

Analysis of future climate projections for the Pajeú River basin simulated by the regional model Eta-Hadgem2-ES

Amaurany V. S. Porto^{*}, Jussara F. de S. Viana^{**}, Rodrigo de Q. Miranda^{***}, Suzana M. G. L. Montenegro^{****}, Wanderson dos S. Sousa^{*****}, Diego C. dos S. Araújo^{**}, Ana Claudia V. e L. Gusmão^{**}, Samara F. da Silva^{*****}

^{*}Estudante de Licenciatura em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: amaurany.vitoria@ufpe.br;

^{**} Pós-doutorando(a) de Engenharia civil e ambiental/Facepe/CNPq, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: jussarafsouza@yahoo.com.br; diego@agro.eng.br; villareluna@yahoo.com.br

^{***} Pós-doutorando do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente /Facepe, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: rodrigo.qmiranda@gmail.com

^{****} Professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental e da Pós-Graduação, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: suzanam.ufpe@gmail.com

^{*****} Professor da Associação Instituto Tecnológico de Pernambuco - ITEP, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: wanderson.santos@itep.br

^{*****} Professora da Universidade Federal do Oeste Baiano (UFOB) e Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil. Email: samara.nanda@gmail.com

Received 20 October 2021; accepted 4 January 2022

Abstract

This work aimed to analyze future climate data, from the regional climate model ETA-HADGEM, to generate future scenarios of precipitation to the Pajeú River basin. In the methodology, it was possible to obtain historical series rainfall data from rainfall stations located in the Pajeú River basin, from government agencies ANA, APAC, INMET. From these data, an analogy was made between the geographic coordinates of the rainfall stations, which contain data observed in the basin area, and the ETA model data for the same coordinates, enabling a comparison between the variables observed and simulated by ETA-HADGEM. Seasonal graphs were developed and statistical analyzes of PBIAS and Root Mean Square Error (RMSE) were applied. Data were corrected in CMhyd program. With the already corrected data, it was possible to make a comparative projection of rainfall rates between the observed data, corrected historical data, uncorrected data and future data between the years 2006 and 2037, 2038 and 2068 and 2069 to 2099. The results indicate that the scenario from 2038 to 2068 presents values that are more distant from those observed and from other scenarios, with higher rainfall rates, indicating a period with more extreme rainfall among the analyzed scenarios. However, in most of the rainfall stations, the scenario that comes closest to the observed data is for the period between 2006 and 2037. Forecasts point to a high rate of precipitation between January and March and drier periods in the other months of the year.

Keywords: weather scenarios, trend correction, precipitation, forecasts.

Análise das projeções climáticas futuras para a bacia do Rio Pajeú simuladas pelo modelo regional Eta-Hadgem2-ES

Resumo

A presente pesquisa teve como objetivo analisar os dados climáticos oriundos do modelo climático regional ETA-HADGEM para gerar cenários futuros de precipitação para a bacia do Rio Pajeú. Na metodologia, foram obtidos dados de chuva provenientes de estações pluviométricas localizadas na bacia do Rio Pajeú, das agências governamentais ANA, APAC, INMET. Em seguida, foi realizada uma analogia entre as coordenadas geográficas dos postos pluviométricos, que contém dados observados na área da bacia, e os dados do modelo ETA para as mesmas coordenadas, possibilitando uma comparação entre as variáveis observadas e simuladas pelo ETA-HADGEM-ES. Foram desenvolvidos gráficos sazonais e aplicadas análises estatísticas de PBIAS e Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE). Os dados foram corrigidos no programa CMhyd. Foi possível realizar uma projeção comparativa dos índices pluviométricos entre os dados observados, os dados históricos corrigidos, não corrigidos e os dados futuros entre os

anos de 2006 e 2037, 2038 e 2068 e 2069 até 2099. Os resultados indicam que o cenário de 2038 a 2068 apresenta valores mais distantes dos observados e dos outros cenários, com índices pluviométricos mais elevados, indicando um período com precipitações mais extremas dentre os cenários analisados. No entanto, na maior parte dos postos pluviométricos o cenário que mais aproxima dos dados observados são os do período entre 2006 e 2037. As previsões apontam para um elevado índice de precipitação entre janeiro a março e períodos mais secos nos demais meses do ano.

Palavras-chave: cenários climáticos, correção de tendência, precipitação, previsões.

