

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

DESEMPENHO DE PRODUTO DE REANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO BRÍGIDA, PERNAMBUCO

Marcela Daniela Mollericona Alfaro¹; Iug Lopes²; Abelardo A. de Assunção Montenegro³;

Brauliro Gonçalves Leal⁴ & Marina Isabel Lima de Oliveira Reis⁵

RESUMO – Um grande desafio para a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas é a disponibilidade de dados precisos de precipitação. Como alternativa para regiões com escassez de dados, foi desenvolvido o produto *Reanálise do Sistema de Previsão Climática* (CFSR) pelos *Centros Nacionais de Predição Ambiental* (NCEP) que fornece dados meteorológicos para qualquer localização geográfica no período de 1979 a 2014. Com o presente estudo, objetivou-se avaliar o desempenho dos dados CFSR em diferentes pontos da Bacia Hidrográfica do Rio Brígida, no Sertão do Estado de Pernambuco. Mediante os indicadores de desempenho empregados obteve-se valores de $NSE > 0$, avaliados como aceitáveis e valores do índice de concordância d foram bons e próximos de 1 em todas as áreas. Os valores de $R^2 > 0,5$ (aceitáveis) e $PBIAS < 15\%$ (bom desempenho) estiveram presentes na maioria das áreas. Os resultados obtidos demonstram que os dados CFSR possuem boa relação com os dados dos postos pluviométricos.

ABSTRACT– A major challenge for hydrologic modeling in watersheds is the availability of precise precipitation data. As an alternative for regions with data scarcity, the *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) developed the *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) product, which provide meteorological data for any geographic location in the period 1979 and 2014. This study aims to evaluate the performance of CFSR data in different areas of the Brígida River Basin, in the Hinterland of the Pernambuco State. Through the performance indicators used we obtained values of $NSE > 0$, evaluated as acceptable and values of the concordance index d were good and close to 1 in all areas. The values of $R^2 > 0.5$ (acceptable) and $PBIAS < 15\%$ (good performance) were present in most areas. The results obtained show that the CFSR data have a good relationship with the pluviometric stations data.

Palavras-Chave – CFSR, estações pluviométricas, precipitação

INTRODUÇÃO

A precipitação (PP) é um dos parâmetros climáticos mais importantes para o planejamento e gestão eficiente dos recursos hídricos. No semiárido brasileiro, apresenta-se um regime hidrológico com características adversas de baixa e irregular pluviosidade e alta evapotranspiração, associado à

¹ Mestranda-PPG Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 - Recife/PE. marcela.mollericonaalfaro@yahoo.com.

² Doutorando- PPG Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 - Recife/PE. iuglopes@hotmail.com.

³ Professor- PPG Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 - Recife/PE. montenegro.ufrpe@gmail.com.

⁴ Professor do Centro de Ciências Exatas -Universidade Federal do Vale do São Francisco- UNIVALE/MG. brauliro.leal@univasf.edu.br.

⁵ Graduada em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 - Recife/PE. marireis98@hotmail.com.

carência de informações hidrológicas essenciais para a tomada de decisões, e assim, com elevados impactos nos campos econômico e social (BRASIL, 2019). A escassez de dados climáticos, em quantidade e qualidade, tem sido um grande problema na modelagem dos recursos hídricos sendo difícil o acesso aos dados de estações meteorológicas com uma adequada distribuição espacial e temporal. Além disso, quando os dados existem, eles podem não ser confiáveis devido a lacunas ou erros aleatórios (Dile & Srinivasan, 2014; Fuka *et al.*, 2014; Bressiani *et al.*, 2015).

Grande parte da disponibilidade de dados meteorológicos atuais são obtidos a partir de estudos que utilizaram o método de reanálise global. O *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR), conjunto de dados meteorológicos, dos *National Centers for Environmental Prediction's* (NCEP), pode ser uma opção valiosa para previsões hidrológicas globais onde os medidores convencionais não estão disponíveis (Dile & Srinivasan, 2014; Auerbach *et al.*, 2016; Lu *et al.*, 2019).

