

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO MODELO WRF NA ESTIMATIVA DE RADIAÇÃO SOLAR PARA O MUNICÍPIO DA BARRA LOCALIZADO NO VALE SÃO FRANCISCO DA BAHIA

Carolina Sacramento Vieira¹; Anderson da Silva Palmeira²; Patrick Silva Ferraz³; Erick Giovani Sperandio Nascimento⁵; Davidson Martins Moreira⁶.

¹ Centro Universitário SENAI CIMATEC (Mestrando em 2019, Bolsista); Tipo de projeto (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB)); carolinavieira265@gmail.com

² Engenharia Mecânica; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; davidson.moreira@gmail.com; ericksperandio@gmail.com.

RESUMO

A Bahia atingiu 636 Megawatts (MW) de potência instalada em usinas de fonte solar fotovoltaica, e o uso eficiente desta fonte requer informações confiáveis sobre a variabilidade temporal da irradiação solar, pois auxilia o planejamento do sistema elétrico com estimativas de produção em vários horizontes. Com a aplicação dos modelos numéricos, se tornou possível realizar previsão de tempo com melhor confiabilidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do modelo numérico Weather Research and Forecasting (WRF) na estimativa horária da radiação solar realizando um comparativo com dados observados de uma estação automática e dados simulados pelo modelo WRF. Os dados analisados da radiação solar foram do período de 01 a 16 de março de 2018 para o município da Barra localizado na Bahia. A simulação foi validada através de análises estatísticas e os resultados mostraram-se eficiente com um erro quadrático normalizado de 0,463, fator de dois de 0,782 e o coeficiente de correlação de 0,902. Ficou comprovado que houve eficiência do WRF em estimar a radiação e o modelo mostra ser uma ferramenta computacional eficaz para estudos preliminares de viabilidade de aproveitamento do recurso solar.

PALAVRAS-CHAVE: modelo WRF; radiação solar; Bahia.

1. INTRODUÇÃO

A energia solar vem ganhando relevância nos últimos anos, e sua participação na matriz energética mundial está em ampla expansão. No Brasil, a fonte solar já se apresenta, junto com a energia eólica, como uma das mais promissoras formas de ampliação do parque gerador elétrico¹. Segundo os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que criou e controla o segmento de geração distribuída no Brasil, a Bahia é líder em geração de energia solar com 25% dos parques solares do Brasil. Os excelentes níveis de radiação solar são um dos responsáveis pelo destaque da Bahia na geração de energia totalizando 636 MW de potência instalada até o final de outubro de 2019.

Motivados pelas necessidades do setor elétrico, estudos que visam o uso eficiente da energia solar são de grande importância para auxiliar na implantação de parques solares, pois a previsão da radiação solar permite conhecer a disponibilidade regional, variabilidade temporal e previsibilidade do recurso solar². O conhecimento da distribuição espacial do recurso solar em grandes extensões territoriais deve ser alcançado com o uso de modelos de “transferência radiativa” validados com dados observacionais³.

Os modelos numéricos de previsão de tempo (NWP, Numerical Weather Predict) vêm sendo utilizados há décadas de maneira geral para previsão de variáveis meteorológicas resolvendo processos físicos desde a superfície até a alta atmosfera. Os NWPs são classificados em duas categorias: os modelos que operam em escala global, como o GFS da NOAA (EUA) ou o ECMWF do European Centre, e os modelos em escala regional, como o WRF (Weather Research and Forecasting). O modelo atmosférico WRF, objeto deste trabalho, é um modelo de mesoescala, não-hidrostático, euleriano e compressível, projetado pela comunidade científica tanto para fins de pesquisa quanto operacionais. Foi desenvolvido conjuntamente por uma série de instituições e agências governamentais: National Center for Atmospheric Research (NCAR), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Forecast Systems Laboratory (FSL), Air Force Weather Agency (AFWA), Naval Research Laboratory, Oklahoma University e Federal Aviation Administration (FAA) e concebido para ser uma ferramenta de topo na arte da simulação atmosférica, sendo de domínio público e disponibilizado gratuitamente.

O desempenho do modelo WRF avaliado para a representar a irradiação solar, tornou-se um campo de pesquisa ativo nos últimos anos. No Brasil, a previsão da energia solar pelos modelos NWP está no estágio de desenvolvimento e diagnóstico. Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho do modelo WRF em estimar a radiação solar com horizonte temporal de 16 dias. A região de estudo será o município

da Barra, situado no Estado da Bahia, Nordeste do Brasil. Os dados previstos pelo modelo são comparados com dados coletados pela estação automática do INMET no local em estudo.

2. METODOLOGIA

2.1. Descrição da área em estudo

A área em estudo é o município da Barra localizado na região do Vale do rio São Francisco da Bahia, situado a 398 metros de altitude com latitude 11°5' 20" S e longitude 43° 8' 31" W. É ocupada aproximadamente por 49.325 mil habitantes distribuídos em uma área de 11 412,8 km²⁴.