1. Introdução

As extensões das ações antrópicas e o comportamento do clima influenciam diretamente na resposta do planeta às mudanças climáticas, principalmente em relação ao aumento das emissões de gases como o metano e o dióxido de carbono, que contribuem para o desequilíbrio ambiental, aumentando a temperatura em algumas regiões do planeta e diminuindo em outras (IPCC, 2014). Como consequência, variações na intensidade de eventos climáticos, como secas, ondas de calor e chuvas poderão ocorrer com maior frequência, ocasionando efeitos desastrosos para o meio ambiente e para a sociedade (Cavalcanti et al., 2009). Dessa forma, especialistas do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) organizam documentos referentes a essas ocorrências e suas consequências acerca da temática. O IPCC aponta para um aumento na frequência e na intensidade dos eventos extremos de cheias, assim como para períodos de estiagens e secas (IPCC, 2014).

Nesse contexto, são estudadas as variações climáticas do passado e suas projeções para o futuro a partir de modelos matemáticos complexos (p. ex., modelos de circulação global da atmosfera- GCM), que utilizam parametrizações dos sistemas que compõem a atmosfera, biosfera, hidrosfera, criosfera e a geosfera (Miller, 2011; Thrasher et al., 2012; Girvetz et al., 2013). Para isso, utiliza uma classificação baseada em cenários de baixas emissões RCP 2.5, RCP 4.5, RCP 6.0 (ou cenário otimista) e cenário de altas emissões – RCP8.5 (ou cenário pessimista).

Entre as ferramentas disponíveis para testar o efeito desses cenários e suas variantes sobre uma bacia hidrográfica, bem como as tendências climáticas apontadas pelo IPCC, destaca-se os modelos hidrossedimentológicos e de base física. Esses modelos são capazes de simular o comportamento do ciclo hidrossedimentológico de uma bacia, apontando possíveis alterações no seu ecossistema quando submetidas à entrada de dados com variações diversas de temperatura, precipitação e outras variáveis (Almeida et al., 2018). Simulação de alterações do sistema a partir de modelos hidrológicos tem sido desenvolvidos a fim de subsidiar a tomada de decisão e gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

Dessa forma, entende-se que a correta avaliação dos processos de interação entre a superfície e a atmosfera é de grande importância para o desenvolvimento sustentável das bacias hidrográficas, para gestão dos recursos hídricos de regiões e na aplicação de atividades tais como agricultura, estudos climáticos, geração de energia, qualidade da água e estudos preventivos de danos causados por fenômenos naturais.

A pesquisa de Andrade et al. (2020) avaliou os impactos futuros que mudanças climáticas podem ocasionar nos recursos hídricos da bacia do Rio Mundaú, no Brasil, utilizando a modelagem hidrológica e os modelos climáticos regionais, Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2. Os resultados das previsões mostraram que a vazão sazonal irá diminuir para ambos os modelos, tanto na estação chuvosa quanto na seca, exceto no médio prazo do Eta-HadGEM. Ainda segundo a autora, embora existam algumas incertezas associadas aos modelos climáticos, os resultados destes estudos podem auxiliar os gestores de recursos hídricos nas tomadas de decisões para uso adequado da água, desenvolvimento de políticas públicas que favoreçam a sustentabilidade, e adoção de práticas de mitigação e prevenção para garantir a segurança hídrica de bacias.

As projeções climáticas futuras realizadas por Lyra et al. (2018), utilizando o modelo ETA-HadGem, para três regiões metropolitanas do Sudeste do Brasil (Rio de Janeiro, São Paulo e Santos) indicaram previsão de aquecimento forte nestas regiões, sobretudo durante o verão, com redução da precipitação.

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi analisar os dados climáticos futuros, oriundos do modelo climático regional ETA-HADGEM, para gerar cenários futuros de precipitação para a bacia do Rio Pajeú e verificar se as projeções indicarão aumento e/ou diminuição das chuvas na área da bacia. Os resultados obtidos por meio desta pesquisa também alimentarão o banco de dados do Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER), que é definido como um sistema interativo de modelagem hidrológica e de qualidade de água, que utiliza como mecanismo de modelagem a Ferramenta de Avaliação do Solo e da Água – *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT).

2. Material e métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Pajeú está localizada no Estado de Pernambuco, entre as coordenadas geográficas de 07° 16' 20" e 08° 56' 01" de latitude sul e 36° 59' 00" e 38° 57' 45" de longitude. Está inserida na região fisiográfica do Sertão de Pernambuco, nas microrregiões do Pajeú, do Sertão do Moxotó, do Salgueiro e de Itaparica (Figura 1)

(Salgueiro e Montenegro, 2008). É a maior bacia do Estado, com uma área de 16.838,70 km², com nascente no município de Brejinho e extensão de aproximadamente 353 km. Seus principais afluentes na margem direita são os riachos Tigre, Barreira, Brejo, São Cristovão e Belém e na margem esquerda os riachos do Cedro, Quixabá, São Domingos, Poço Negro e do Navio (PERNAMBUCO, 2006).