O conjunto de dados do CFSR é produzido usando técnicas de última geração de assimilação de dados (observações meteorológicas convencionais e irradiações de satélite) e baseado num modelo oceano-atmosfera totalmente acoplado, que utiliza técnicas numéricas de previsão do tempo para assimilar e prever estados atmosféricos, com resolução de $0,3125^\circ$ (~ 38 km) (Saha *et al.* 2010, Fuka *et al.* 2014). Algumas vantagens do CFSR são o fornecimento de conjuntos completos de dados climáticos; a disponibilidade de parâmetros úteis para o uso de Penman Montith e Priestley-Taylor; a obtenção de dados pelo site SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) do Texas A&M (TAMU) no formato de entrada SWAT (arquivos de texto prontos para serem usados no modelo hidrológico) (Arnold *et al.*, 1998; Bressiani *et al.*, 2015); e além da cobertura espacial global, o CFSR oferece um registro completo, contínuo e consistente de 1979 até o presente momento (Auerbach *et al.* 2016).

No Brasil, trabalhos na região do Nordeste com dados CFSR foram realizados por Rocha & Mendez (2018), que indicaram a possibilidade de dados de reanálise em áreas com deficiência de informações ou estações; Paz *et al.* (2018) constataram que dados de estações locais combinadas com dados de CFSR deram resultados mais satisfatórios em algumas áreas. Adicionalmente, segundo Silva *et al.* (2011), o CFSR mostra melhorias notáveis nos padrões de PP em larga escala em comparação com reanálises anteriores; e Gadelha *et al.* (2019) concluíram que dados da PP do CFSR conseguiram representar bem a sazonalidade na região no semiárido do Estado da Paraíba.

Por outro lado, na Bacia do Rio Brígida (BDRB), Araújo *et al.* (2020) utilizaram técnicas geoestatísticas e observaram que os regimes de precipitação são diferenciados e não apresentam um padrão em sua distribuição espacial. Portanto, são necessários os testes com dados de reanálise, para verificar se as características de informações medidas de precipitação representam adequadamente as realidades locais específicas, principalmente em áreas mais secas. Nesse sentido, com o presente trabalho objetivou-se avaliar o desempenho do NPEC-CFSR na previsão da precipitação na Bacia do Rio Brígida, mediante a comparação com dados observados.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo e dados

O estudo foi desenvolvido com informações de estações de monitoramento pluviométrico (EM) fornecidas Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida, situada entre 07° 19' 02" e 08° 36' 32" de latitude sul, e 39° 17' 33" e 40° 43' 06" de longitude oeste, no Estado de Pernambuco (Figura 1-A). A bacia limita-se ao norte com os Estados do Ceará e Piauí e está localizada no Alto Sertão de Pernambuco, abrangendo uma área de 13.495,73 km², o que corresponde a 13,73% da superfície total do Estado.

