

Tendências e projeções de temperatura do ar e precipitação para os municípios de Monteiro e Patos (Paraíba)

Louise Pereira da Silva¹
Paula Rose de Araújo Santos²
Giusep Magno da Silva Ribeiro³
Susane Eterna Leite Medeiros⁴
Raphael Abrahão⁵

RESUMO

No presente trabalho foram realizadas análises de tendências mediante o teste de Mann-Kendall e a aplicação do modelo climático regionalizado Eta-BESM para projeções futuras por meio dos cenários RCP4.5 e RCP8.5, nos municípios de Monteiro e Patos, localizados no estado da Paraíba (Brasil). Os parâmetros selecionados foram temperatura máxima, mínima, média do ar e precipitação pluvial. Os resultados indicam que em Monteiro as temperaturas do ar apresentam tendências históricas significativas e crescentes. Em Patos foi observado o mesmo comportamento, exceto na temperatura mínima do ar. As projeções são superiores quando comparadas aos dados históricos de temperatura do ar, para o RCP8.5, e confirmam o prognóstico de que as temperaturas do ar continuarão aumentando nas próximas décadas. No cenário RCP4.5, em alguns meses a temperatura do ar é inferior ou semelhante ao período histórico. Para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, a precipitação projetada é superior à dos dados históricos no primeiro semestre do ano para as duas localidades.

Termos para indexação: clima, modelo climático, mudanças do clima, RCP4.5, RCP8.5.

Trends and projections of air temperature and precipitation for the municipalities of Monteiro and Patos (state of Paraíba, Brazil)

ABSTRACT

In the present work, trend analyzes were performed using the Mann-Kendall test and the application of the regionalized climate model Eta-BESM for future projections through scenarios RCP4.5 and RCP8.5, in the municipalities of Monteiro and Patos, located in the state of Paraíba (Brazil). The selected parameters were maximum, minimum, average air temperature and rainfall. The results indicate that in Monteiro, air temperatures show significant and growing historical trends. The same behavior was observed in Patos, except for the minimum air temperature. The projections are superior when compared to historical air temperature data, for RCP8.5, and confirm the prognosis that air temperatures will continue to rise in the coming decades. In the RCP4.5 scenario, in some months, the air temperature is lower or similar to the historical period. For the scenarios RCP4.5 and RCP8.5, the projected precipitation is higher than that of the historical data in the first half of the year for both locations.

Index terms: climate, climate model, climate change, RCP4.5, RCP8.5.

Ideias centrais

- Alterações dentro da atmosfera terrestre provocam oscilações no clima.
- As variações no clima podem ser visualizadas e compreendidas por meio de dados históricos ou pelo uso de modelos climáticos.
- A análise futura pode ser feita pela aplicação de modelos climáticos.
- Nos municípios de Monteiro e Patos (PB) foi investigado indícios de tendências dos dados históricos.

Recebido em
10/08/2020

Aprovado em
03/06/2021

Publicado em
11/11/2021



This article is published in Open Access under the Creative Commons Attribution licence, which allows use, distribution, and reproduction in any medium, without restrictions, as long as the original work is correctly cited.

¹ Engenheira de energias renováveis, doutoranda em Engenharia Mecânica, João Pessoa, PB. E-mail: louise.silva@cear.ufpb.br

² Engenheira ambiental, doutoranda em Engenharia Mecânica, João Pessoa, PB. E-mail: paulajp-rose@hotmail.com

³ Engenheiro de energias renováveis, graduando em Engenharia de Energias Renováveis, João Pessoa, PB. E-mail: giusep.ribeiro@cear.ufpb.br

⁴ Bacharel em Física Computacional, doutoranda em Física, João Pessoa, PB. E-mail: susane.eterna@cear.ufpb.br

⁵ Engenheiro agrícola, doutor em Engenharia Química e Ambiental, professor do Departamento de Engenharia de Energias Renováveis, João Pessoa, PB. E-mail: raphael@cear.ufpb.br

INTRODUÇÃO

A Terra possui tipos climáticos heterogêneos em razão de efeitos naturais e antrópicos que influenciam toda a atmosfera. A variação natural da temperatura do ar é decorrente da trajetória diária e anual da Terra ao redor do Sol e das alterações interanuais de temperatura, sendo representada pelos parâmetros de tendências e de oscilações térmicas (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007). Os dados apresentados pelo relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) confirmaram que as emissões de gases intensificadores do efeito estufa são causadores do aquecimento global e que as atividades antrópicas são a causa principal do aumento da temperatura terrestre (Field et al., 2014).

