

ESTIMATIVA DE IRRADIAÇÃO SOLAR NA REGIÃO DE JUAZEIRO LOCALIZADA NO VALE SÃO FRANCISCO DA BAHIA UTILIZANDO O MODELO WRF-SOLAR

Carolina Sacramento Vieira¹; Anderson da Silva Palmeira²; Erick Sperandio Giovani Nascimento³; Davidson Martins Moreira⁴

¹ Doutoranda em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial); carolinavieira265@gmail.com

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

RESUMO

Com o intuito de auxiliar o planejamento do sistema elétrico com informações confiáveis sobre a variabilidade temporal da irradiação solar e, conseqüentemente, o uso eficiente desta fonte, o presente trabalho tem por objetivo estimar a irradiação solar na microrregião de Juazeiro, localizada no Vale São Francisco da Bahia, utilizando o modelo WRF-Solar. O período da simulação foi o ano de 2016, com resolução espacial de 1 km. Foi possível avaliar o desempenho do modelo quanto à modelagem numérica da irradiação solar para diferentes épocas do ano, explorando o comportamento do recurso solar e das sazonalidades inerentes à região. As simulações mostraram-se satisfatórias através de análises estatísticas entre dados simulados e observados. Pôde-se concluir que para as duas regiões, os índices foram melhores na primavera e verão que no outono e inverno, mostrando que o modelo é mais eficiente para os meses do ano com maior incidência de radiação e em condições de céu claro. Por fim, conclui-se que, o modelo WRF-Solar apresentou bom desempenho na simulação da irradiação solar e que, portanto, foi capaz de oferecer bons resultados na caracterização do comportamento do recurso solar no ano de 2016 na região.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo WRF-Solar; Irradiação solar; Juazeiro.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda energética, em conjunto com a crescente preocupação com preservação do meio ambiente e a possibilidade em ocupar os 17% das não renováveis na Matriz Elétrica com fontes mais sustentáveis, está impulsionando a comunidade científica a pesquisar e desenvolver fontes alternativas de energias renováveis que minimizem a degradação dos recursos naturais do planeta. 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.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, a região Nordeste do Brasil possui os melhores parâmetros, particularmente sua porção semiárida. O Atlas Solar da Bahia destaca a predominância de incidência solar na região ao longo do Vale do Rio São Francisco, sendo esta a mais privilegiada do Brasil, o que sinaliza o potencial promissor da região no aproveitamento de energia solar. Entretanto, para o desenvolvimento de empreendimentos solares, é imprescindível magnitudes de referência para caracterização adequada do recurso solar existente, pois a radiação que atinge a superfície terrestre varia, devido às suas características intermitentes e sazonalidades. Sendo assim, se faz necessário estudos que possibilitem conhecer sua disponibilidade regional, variabilidade temporal e previsibilidade. No Brasil, a estimativa da energia solar pelos modelos NWP está no estágio de desenvolvimento e diagnóstico. Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho é estimar a irradiação solar na microrregião de Juazeiro localizada no Vale São Francisco da Bahia utilizando o modelo WRF-Solar. O modelo baseia-se na estrutura de modelagem do WRF e foi desenvolvido por meio de um projeto financiado pelo *Department of Energy* (DOE - USA) que busca melhorias nas previsões de irradiação global horizontal e irradiação direta normal².

O período das simulações foram os meses de janeiro a dezembro de 2016. Para validar a capacidade do WRF-Solar, os dados simulados pelo modelo são comparados com dados coletados pelas estações automáticas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) dados estimados por satélite da série GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellites*) posicionado sobre a América do Sul, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de acordo com as coordenadas de Juazeiro.

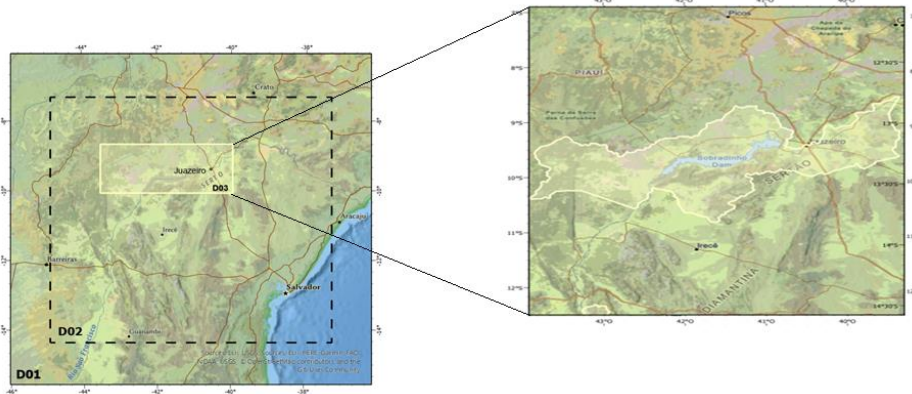
2. METODOLOGIA

2.1. Descrição dos detalhes de simulação do WRF

A área de estudo do presente trabalho corresponde a Microrregião de Juazeiro (Figura 1). A predominância da incidência de radiação solar bem como o potencial promissor dessa região foi o fator determinante para a escolha do município de Juazeiro para o estudo do comportamento da irradiação solar. As simulações foram realizadas utilizando WRF-Solar versão 1.2.0 com inicialização às 0000 UTC estendendo-se até às 1800 UTC dos meses de Janeiro a dezembro de 2016 para a região em estudo. 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 $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ e resolução temporal de 6 horas. O modelo foi configurado com três grades aninhadas com resolução e números de células de 9 km (115x109), 3 km (277x262) e 1 km (393x156), respectivamente (Figura 1). Sendo o domínio 3 de análise correspondente a região de Juazeiro.