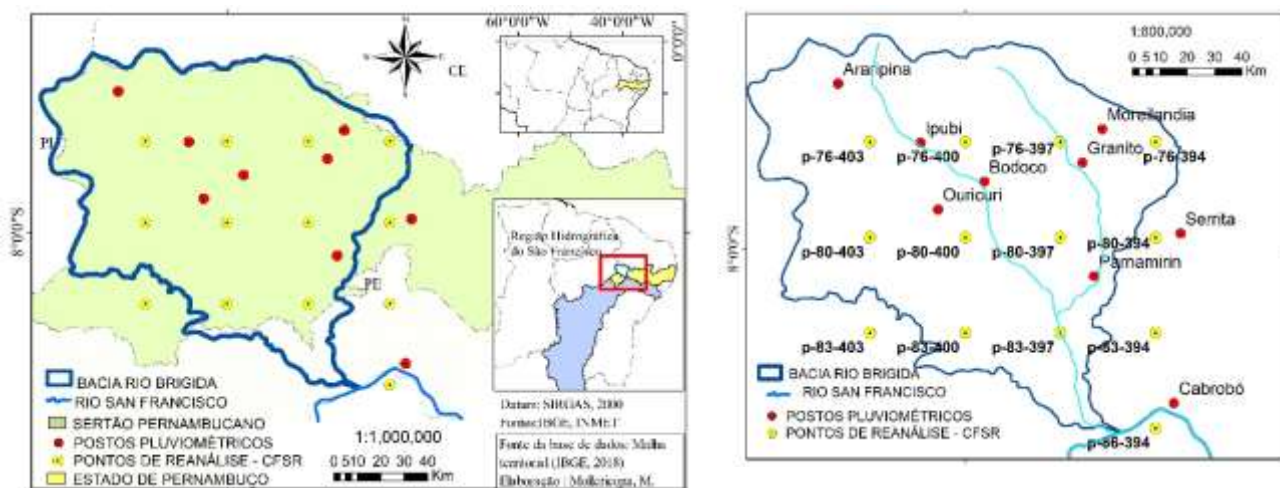


Figura 1 – (A) Localização da Bacia do Rio Brígida, B) Localização dos pontos de reanálise CFSR e os postos pluviométricos

No estudo foram utilizados os conjuntos de dados de observação locais da precipitação pluviométrica (PP) em mm das EM localizadas em 9 municípios (Figura 1-B) e dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para Cabrobó, pela ausência na base da APAC. Os dados nas EM foram comparados com dados de reanálise (NCEP-CFSR) posteriormente selecionados sobre as

mesmas áreas e pontos mais próximos, através dos *Global Weather Data for SWAT* disponível na plataforma: <http://globalweather.tamu.edu/>.

Métodos

Os dados das EM e as informações do CFSR foram comparados mediante os seguintes métodos: análises de regressão padrão como o Coeficiente de Correlação (r) e Determinação (R^2); índices sem dimensão, como o Índice de Concordância de Willmott (d) e o Índice de Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE); e a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) junto ao Percentual de Bias (PBIAS) como índices de erro, respectivamente, que foram computadas com as equações listadas abaixo (1 a 5). As análises de regressão padrão foram empregadas para determinar o grau de relação entre as duas bases de dados. Já as técnicas sem dimensões fornecem uma avaliação de qualidade de ajuste relativo, e os índices de erro quantificam o desvio das unidades dos dados de interesse (Moriassi *et al.*, 2007).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n [|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|]^2} \quad (1)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]} \quad (3)$$

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i) * (100)}{\sum_{i=1}^n (O_i)} \right] \quad (4)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (5)$$

Onde n é o número de observações, P_i se refere aos valores da precipitação obtidos na base de dados do NCEP-CFSR e O_i aos dados observados nas EM.

R^2 e r descrevem o grau de colinearidade entre os dados simulados e os dados observados; valores de R^2 superiores a 0,5 são considerados aceitáveis (Moriassi *et al.*, 2007). Os valores de r foram classificados segundo a classificação proposta por Hopkins (2000). O NSE original definido por Nash Sutcliffe (1970) é um indicador sem dimensões que varia de $-\infty$ a 1, e tem sido amplamente utilizado em previsão climática por serem mais rigorosa que R^2 , além de indicar o quão bem o gráfico de dados observados versus dados simulados se ajusta à linha 1:1 (Gassman *et al.*, 2007; Chen *et al.* 2019). Pode-se classificar: NSE = 1, ajuste perfeito dos dados; em geral, a

simulação poder ser considerada satisfatória se $NSE > 0,50$. Valores entre 0 e 1 são geralmente vistos como “aceitáveis”, enquanto valores < 0 são “inaceitáveis” (Moriasi *et al.*, 2007).