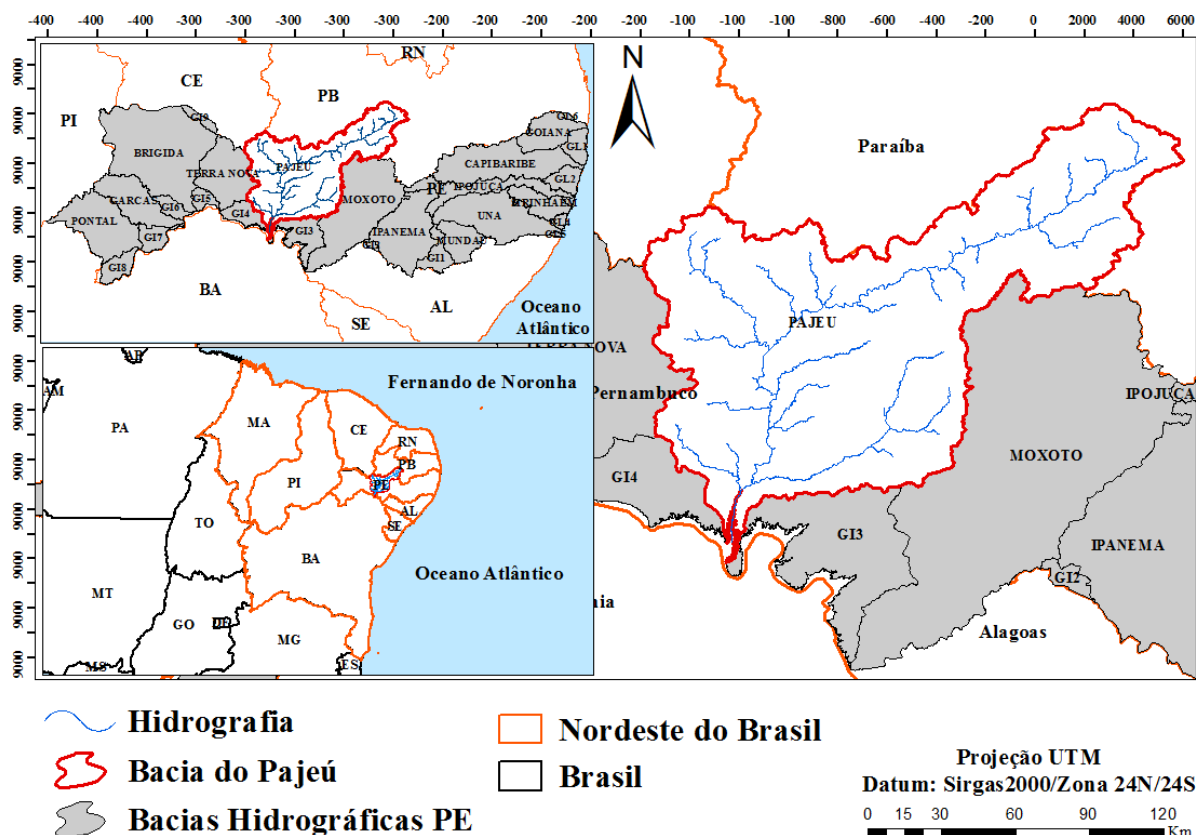


Figura 1- Localização da bacia hidrográfica do rio Pajeú, Estado de Pernambuco. Fonte: Viana (2020).

Na bacia do rio Pajeú a agricultura de sequeiro e a pecuária constituem a principal base econômica da região, que juntamente com a exploração ultra-extensiva da pecuária, constituem fatores determinantes da fragilidade da economia. A irrigação está presente com pequena influência, devido ao potencial hídrico gerado na própria região (Ribeiro, 2016).