Qualquer alteração dentro da atmosfera terrestre provoca oscilações no clima. O equilíbrio climático da Terra depende da diferença entre a energia total recebida do Sol e a energia que retorna, por reflexão e emissão, ao espaço (Mukhopadhyay et al., 2018). Ainda que a influência das mudanças climáticas nos eventos climáticos extremos (chuva forte, seca intensa, etc.) não seja completamente compreendida, dados estatísticos mostram que estamos tendo cada vez mais eventos climáticos extremos em todo o planeta (Artaxo, 2014).

Variações no clima podem ser visualizadas e compreendidas por meio de dados históricos ou pelo uso de modelos climáticos. Com os dados históricos é possível obter a caracterização local, assim como as tendências que auxiliam na compreensão do comportamento do elemento climático ao longo de um período (Medeiros et al., 2019; Silva et al., 2019a). A análise futura pode ser feita por meio da aplicação de modelos climáticos. De acordo com a NOAA (2017), os modelos climáticos são sistemas de equações diferenciais com base nas leis da física (como movimento dos fluidos) e da química. Para que haja uma normalização na análise climática desses modelos, são adicionados os cenários RCP (*representative concentration pathways*), e sua classificação varia de acordo com a quantidade de energia absorvida pelos gases de efeito estufa (Assis, 2016).

Esses métodos de avaliação do clima contribuem para uma análise temporal mais abrangente, estudando o passado, analisando o presente e simulando o futuro. No presente estudo, foi realizada uma análise climática nas estações meteorológicas localizadas nos municípios de Monteiro e Patos, no estado da Paraíba, investigando-se indícios de tendências nos períodos mensal e anual dos dados históricos do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). Além disso, foi realizado o estudo do comportamento dos dados climáticos ao longo do ano no período histórico e futuro utilizando-se os cenários RCP4.5 e RCP8.5 por meio do modelo climático regionalizado Eta-BESM.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estado da Paraíba está localizado na região Nordeste do Brasil. A Paraíba é dividida em quatro regiões geográficas intermediárias: João Pessoa, Campina Grande, Patos e Sousa-Cajazeiras (IBGE, 2017a) (Figura 1). O município de Monteiro pertence à região intermediária de Campina Grande. Possui uma área territorial de 992,620 km² e a maior população dentro da sua região imediata, com uma população estimada, em 2020, de 33.433 pessoas e o PIB per capita de R\$ 15.980,78 (IBGE, 2018a) (Figura 1). O município de Patos, pertencente à região intermediária de Patos, apresenta uma área de 472,892 km², uma população estimada, em 2020, de 108.192 pessoas e o PIB per capita de R\$ 16.208,14 (IBGE, 2018b). É o principal município da sua região intermediária (Figura 1).

Patos e Monteiro são municípios importantes que fazem parte da região semiárida do Brasil (IBGE, 2017b). De acordo com as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) (1981–2010), esses municípios apresentam distinções nos parâmetros de temperatura do ar e precipitação (Inmet, 2010).