O índice d de Willmott (1981) mede o grau em que as previsões estão livres de erros e reflete o grau em que a variação observada é estimada com precisão pela variação simulada, os valores variam entre 0 e 1, com 1 indicando perfeita concordância. O PBIAS indica a tendência média dos dados simulados como sendo maior ou menor do que os observados e considera 0 (zero) como valor ótimo, com valores de baixa magnitude indicando a simulação precisa. Valores positivos no PBIAS indicam viés de subestimativa e valores negativos indicam viés de superestimativa (Moriasi *et al.*, 2007). Neste índice interpreta-se como “bom desempenho” os valores entre $10\% < PBIAS < 15\%$ e como “insatisfatório” $PBIAS \geq 25\%$. Valores de RMSE sendo 0 (zero) indicam um ajuste perfeito.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, pode-se observar o gráfico de caixas da PP, constatando-se a presença de valores discrepantes ou *outliers* para todos os conjuntos de dados, porém, existem grandes semelhanças entre as médias e medianas. Em todos os casos, destaca-se que o intervalo interquartil é menor para os dados CFSR e pela posição da mediana, observa-se uma distribuição assimétrica positiva.

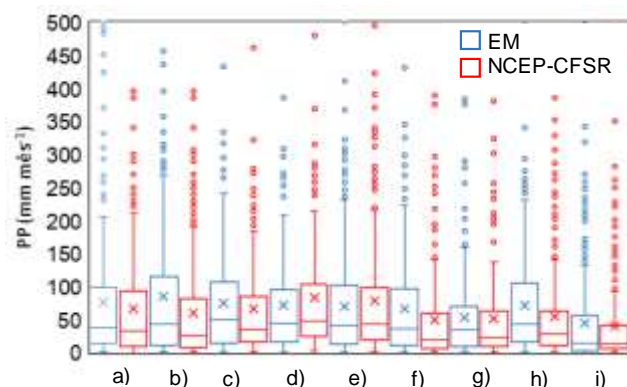


Figura 2 - Boxplots da precipitação (PP) nas áreas de estudo com dados das EM e o NCEP-CFSR para a) Ipubi, b) Araripina, c) Bodoco, d) Granito, e) Moreilandia, f) Ouricuri, g) Parnamirin, h) Serrita, i) Cabrobó