A predominância da incidência de radiação solar no oeste e norte do Estado, bem como o potencial promissor dessas regiões foi o fator determinante para a escolha do município da Barra. Essa região é bastante privilegiada, com extensas áreas de planície, clima tropical, irradiação Global Horizontal anual (GHI) superior a 2.200 kWh/m² e temperatura média anual de 28°C¹. Outros fatores como proximidade de linhas de transmissão ou de centros consumidores são também relevantes, principalmente no ambiente competitivo dos leilões de energia.

2.2. Descrição dos detalhes de simulação do WRF

A simulação foi realizada utilizando o núcleo WRF-ARW versão 3.9.1 com inicialização às 0000 UTC do dia 01 de março de 2018, estendendo-se até às 1800 UTC do dia 16 de março de 2018. As primeiras 6 horas de simulações foram consideradas como "spin-up" tempo de ajuste do modelo e excluídas das avaliações. As condições iniciais e de contorno empregadas nas simulações são provenientes do modelo atmosférico global GFS (Global Forecast System) do NCEP (National Center for Environmental Prediction), com resolução horizontal de 0,25° x 0,25° e resolução temporal de 6 horas. Os dados de topografia e uso e ocupação do solo são fornecidos pela United States Geological Survey (USGS) com resolução de 5', 2' e 30 s.

O modelo foi configurado com três grades aninhadas com resolução de 9 km, 3 km e 1 km, respectivamente (Fig. 1). O domínio de interesse (D03) tem resolução horizontal de 1 km e 35 níveis verticais com pressão no topo do modelo definido em 50 hPa. Uma visão geral das configurações espaciais é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Configuração de domínios.

Domínio	D01	D02	D03
Resolução Horizontal	9 km	3 km	1 km
Número de células	40x40	64x64	139x139
Tamanho do domínio	360x360 km	192x192 km	139x139 km

Figura 1 - Localização dos três domínios aninhados.



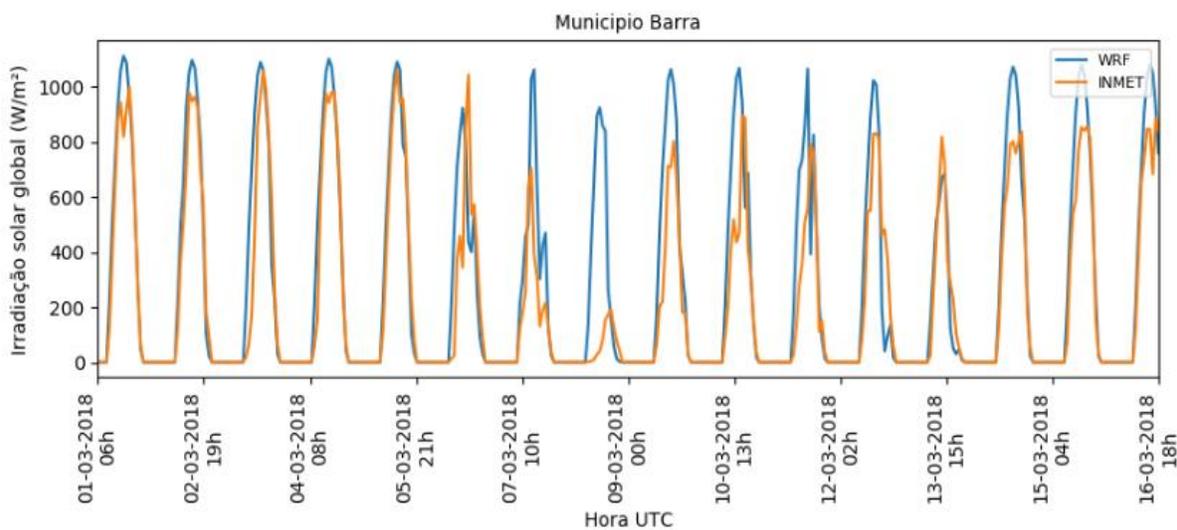
As principais parametrizações físicas deste modelo estão divididas em cinco categorias distintas: microfísica (New Thompson), parametrização de nuvens (Grell 3D), parametrização da CLP (Eta similarity e Mellor-Yamada-Janjic), modelos de ocupação do solo (Noah Land Surface Model) e radiação (Rapid Radiative Transfer Model, RRTMG). As opções de física adotadas foram as mesmas para os três domínios, com exceção do D2 e D3 em que a parametrização cúmulos foi desligada. Trabalhos anteriores (por exemplo em Lima, 2015) já validou previamente dados modelados com a mesma configuração para a região Centro-Oeste da Bahia.

Para validação da previsão foram utilizados dados observacionais horários provenientes da estação meteorológica de superfície monitorada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esta estação está situada no município da Barra, com coordenadas -11,08°S e -43,13°W e altitude de 408 metros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da simulação foram validados com dados da estação automática do INMET. A Figura 2 ilustra o comportamento horário da irradiação solar para o período analisado, e compara os valores observados com resultados do modelo WRF. Visualmente, notou-se maior concordância entre os dados observados e simulados nos primeiros sete dias de simulação, caracterizados por altos índices com valores observados para irradiação entre variações de 700 W/m² e 1100 W/m², enquanto que para dados simulados estes valores foram entre 750 W/m² e 1200 W/m². A seguir a Figura 2 ilustra uma boa precisão do modelo.