A bacia do rio Pajeú é caracterizada pela grande irregularidade das precipitações pluviométricas, a exemplo disso está o município de Triunfo ao norte da bacia. Em função da altitude ao norte da bacia, a umidade do ar torna-se mais alta e, conseqüentemente, as precipitações mais elevadas. O período chuvoso na bacia do Pajeú compreende os meses de janeiro a abril. Os totais pluviométricos anuais oscilam entre 400 e 1200 mm (SECTMA, 2006). O período seco varia entre 7 e 10 meses com semiaridez acentuada na porção

mais ao sul, próximo ao rio São Francisco, onde predominam totais anuais entre 400 e 500 mm. Ao norte, as precipitações aumentam entre 700 e 800 mm. O clima na bacia do Pajeú é caracterizado como do tipo BSw'h' e BSwh', caracterizado como quente e seco de acordo com a classificação climática de Koppen (Alvarez et al., 2013).

Cenário de mudanças climáticas

Foram utilizados dados correspondentes aos cenários climáticos para o período entre 1961-2005 e o para 2006 a 2099. Os dados foram obtidos no PROJETA (Projeções de mudança do clima para a América do Sul regionalizadas pelo Modelo ETA), que representa uma plataforma criada para automatizar o processo de extração e disponibilização dos dados das projeções climáticas regionalizadas para o Brasil,

desenvolvido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) e pela Universidade de Passo Fundo (UPF).

Os cenários climáticos disponibilizados pela plataforma são gerados a partir do modelo climático regional Eta que cobre a América do Sul, a América Central e o Caribe na resolução de 20 km, (Chou et al., 2014). A redução de escala, conhecida como *downscaling* é produzida a partir dos modelos climáticos globais HadGEM2-ES, MIROC5, CanESM2 e BESM.

As simulações com o modelo Eta utilizam cenários de concentração dos gases de efeito estufa (2006 a 2100), sendo RCP2.5 considerado otimista, RCP4.5 relativamente otimista e RCP 8.5 mais pessimista, no qual referem-se ao Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados, Fase 5 (CMIP5). Os dados do período histórico (*baseline* ou referência), correspondem ao período em que se utilizam concentrações de gases do efeito estufa em valores atuais, compreendido entre 1961 até 2005.

Neste contexto, foi possível analisar o cenário com caminho representativo de concentração (RCP - *Representative Concentration Pathways*), relativo à forçante radiativa de 4.5 W/m² (RCP 4.5), pelo modelo regional ETA-HADGEM-ES.

Tratamento e análise de dados para projeções climáticas futuras

Realizada a organização e tratamento dos dados em planilhas, foram aplicadas as correções de tendências desses cenários climáticos. Também foram obtidos dados de chuva de série histórica provenientes de estações pluviométricas, localizadas na bacia do Rio Pajeú, da Agência Nacional de Águas (ANA) (Tabela 1). A partir desses dados, foi realizada uma analogia entre as coordenadas geográficas dos postos pluviométricos, que contém dados observados na área da bacia, e os dados do modelo ETA para as mesmas coordenadas, possibilitando uma comparação entre as variáveis observadas e simuladas pelo ETA-HADGEM-ES, através da geração de gráficos sazonais e aplicação de análises estatísticas de PBIAS Percentual de Tendência e Raiz do Erro Médio Quadrático - RMSE (*Root mean square error*). O PBIAS avalia a tendência média que os dados simulados têm de serem maiores ou menores que os dados observados, indicando que quanto menor o valor, melhor é o ajuste, com zero representando uma simulação perfeita do evento observado Moriasi et al. (2007) Valores positivos dessa função indicam tendência de subestimação dos dados simulados,

enquanto os negativos indicam superestimação (Venzon et al., 2018). A RMSE expressa a precisão de um dado modelo em relação aos dados observados (Lehmann e Casella, 1998). A partir da métrica avaliada, quanto mais próximo de zero for o valor do RMSE, mais próximo das observações será o resultado do modelo. O RMSE pode ser dado por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M - O)^2}{N}}$$

onde *N* é o número total da série, *M* representa o valor dos dados derivados dos modelos e *O* denota o valor dos dados observados.

Para a correção de erro sistemático do modelo ETA, foi utilizada a ferramenta *ClimateModel Data for hydrologic modeling (CMhyd)* e o método *Linear Scaling (LS)* (TEUTSCHBEIN e SEIBERT, 2012), considerando o período de 1961 a 2005. O *Climate Change for Watershed Modeling (CMhyd)* corresponde a uma ferramenta altamente recomendada para extrair erros sistemáticos oriundos de dados obtidos de modelos climáticos regionais (TEUTSCHBEIN e SEIBERT, 2012). O software pode ser obtido gratuitamente pelo site da Texas A&M University (<https://swat.tamu.edu/software/cmhyd/>).