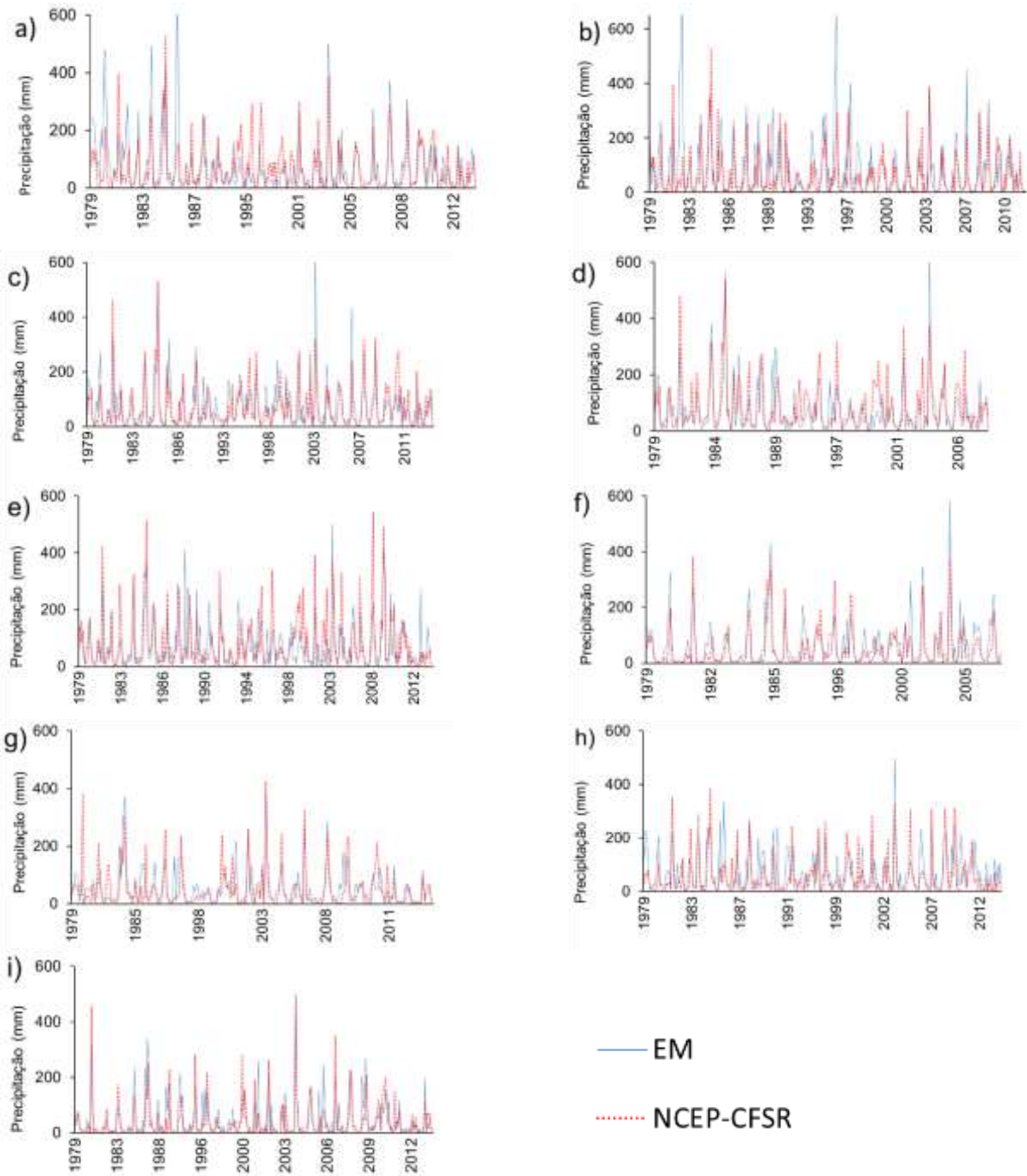


Figura 3- Comparações da tendência temporal da precipitação mensal (mm mês^{-1}) derivada das EM e NCEP-CFSR para a) Ipubi, b) Araripina, c) Bodoco, d) Granito, e) Moreilandia, f) Ouricuri, g) Parnamirin, h) Serrita, i) Cabrobó. Período 1979 a 2014

As variações temporais mensais da PP das EM e do NCEP-CFSR são apresentadas na Figura 3. Observa-se a existência de semelhança entre ambas as bases de dados nas distintas áreas, com

algumas exceções nas quais o CFSR tende a subestimar as medições nas EM. Os valores obtidos pelo PBIAS confirmam as observações anteriores, sendo que para as áreas com valores positivos indica o viés de subestimação (Ipubi, Araripina, Bodocó, Ouricuri, Parnamirim, Serrita e Cabrobó). Na Figura 4, mostra-se os gráficos de relação linear, onde os valores obtidos de R^2 para 5 das 9 áreas alcançaram valores superiores a 0,5, sendo considerados como aceitáveis, indicando menor variação do erro. O R^2 variou entre 0,26 e 0,67, para Araripina e Ouricuri, respectivamente. O r foi classificado entre alto e muito alto nas diferentes áreas, segundo a classificação de Hopkins (2000) e varia entre 0,51 e 0,72.

