com o menor RMSE, BIAS e correlação de Pearson próxima a 1 e o GFDL apresentou o mesmo comportamento, que apresentou na simulação de 16km, com maior RMSE em Várzea Alegre e maior BIAS em Tabuleiro do Norte. Contudo, vale ressaltar que o aumento da resolução foi satisfatório para o GFDL no município de Várzea Alegre, que apresente regiões mais elevadas que as demais estações. Nessa localidade, além da alta correlação de Pearson, tanto o BIAS quanto o RMSE apresentaram valores inferiores ao observado na resolução de 16 km.

#### 4-CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que apesar da excelente correlação entre as simulações e o observado, tanto o GFDL quanto o Dudhia tendem a superestimar os valores de irradiação solar, sendo o esquema GFDL o que apresenta os desvios mais expressivos. O aumento da resolução não possibilitou a redução dos desvios em quase todas as simulações, visto que reduziu a sensibilidade dos esquemas para a cobertura de nuvens, especialmente para o GFDL que não se mostrou eficiente em simular a cobertura de nuvem de forma explícita. Contudo, vale ressaltar, que para o município de Várzea Alegre, que apresenta altitude de 200 a 500m, o aumento de resolução mostrou-se eficaz no esquema GFDL.

Em resumo, a configuração Dudhia se mostrou mais eficaz do que o GFDL em simular a irradiação em todas as diferentes localidades do Ceará, na simulação de 16km e 4km. Nestes resultados preliminares, não se verificou vantagem em realizar simulações com resolução elevada, no entanto, pretende-se avaliar melhor a influência da parametrização da microfísica de nuvens com o aumento da resolução horizontal em ambas as parametrizações de radiação.

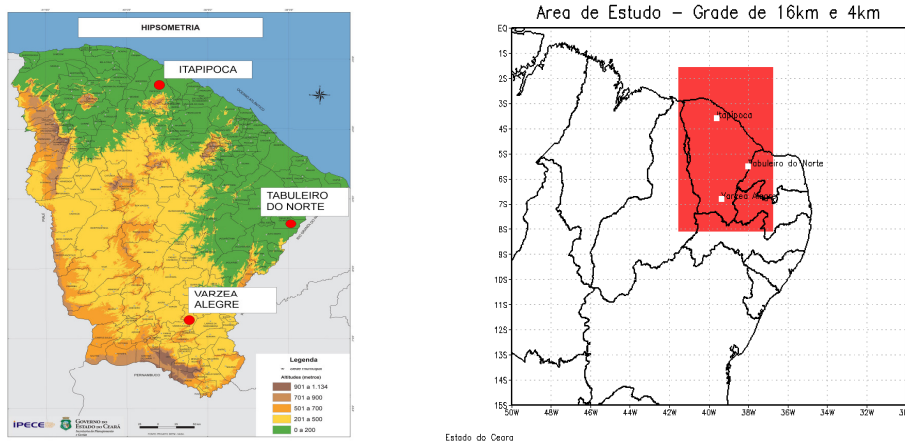


Figura 1: (a). Localização das três estações meteorológicas estudadas. (b) Grade da resolução de 16km e 4km utilizadas.

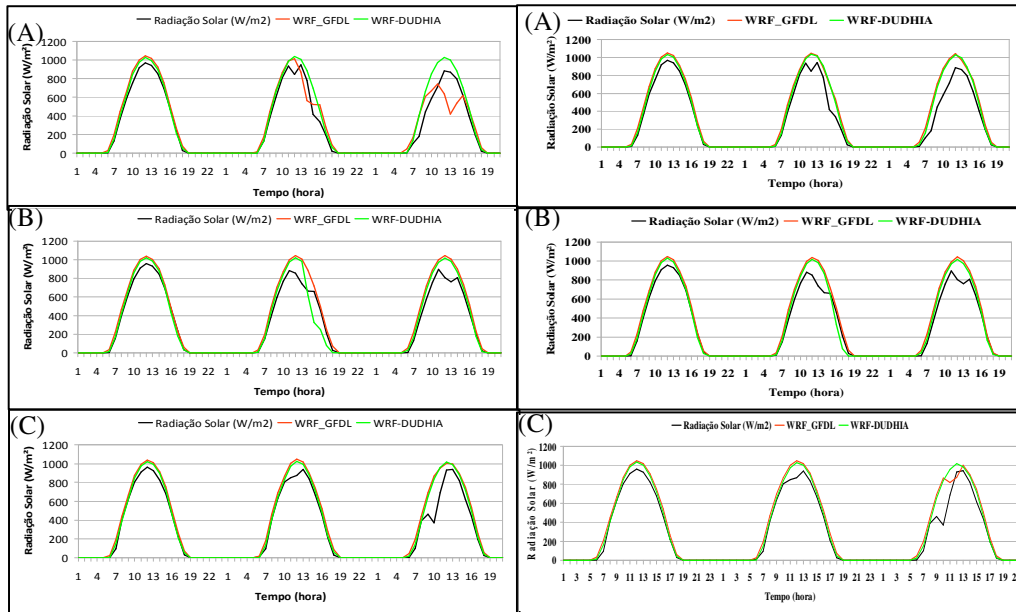


Figura 2. Comparação das estimativas de irradiação solar na superfície em ( $W/m^2$ ) para SETEMBRO/2009 fornecidas pelo modelo WRF utilizando duas diferentes esquemas parametrização dos processos radiativos. A linha preta representa os dados observados, a linha vermelha e verde apresenta as estimativas do esquema GFDL e DUDHIA, respectivamente. O gráfico (A) refere-se à Itapipoca, (B) Tabuleiro do Norte e (C) Várzea Alegre.

Tabela 1. Índices estatísticos para cada localidade em estudo com as simulações de irradiação solar fornecida pelo modelo WRF para o mês de Setembro/2009, usado o esquema de parametrização do tipo GFDL e DUDHIA para 16km e 4 km.

Índices WRF – Itapipoca	SIMULAÇÃO 16km		SIMULAÇÃO 4km	
	GFDL	DUDHIA	GFDL	DUDHIA
Viés Estatísticos	18,1	42,3	61,8	47,5
Raiz do Erro Quadrático médio	96,8	82,9	100,0	86,9
Coefficiente de Correlção de Person	0,96	0,99	0,99	0,99
Índices WRF - Tabuleiro do Norte	GFDL	DUDHIA	GFDL	DUDHIA
Viés Estatísticos	50,4	17,1	51,5	27,7
Raiz do Erro Quadrático médio	83	80	84,0	70,4
Coefficiente de Correlção de Person	0,99	0,98	0,99	0,99
Índices WRF - Várzea Alegre	GFDL	DUDHIA	GFDL	DUDHIA
Viés Estatísticos	50,3	33,4	48,1	35,3
Raiz do Erro Quadrático médio	91,8	79,1	88,5	79,7
Coefficiente de Correlção de Person	0,99	0,99	0,99	0,99

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, R. S. Influência dos aerossóis atmosféricos na quantificação do recurso energético solar: experimentos em modelo de transferência radiativa. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.
- GILLILAND E. K E ROWE, C. M. “A comparison of cumulus parameterization scheme in the WRF model,” in Proceedings of the 87th AMS Annual Meeting & 21th Conference on Hydrology, p. 2.16, San Antonio, Tex, USA, 2007.
- GOLDEMBERG, J. Energia, meio ambiente e desenvolvimento. São Paulo: EDUSP, Brazil, 1998.
- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B; ECHER, M. P. S.. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 2, p. 145 - 159, (2004).
- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Revista Brasileira de Geofísica. Sociedade Brasileira de Geofísica, 2011.