Tabela 1- Postos pluviométricos utilizados como referência para a correção de tendência

Posto Pluviométrico	Latitude	Longitude	Elevação
p13	-7.9931	-38.2936	435
p15	-7.9969	-38.6236	437
p54	-8.1158	-38.7272	440
p69	-7.8325	-37.3717	591
p74	-7.5883	-37.5369	583
p92	-7.444	-37.2806	625
p93	-8.2708	-38.0331	441
p146	-7.7503	-37.6406	536
p182	-7.8372	-38.1061	1001
p184	-7.8078	-37.7981	564
p186	-7.9478	-37.7956	568
p189	-8.0317	-38.1231	483
p194	-8.0492	-37.8369	562
p228	-8.1911	-37.915	478
p238	-7.7406	-37.8586	525
p248	-8.1692	-38.2236	438
p255	-8.3831	-38.3328	404
p419	-8.3333	-38.4167	383
p434	-8.4333	-38.8667	399

p: nomenclatura utilizada para identificar os postos pluviométricos da ANA inseridos na bacia)

3. Resultados e discussão

Análise das projeções

A média pluviométrica mensal para os cenários históricos e futuros da bacia do Rio Pajeú é apresentada na Figura 2. Foi realizada uma avaliação mais detalhada das estações que apresentaram melhor qualidade dos dados (dados com menor quantidade de falhas). Logo, nessa pesquisa são apresentados os melhores resultados dentre todas as estações analisadas, totalizando 19. A análise foi dividida entre os períodos de 2006 a 2037, 2038 a 2068 e 2069 a 2099. Essas escalas temporais foram determinadas com base em critérios adotados para se analisar o clima de regiões, que tem como período mínimo 30 anos.

No geral, os resultados mostraram que após a correção dos dados os valores de chuva se ajustaram melhor aos dados observados nas estações analisadas. É importante mencionar que alguns cenários antecipam o pico do período chuvoso, por isso é importante aplicar o processo de correção. As correções demonstraram melhorias para os dados utilizados nos estudos de Oliveira et al. (2017), Zhang et al. (2018) e Santos et al. (2019). Em relação aos períodos analisados, observa-se uma tendência de aumento das chuvas entre os meses de janeiro a março, com decréscimo a partir de abril até o fim de outubro, com pequena elevação entre novembro e dezembro.

No que se refere às projeções, os resultados indicam que o cenário de 2038 a 2068 apresenta valores mais distantes dos observados e dos outros cenários, com índices pluviométricos mais elevados, indicando um período com precipitações mais extremas dentre os cenários analisados. No entanto, na maior parte dos postos pluviométricos o cenário que mais aproxima dos dados observados são os do período entre 2006 e 2037.

No posto p54 as projeções indicam que os índices de chuva dos anos 2006 a 2037 se ajustaram melhor aos dados observados, assim como grande parte do período de 2069 a 2099. O período mais extremo também é apontado entre 2038 e 2068. À semelhança da análise geral, para esse posto as chuvas tendem a aumentar para os cenários entre janeiro e março e diminuem entre abril e outubro, cujo período é bem seco. Dessa forma, a variação sazonal tende a aumentar no início dos anos e reduzir no período entre maio a outubro, sendo provável a ocorrência de períodos mais secos na bacia.

Os resultados para esse posto relacionados ao RMSE e PBIAS mostram que o cenário de 2006 a 2037 apresentaram estatísticas mais ajustadas aos dados

observados após a correção de tendência, com RMSE de 8.09 mm e PBIAS de 3.42, indicando uma subestimativa dos dados em relação aos observados (Tabelas 2 e 3).

Entre os anos de 2038 e 2068, o RMSE indica valores mais discrepantes dos observados, indicando menor ajuste dos dados para esse cenário, que se mostra mais extremo em relação aos outros, como por exemplo nos postos p74 e p182. No cenário de 2069-2099 os resultados indicam valores também elevados, quando comparado aos dados observados, porém menores que o cenário anterior, apresentando seu menor valor no posto p54 (17.21 mm de chuva). Assim, as estatísticas (Tabelas 2 e 3) mostram que os resultados referentes ao cenário de 2006-2037 apresentam um ajuste melhor em relação aos dados observados, e depois da correção os dados tenderam a melhorar, como por exemplo no posto p54 que apresentou um PBIAS de 3.42% e RMSE de 8,09 mm nesse período. O período de 2069-2099 também apresentou ajuste satisfatório após a correção dos dados, sobretudo nos postos p54 e p93, que indicaram PBIAS de -3,0 e -8,84% e RMSE de 17,21 e 16,22 mm, respectivamente. Nesse contexto, Farias et al. (2020) constatou que os métodos de correção aplicados para refinar esse tipo de informação foram eficazes para os resultados das projeções de cenários climáticos futuros na bacia do Rio Mundaú.