Figura 1 - Localização dos três domínios aninhados.



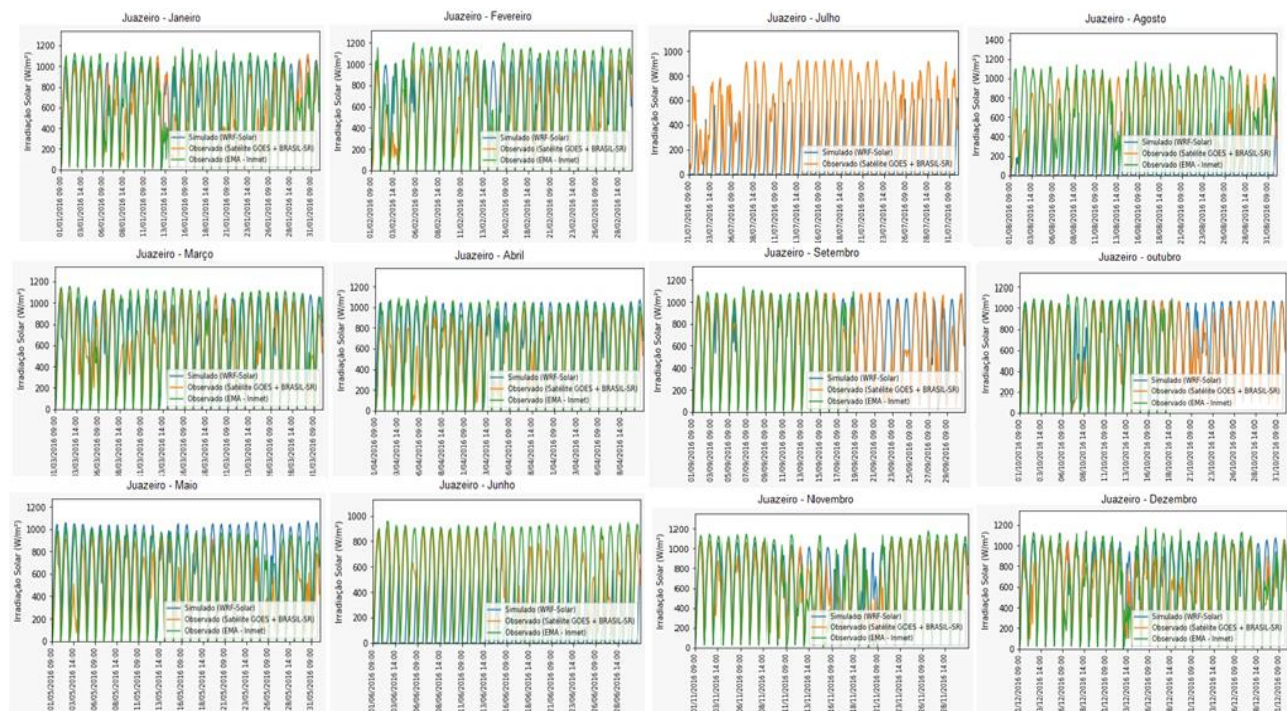
Fonte: Autor (2021).

As opções de física adotadas e, deixadas inalteradas para todas as simulações, foram: microfísica *Thompson aerosol-aware*³, *cumulus Grell 3D*, parametrização da planetary boundary layer (PBL) (*Eta similarity* e *Mellor-Yamada-Janjic*), radiação de onda curta e onda longa *RRTMG* e modelo de superfície *Noah land-surface model*. A parametrização das interações do aerossol com a radiação segue *Ruiz-Arias*⁴ e *Thompson's water/ice-friendly*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Informações sobre o ciclo mensal trazem, entre outros benefícios, o conhecimento da variação mensal e sazonal da irradiação solar. Estas variações temporais estão associadas a fenômenos de diversas escalas espaciais, podendo ser mais intensa em algumas áreas que em outras e pode aumentar sua intensidade por alguns meses do ano⁵. A Figura 2 apresenta o comportamento médio horário da irradiação solar simulada e observada durante cada mês do ano de 2016 em Juazeiro.