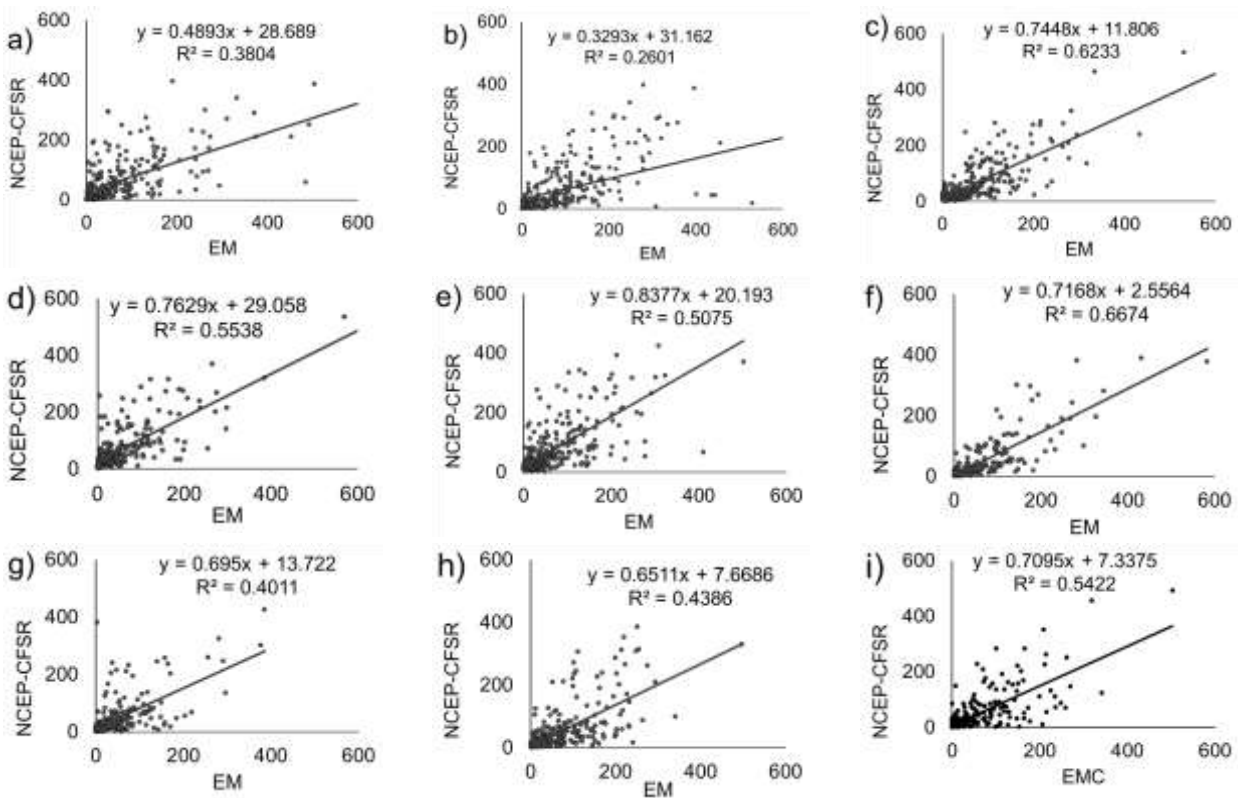


Figura 4 - Dispersão da Precipitação (PP) (mm) mensal entre as EM e o NCEP-CFSR para a) Ipubi, b) Araripina, c) Bodocó, d) Granito, e) Moreilândia, f) Ouricuri, g) Parnamirim, h) Serrita, i) Cabrobó

De acordo com o NSE (Tabela 4), em todos os postos pluviométricos encontraram-se valores positivos avaliados como aceitáveis e como satisfatórios ($NSE > 0,50$) para Bodocó e Ouricuri como indicativo de um bom ajuste dos dados simulados do CFSR. Por outro lado, para Bressiani *et al.* (2015), os valores de $NSE > 0,75$ podem ser avaliados como satisfatórios a muito bom, como o caso de Gadelha *et al.* (2019), que obtiveram valores de NSE maiores. Fuka *et al.* (2014) e Paz *et al.*

(2018) indicaram que em bacias relativamente áridas ou em áreas secas, é mais difícil de realizar a modelagem hidrológica, uma vez que eventos de escoamento de grande magnitude podem ser desencadeados por eventos localizados de precipitação, que podem não ser devidamente capturados pela escala de resolução do CFSR ou pelos dados das EM vizinhas.