Os resultados obtidos por Oliveira et al. (2017) mostraram que após a correção de tendência para ambas as forçantes (4.5 e 8.5) com o Eta-HadGEM2-ES, os cenários projetados para precipitação tenderam a diminuir, indicando que na região da bacia do Rio Grande, entre Minas Gerais e São Paulo, haverá tendência de menor incidência de chuva para o período analisado.

Assim como os outros dois autores, após a aplicação da correção de tendência, utilizando vários métodos de correção, Zhang et al. (2018) também constataram uma melhora significativa nos resultados estatísticos para os cenários projetados em relação aos dados observados. Os resultados mostraram marcante variabilidade temporal e espacial na precipitação (-37% a + 63%) e mudanças de temperatura (-3°C a +14°C), que se refletem em alterações na evapotranspiração (-52% a +412%) e no armazenamento de água no solo (-60% a + 12%), resultando em alterações na vazão (-77% a + 170%). Em média, aumentos no inverno (+ 11%) e diminuições na primavera (-33%), verão (-23%) e outono (-15%) são esperados no futuro em relação à vazão dos rios analisados.

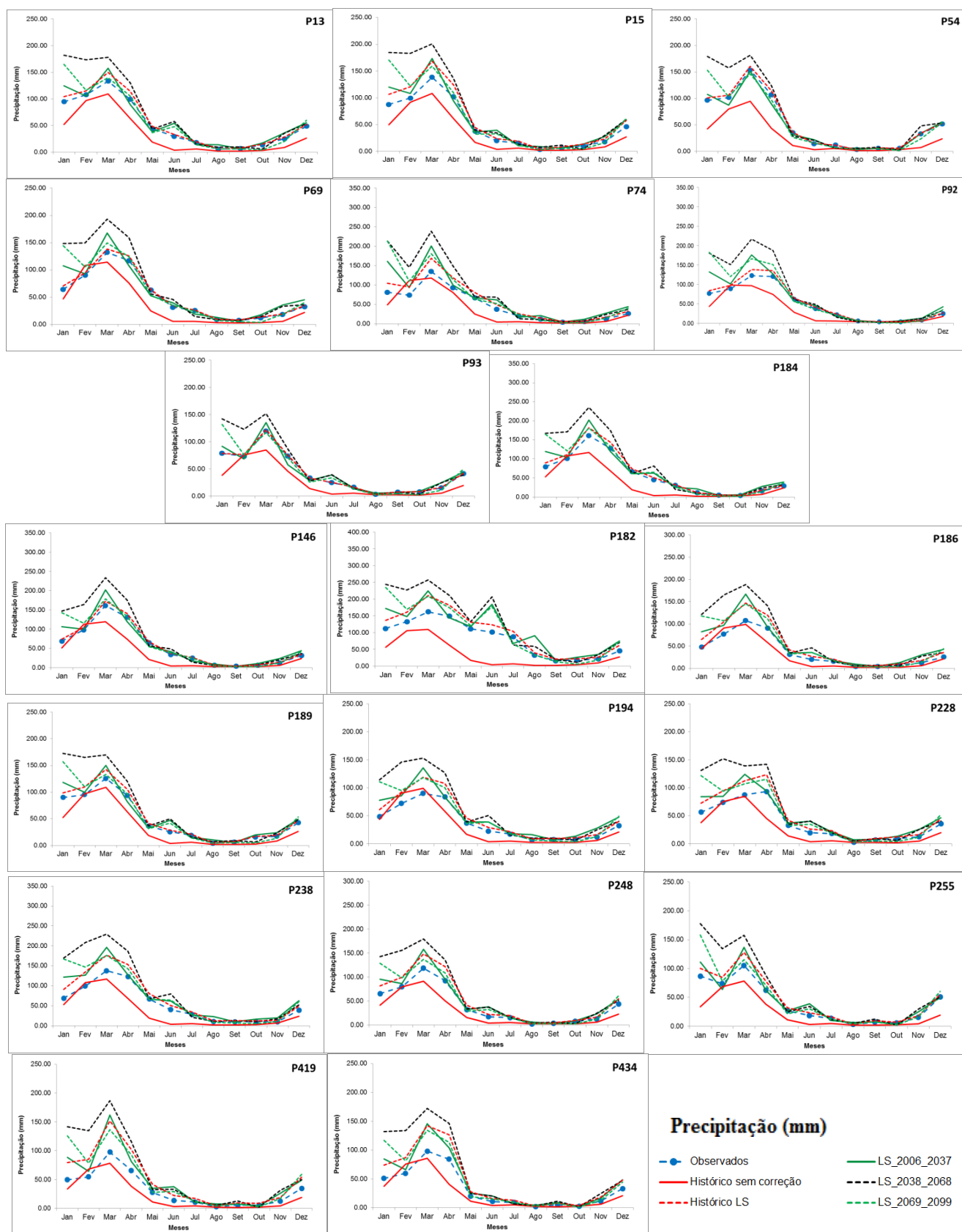


Figura 2- Média mensal da pluviometria na bacia do Rio Pajeú para cenários históricos e futuros do modelo climático ETA-HADGEM, utilizando o método Linear Scaling (LS) para a correção de tendência.

Tabela 2- Estatística de PBIAS para os postos pluviométricos analisados e cenários climáticos na bacia do Rio Pajeú

Postos de Precipitação	PBIAS (%)				
	Histórico s/correção	Histórico LS	LS_2006_2037	LS_2038_2068	LS_2069_2099
P13	37.61	-10.63	-13.63	-42.60	-14.81
P15	35.20	-22.30	-19.28	-55.09	-24.61
P54	48.99	-4.50	3.42	-31.79	-3.00
P69	30.89	-5.68	-16.72	-43.70	-17.82
P74	24.47	-26.99	-42.74	-73.74	-45.94
P92	33.20	-10.36	-26.30	-59.37	-35.97
P93	39.51	-1.98	-6.11	-34.02	-8.84
P146	33.69	-7.21	-14.14	-42.28	-16.49
P182	59.06	-23.08	-31.57	-55.36	-31.05
P184	39.30	-11.15	-16.96	-45.84	-20.63
P186	20.64	-35.42	-41.73	-79.25	-43.63
P189	31.70	-12.10	-14.52	-44.17	-16.39
P194	20.10	-28.37	-34.88	-68.06	-35.68
P228	33.43	-29.39	-30.49	-66.11	-33.89
P238	36.03	-27.70	-33.63	-65.96	-37.36
P248	34.44	-26.87	-25.75	-60.99	-28.56
P255	43.05	-18.45	-15.62	-55.30	-22.82