Figura 2 - Previsão horária da irradiação solar.



O procedimento de avaliação estatística foi utilizado e contou com os seguintes parâmetros: nos índices escritos a seguir (Eqs. 1, 2 e 3), o e p referem-se às medidas observadas e prevista pelo modelo, respectivamente. A barra indica média e “σ”o desvio⁵.

$$\text{NMSE (Erro Quadrático Normalizado)} = \frac{\overline{(C_o - C_p)^2}}{C_p C_o} \quad (1)$$

$$\text{FAT2 (Fator de dois), representa a fração de dado que estão entre } 0,5 \leq (C_p/C_o) \leq 2 \quad (2)$$

$$\text{COR (coeficiente de correlação)} = \frac{\overline{(C_o - \overline{C_o})(C_p - \overline{C_p})}}{\sigma_o \sigma_p} \quad (3)$$

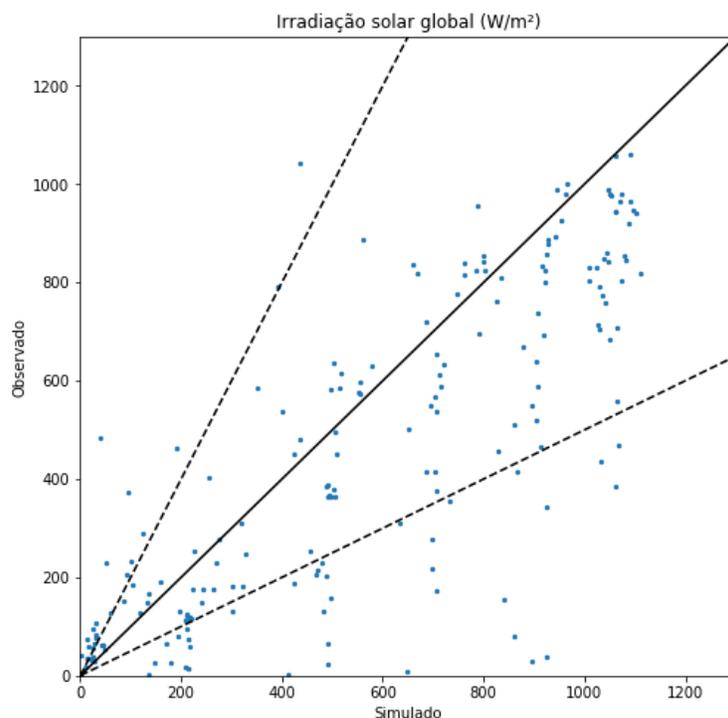
O parâmetro NMSE reflete a dispersão dos valores medidos. Os melhores resultados são alcançados quando os valores de NMSE estão próximos de zero e os valores de COR e FAT2 estão próximos de um. A Tabela 2 apresenta as métricas estatísticas calculadas para análise do desempenho do modelo.

Tabela 2 - Resultados estatísticos.

Índices estatísticos	NMSE	FAT2	COR
Irradiação Solar	0,463	0,782	0,902

Pela análise dos indicadores estatísticos (Tab.2), bem como da Fig. 2, verifica-se que o modelo tende a superestimar a irradiação solar, como demonstra a Fig. 3 a seguir.

Figura 3 - Gráfico de espalhamento da irradiação solar simulada e observada.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estimativa da radiação solar, realizada pelo modelo atmosférico WRF atingiu os objetivos propostos neste trabalho. Embora o modelo superestime a radiação solar, os índices estatísticos apresentaram bons resultados, observando uma boa concordância entre os dados observados e previstos.

O WRF o mostra ser uma ferramenta computacional eficaz e importante na realização de levantamentos deste tipo, comprovando a metodologia na região. Este trabalho contribui para a tomada de decisão do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) na análise da viabilidade técnica e econômica para implantação de usinas solares no Brasil e, em especial, na Bahia.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro de Supercomputação e Inovação Industrial (CIMATEC) pelo fornecimento da infraestrutura computacional necessária para a execução dos modelos e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro.

5. REFERÊNCIAS

¹ATLAS SOLAR: Bahia. Salvador: SECTI: SEINFRA: CIMATEC/SENAI, 2018.

²LIMA, Francisco J.L. **Previsão de irradiação solar no Nordeste do Brasil empregando o modelo WRF ajustado por redes neurais artificiais (RNAs)**, 2015. Tese – INPE, São José dos Campos, 2015.

³IACONO, MJ. et al., Forçante radiativa por gases de efeito estufa de longa vida: Cálculos com os modelos de transferência radiativa AER. **Journal. Geophysical Resesearch**, v.113, n. D13103, 2008.

⁴IBGE -INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Censo Demográfico, 2010.

⁵HANNA, Steven. Confidence limit for air quality models as estimated by bootstrap and jackknife resampling methods. **Atmos. Environ.** 1989.