Tabela 1 - Valores dos indicadores estatísticos de desempenho da comparação da precipitação das estações de monitoramento pluviométrico locais (EM), e os dados de reanálise do NCEP-CFSR. Período 1979 a 2014

Estação	r	R ²	d	NSE	RMSE	PBIAS
Ipubi	0,62	0,38	0,76	0,34	155,04	14,05
Araripina	0,51	0,26	0,65	0,20	263,58	30,67
Bodocó	0,79	0,62	0,70	0,59	95,61	9,68
Granito	0,74	0,55	0,66	0,46	104,76	-16,82
Moreilândia	0,71	0,51	0,66	0,28	178,18	-12,69
Ouricuri	0,82	0,67	0,72	0,63	81,52	24,47
Parnamirim	0,63	0,40	0,62	0,18	136,62	4,71
Serrita	0,66	0,44	0,63	0,28	97,95	24,21
Cabrobó	0,74	0,54	0,85	0,48	51,40	12,56
Média	0,69	0,49	0,69	0,38	129,41	10,09

Para o índice *d* de concordância (entre 0,0 e 1,0), foram obtidos valores entre 0,62 e 0,85 nas distintas áreas, com o maior valor para Cabrobó (posto mais próximo ao exutório da bacia), seguido de Ipubi e Ouricuri. Considerando-se o PBIAS, os dados de Bodocó, Parnamirim, Ipubi, Moreilândia e Cabrobó são classificados com bom desempenho e o posto de Araripina como insatisfatório. Observa-se valores negativos do PBIAS em Granito e Moreilândia, o que indica viés de sobre estimacão nestas áreas. Para os índices RMSE, que indica o erro nas unidades da variável em estudo, os menores valores correspondem a Cabrobó, Ouricuri, Bodocó e Serrita, em ordem ascendente de menor a maior.

CONCLUSÃO

Esta avaliação abrangeu o período de 1979 a 2014, empregando diferentes indicadores de avaliação do desempenho entre os conjuntos de dados de reanálise (NCEP-CFSR) e de observação dos postos pluviométricos distribuídos na área da Bacia Hidrográfica do Rio Brígida. A partir do R^2 e o NSE, destacaram-se com os melhores desempenhos as estações de Bodocó e Ouricuri (zona centro da bacia), e Cabrobó (próximo ao exutório da bacia). Porém, é importante destacar que nenhuma das estações apresentou desempenho considerados como muito bons para R^2 e NSE. Para o índice de

concordância *d*, nota-se que os municípios de Ipubi, Cabrobó e Ouricuri apresentaram melhor desempenho e com os índices que medem o grau de erro, destacaram-se como os menores valores, os municípios de Cabrobó, Ouricuri, Bodocó e Serrita. Somente Araripina obteve o PBIAS $\geq 25\%$, sendo “insatisfatório”. Conclui-se que ainda exista variação do desempenho dos dados CFSR ao nível local entre os diferentes postos dentro da bacia, o CFSR é um produto de grande potencial de uso para a modelagem hidrológica na Bacia do Rio Brígida.

AGRADECIMENTOS - Os autores agradecem à APAC, o INMET, e às equipes do CFSR pelo fornecimento dos dados, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE, ao FACEPE pela concessão da Bolsa da primeira autora, e pelo fomento ao Consórcio Universitas (APQ 0300-5.03/2017).

REFERENCIAS

ARAÚJO, H. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; LOPES, I.; CARVALHO, A. A.; CAVALCANTI, E.; GONÇALVES, G. E. (2020). “*Espacialização da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida no semiárido de Pernambuco*”. Revista Brasileira de Geografia Física 13(1), pp. 391-405.

ARNOLD, J. G. MORIASI, D. N., GASSMAN, P. W., ABBASPOUR, K. C., WHITE, M. J., SRINIVASAN, R., ... & KANNAN, N. (2012). “*SWAT: Model use, calibration, and validation*”. Transactions of the ASABE, 55(4), pp. 1491-1508.