P419	30.09	-55.87	-50.27	-98.41	-55.63
P434	24.37	-46.47	-37.89	-87.33	-44.66

Tabela 3- Estatística para o RMSE dos postos pluviométricos analisados e cenários climáticos na bacia do Rio Pajeú.

Postos de Precipitação	RMSE (mm)				
	Histórico s/correção	Histórico LS	LS_2006_2037	LS_2038_2068	LS_2069_2099
P13	22.75	7.63	14.41	36.46	21.88
P15	21.29	14.26	16.14	42.86	26.33
P54	33.08	3.56	8.09	30.88	17.21
P69	21.59	3.84	18.24	37.34	24.58
P74	22.60	16.44	32.02	56.22	42.46
P92	23.12	7.22	23.48	48.51	35.68
P93	20.81	1.36	9.15	25.90	16.22
P146	26.87	5.19	17.42	38.79	22.80
P182	58.46	22.85	40.25	66.50	46.89
P184	30.46	8.91	18.36	42.60	26.70
P186	12.86	17.66	22.55	44.01	26.29
P189	18.62	7.98	13.51	35.60	21.08
P194	13.81	13.62	18.25	37.24	22.42
P228	17.76	14.40	15.84	38.06	22.56
P238	26.41	19.75	26.31	55.07	35.20
P248	18.63	14.87	16.30	38.79	21.52
P255	22.13	9.81	13.62	36.46	21.49
P419	13.98	23.82	24.15	46.91	28.09
P434	15.35	21.16	18.82	42.80	24.40

4. Conclusão

A análise dos cenários climáticos mostrou que há tendência de aumento da precipitação entre os meses de janeiro e março, e que nos demais meses esses

níveis serão baixos, indicando um período mais longo de estiagem. Assim, a geração dos cenários climáticos para a variável chuva permitiu obter uma perspectiva de projeção dos níveis de precipitação que ocorrerão na região da bacia do Rio Pajeú para os períodos

analisados. Tendo em vista que a Região do Pajeú é marcada por períodos longos de estiagem com baixos níveis de chuva, atrelados a tonificação das mudanças climáticas, os cenários analisados apontam que essas projeções, se concretizadas, podem implicar não apenas no ecossistema local, mas nas atividades econômicas da região.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a UFPE pela bolsa de IC da primeira autora, a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de pós-doutorado BFP da segunda autora. Ao CNPq (Proc. 448236/2014-1) pela bolsa PQ (Produtividade e Pesquisa) da terceira autora. Aos projetos Universal MCTIC/CNPq 28/2018 (Proc. 431980/2018-7), PEGASUS MCTI / CNPq N° 19/2017 (Proc. 441305/2017-2), CNPq/MCTIC/BRICS 29/2017 (Proc. 442335/2017.2) e ao INCT Mudanças Climáticas II.