Figura 2 - Comportamento médio horário mensal da irradiação solar simulada e observada



É possível verificar que Juazeiro possui altos índices de irradiação solar em quase todos os meses e pouca variabilidade mensal. Observa-se claramente que o trimestre de verão e primavera abriga os meses com maior incidência de irradiação solar em torno de 900 W/m² a 1220 W/m². Os trimestres de outono e inverno caracterizam os períodos com menores incidências, estes valores ficam em torno de 600 W/m² a 1000 W/m², com exceção dos meses de março e agosto que chegam a ter picos de 1200 W/m².

O desempenho do modelo WRF-Solar é avaliado por meio de índices estatísticos⁶ erro médio (MBE), erro quadrático normalizado (NMSE), Fator de 2 (FAT2) e coeficiente de correlação (r), que buscam mensurar se o modelo conseguiu representar satisfatoriamente os dados observados.

Os melhores resultados são alcançados quando os valores de MBE e NMSE estão próximos de zero (valor ótimo = 0) e os valores de FAT2 e r próximos de um (valor ótimo = 1). A Tabela 1 apresenta os resultados dos indicadores estatísticos ao comparar os dados simulados e observados da Irradiação Solar Global na Microrregião de Juazeiro.

Tabela 1 - Resultados estatísticos.

Observado	Mês	MBE	NMSE	COR	FAT2	Observado	Mês	MBE	NMSE	COR	FAT2
EMA - Inmet	Jan	0,18	0,09	0,85	0,79	Satélite GOES + BRASIL-SR	Jan	0,48	0,23	0,74	0,73
	Fev	0,02	0,11	0,84	0,74		Fev	0,3	0,19	0,75	0,78
	Mar	0,11	0,1	0,85	0,74		Mar	0,35	0,14	0,81	0,78
	Abr	0,16	0,07	0,9	0,8		Abr	0,46	0,19	0,8	0,74
	Mai	0,28	0,08	0,9	0,76		Mai	0,55	0,25	0,79	0,7
	Jun	-1,14	5,12	0,31	0,21		Jun	-0,91	4,78	0,06	0,22
	Jul	-	-	-	-		Jul	-0,95	4,82	0,12	0,28
	Ago	-1,27	4,94	0,28	0,13		Ago	-1,06	4,62	0,13	0,19
	Set	0,02	0,05	0,92	0,82		Set	0,15	0,087	0,85	0,9
	Out	0,17	0,23	0,7	0,61		Out	0,24	0,085	0,87	0,91
	Nov	0,15	0,11	0,83	0,78		Nov	0,27	0,1	0,85	0,87
	Dez	0,18	0,09	0,85	0,79		Dez	0,28	0,11	0,83	0,90

Verificando na Tabela 1, para a maioria dos meses do ano, o MBE é positivo, indicando uma tendência a superestimar a irradiação solar, no entanto, para os meses de junho a agosto, o modelo subestima as séries de dados observados, apresentando para esses meses os piores índices de correlação, sempre inferiores a 0,35. Observa-se ainda que embora o modelo superestime os valores, os coeficientes de correlação chegam a atingir 90% e 87% para a estação INMET e satélite respectivamente.

Nota-se ainda que os dados simulados em comparação com a estação INMET, teve melhor desempenho, com o MBE de 0,02 e NMSE de 0,05 no mês de setembro. Ao analisar o Fator de 2, este também apresentou bons resultados, ficando acima de 0,7 em quase todos os meses, com melhor resultado em setembro (87%) e outubro (91%) para a estação INMET e satélite respectivamente, com exceção dos meses em que o modelo subestima a irradiação solar.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estimativa da irradiação solar para a região de Juazeiro, realizada pelo modelo WRF-Solar atingiu os objetivos propostos neste trabalho. Assim, foi possível avaliar o desempenho do modelo WRF-Solar quanto à modelagem numérica da irradiação solar para diferentes épocas do ano, explorando o comportamento do recurso solar e das sazonalidades inerentes à região. Embora o modelo superestime a irradiação solar, os índices estatísticos apresentaram bons resultados, observando uma boa concordância entre os dados observados e simulados.

O modelo foi capaz de seguir a tendência dos dados medidos, o que evidencia a capacidade do modelo em simular a irradiação solar na região. O WRF-Solar 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. Ao INPE e ao INMET por disponibilizar os dados.

5. REFERÊNCIAS

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

²JIMENEZ, Pedro *et al.* **WRF-Solar: An augmented NWP model for solar power prediction. Model description and clear sky assessment.** Bull. Amer. Meteor. Soc. 2015.

³THOMPSON, Gregory; EIDHAMMER, Trude. **A study of aerosol impacts on clouds and precipitation development in a large winter cyclone.** Journal of the atmospheric sciences, 2014.

⁴RUIZ-ARIAS, José A.; DUDHIA, Jimy; GUEYMARD, Christian A. **A simple parameterization of the short-wave aerosol optical properties for surface direct and diffuse irradiances assessment in a numerical weather model.** Geoscientific Model Development, 2014.

⁵LIMA, 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.

⁶HANNA, Steven. **Confidence limit for air quality models as estimated by bootstrap and jackknife resampling methods.** Atmos. Environ. 1989.