AUERBACH, D. A., EASTON, Z. M., WALTER, M. T., FLECKER, A. S., & FUKA, D. R. (2016). “*Evaluating weather observations and the Climate Forecast System Reanalysis as inputs for hydrologic modelling in the tropics*”. Hydrological Processes, 30(19), pp. 3466-3477.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia (2019). “*Plano Estratégico em Recursos Hídricos no Nordeste Brasileiro*”. Rio de Janeiro. DF: Ministério de e Minas e Energia.

BRESSIANI, D.D.A.; SRINIVASAN, R.; JONES, C.A.; MENDIONDO, E.M. (2015). “*Effects of spatial and temporal weather data resolutions on streamflow modeling of a semi-arid basin, Northeast Brazil*”. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 8(3), pp. 125-139

CHEN, CHEN, S., GAN, T. Y., TAN, X., SHAO, D., & ZHU, J. (2019). “*Assessment of CFSR, ERA-Interim, JRA-55, MERRA-2, NCEP-2 reanalysis data for drought analysis over China*”. Climate dynamics, 53(1-2), pp. 737-757.

DE LIMA, J. A. G.; ALCÂNTARA, C. R. (2019). “*Comparison between ERA Interim/ECMWF, CFSR, NCEP/NCAR reanalysis, and observational datasets over the eastern part of the Brazilian Northeast Region*”. Theoretical and Applied Climatology, 138(3-4), pp. 2021-2041.

- DILE, Y.T.; SRINIVASAN, R. (2014). “*Evaluation of CFSR climate data for hydrologic prediction in data-scarce watersheds: an application in the Blue Nile River Basin*”. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 50(5), pp. 1226-1241.
- FUKA, D. R. WALTER, M. T., MACALISTER, C., DEGAETANO, A. T., STEENHUIS, T. S., & EASTON, Z. M (2014). “*Using the Climate Forecast System Reanalysis as weather input data for watershed models*”. Hydrological Processes, 28(22), pp. 5613-5623.
- GADELHA, C. T. et al. (2019). “*Comparação dos dados de precipitação observada versus reanálise CFSR: o caso da bacia do Rio do Peixe, estado da Paraíba*” in Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz de Iguaçu, Nov, 2019.
- GASSMAN, P. W. et al. (2007) “*The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions*”. Transactions of the ASABE, 50(4), pp. 1211-1250.
- HOPKINS, W. G. (2000). *Correlation coefficient: a new view of statistics*. Acesso em: 23 mar. 2020.
- MORIASI, D. N. et al. (2007). “*Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*”. Transactions of the ASABE, 50(3), pp. 885-900.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. (1970). “*River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles*”. Journal of hydrology, 10(3), pp. 282-290.
- PAZ, Y. M. et al. (2018). “*Sensitivity analysis and calibration of the SWAT model for a basin in northeastern Brazil using observed and reanalysis climatic data*”. Revista Brasileira de Geografia Física, 11(1), pp. 371-389.
- ROCHA, N. C. V; MENDES, A. C. (2018). “*Analysis of sensitivity and calibration of the SWAT model applied in a basin in northeast of Brazil using observed and reanalysis climatic data*”. Revista Brasileira de Geografia Física, 11(1), pp. 234-313.
- SAHA, S. et al. (2010). “*The NCEP climate forecast system reanalysis*”. Bulletin of the American Meteorological Society, 91(8), pp. 1015-1058.
- SILVA, V. B.S.; KOUSKY, V. E.; HIGGINS, R. W. (2011). “*Daily precipitation statistics for South America: An intercomparison between NCEP reanalyses and observations*”. Journal of Hydrometeorology, 12(1), pp. 101-117.
- SOUZA, R. M. S.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J.R.S. (2015). “*Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 19 (5), pp. 449-455.
- WILLMOTT, C. J. (1981) “*Some comments on the evaluation of model performance*”. Bulletin American Meteorological Society, 63(11), pp. 1309-1313.