Referências

- Almeida, R.A., Pereira, S.B., Pinto, D.B.F., 2018. Calibration and Validation of the SWAT Hydrological Model for Mucuri River Basin. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering* 38, 55-63.
- Andrade, C.W.L., Montenegro, S.M.G.L., Montenegro, A.A.D.A., Lima, J.R.S., Srinivasan, R., Jones, C.A., 2020. Climate change impact assessment on water resources under RCP scenarios: A case study in Mundaú River Basin, Northeastern Brazil. *International Journal of Climatology* 1-17.
- Cavalcanti, I.F.A., Ferreira, N.J., Silva, M.G.A.J., Dias, M.A.F., 2009. *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Textos, São Paulo.
- Chou, S.C., Lyra, A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, I., Gomes, J., Bustamante, J., Tavares, P., Silva, A., Rodrigues, D., Campos, D., Chagas, D., Sueiro, G., Siqueira, G., Marengo, J., 2014. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change* 3, 512-527. doi: 10.4236/ajcc.2014.35043.
- Farias, C.W.L.A., Montenegro, S.M.G.L., Lins, F.C.A., Montenegro, A.A.A., 2020. Correção de tendência das projeções climáticas futuras simuladas pelo modelo regional Eta-Hadgem2-Es para a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, Nordeste do Brasil. *Journal of Environmental Analysis and Progress* 5, 288-301.
- Girvetz, H.E., Maurer, E., Duffy, P., 2013. *Climate Central. Making climate data relevant to decision making: the important details of spatial and temporal downscaling*. The Nature Conservancy the Word Bank.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, pp. 151.
- Lehmann, E.L., Casella, G., 1998. *Theory of Point Estimation*. 2nd ed. Springer, New York.
- Lyra, A., Tavares, P., Chou, S.C., Sueiro, G., Dereczynski, C., Sondermann, M., Silva, A., Marengo, J., Giarolla, A., 2018. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. *Theoretical and Applied Climatology* 132, 663-682.
- Miller, G.T., 2011. *Ciência Ambiental*. 11. ed. Cengage Learning, São Paulo.
- Oliveira, V.A., Mello, C.R., Viola, M.R., Srinivasan, R., 2017. Assessment of climate change impacts on streamflow and hydropower potential in the headwater region of the Grande river basin, Southeastern Brazil. *International Journal of Climatology* 37, 5005-5023.
- PERNAMBUCO, 2006. *Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco*. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, Recife.
- Ribeiro, E.P., 2016. Mudanças ambientais e desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú.
- Salgueiro, J.H.P.B., Montenegro, S.M.G.L., 2008. Análise da distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú em Pernambuco segundo método geostatístico. *Revista Tecnologia* 29, 174-185.
- Santos, L., 2009. Modelos hidráulicos-hidrológicos: Conceitos e Aplicações *Revista Brasileira de Geografia Física* 2, 1-19.
- Santos, C.A.S., Rocha, F.A., Ramos, T.B., Alves, L.M., Mateus, M., Oliveira, R.P., Neves, R., 2019. Using a hydrologic model to assess the performance of regional climate models in a semi-arid watershed in Brazil. *Water* 11, e170.
- SECTMA. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. *Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco*. Recife.
- Silva, R.O.B.da, Montenegro, S.M.G.L., Souza, W.M.de., 2017. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22, 579-589.
- Deutschbein, C., Seibert, J., 2012. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological

- climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology* 456, 12-29.
- Thrasher, B., Maurer, E.P., Mckellar, C., Duffy, P.B., 2012. Technical note: bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. *Hydrologic Earth System Science* 16, 3309-3314.
- Zhang, B., Shrestha, N.K., Daggupati, P., Rudra, R., Shukla, R., Kaur, B., Hou, J., 2018. Quantifying the impacts of climate change on streamflow dynamics of two major rivers of the Northern Lake Erie. *Sustainability* 10, 2897. doi:10.3390/su10082897