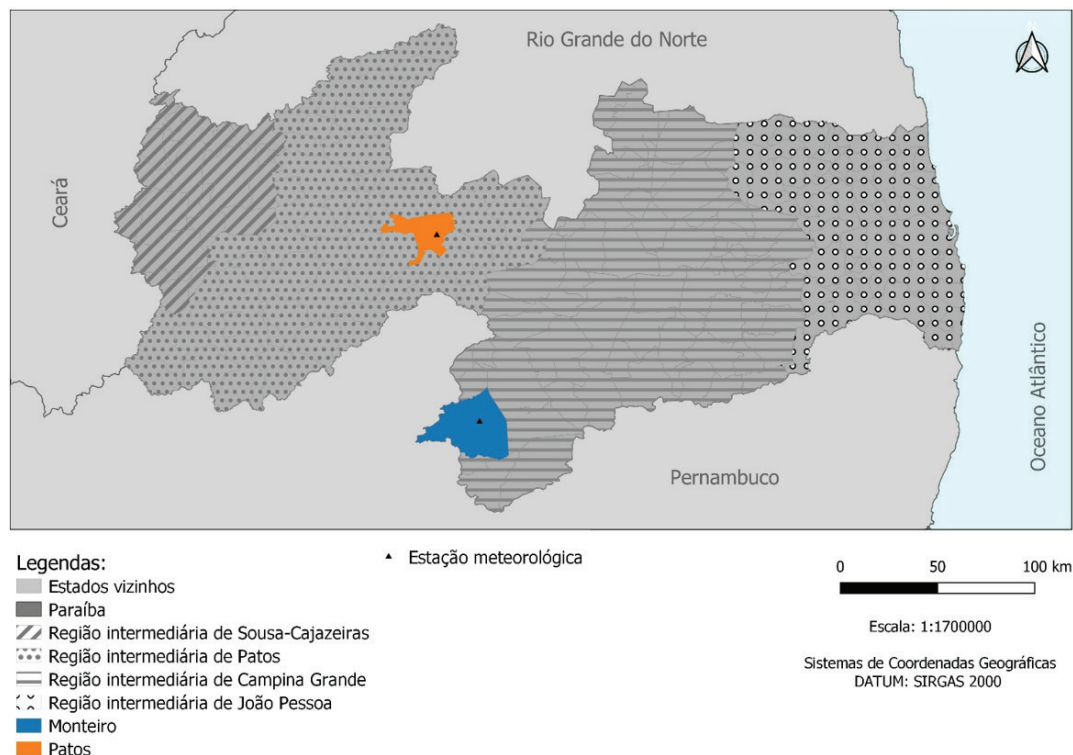


Figura 1. Localização dos municípios e das estações meteorológicas de Monteiro e Patos no estado da Paraíba.

Fonte: adaptado de IBGE (2017a).

Coleta e análise dos dados históricos

Os dados históricos utilizados nesta pesquisa foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). Os dados coletados são da estação meteorológica convencional do município de Monteiro (n° 82792) e de Patos (n° 82791). As informações coletadas são mensais, referentes ao período entre janeiro de 1963 e dezembro de 2018 para Monteiro, e entre janeiro de 1977 e dezembro de 2018 para Patos (Inmet, 2019).

Os elementos climáticos selecionados foram precipitação, e temperatura máxima, média e mínima do ar. Os dados foram organizados por elemento em planilhas e, em seguida, foram submetidos a um processo de controle de qualidade para verificação e eliminação de erros derivados de problemas técnicos e/ou de transmissão dos dados.

A análise das tendências foi realizada com a utilização do teste de Mann-Kendall. Esse método permite o estudo de funções monótonas, ou seja, examina se os dados estão atuando de forma crescente ou decrescente. A tendência linear é avaliada pelo método de Sen, no qual o modelo linear é utilizado para estabelecer a amplitude da tendência e a variação dos dados no tempo (Salmi et al., 2002).

Coleta e análise dos dados para os modelos climáticos

Os dados de projeção de precipitação e temperaturas máxima, média e mínima do ar foram gerados por meio do modelo climático global BESM (Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre) associado ao modelo climático regional Eta, obtidos pelo CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) e o Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), disponíveis na plataforma Projeta (Chou et al., 2014a, 2014b; Brazil, 2016; Lyra et al., 2017). O BESM é um modelo climático brasileiro distinto de outros modelos, por levar em consideração características nacionais para geração de dados, como, por exemplo, as queimadas, a dinâmica da vegetação, a influência dos biomas no clima e outros aspectos (BESM, 2019).

Para as condições climáticas futuras, foram considerados dois cenários, com concentrações de gases de efeito estufa (GEE) distintas, os chamados RCPs. O cenário RCP4.5 (mais otimista) possui uma concentração futura aproximada de 650 ppm de CO₂ equivalentes, e o RCP8.5 (mais pessimista), corresponde a uma concentração maior do que 1.370 ppm de CO₂ equivalentes na atmosfera (Moss et al., 2010).

Os dados de projeção desse trabalho têm resolução de 20 km, e o período temporal futuro foi de 2041 a 2070 para os cenários RCP4.5 e RCP8.5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendências climáticas

Na análise anual da estação de Monteiro, as temperaturas máxima, mínima e média do ar apresentaram tendências significativas de aumento ($p < 0,001$ nos três casos), mas o mesmo não ocorreu para a precipitação, para a qual não foi identificada alteração significativa durante o período estudado (Tabela 1). Para temperatura máxima do ar na análise mensal, foram observadas tendências significativas de aumento entre 0,03 °C/ano e 0,09 °C/ano para os meses de janeiro, março, abril, maio, junho, setembro e dezembro, com destaque para o mês de abril ($p < 0,001$). Para a temperatura mínima do ar, as tendências mensais foram significativas, com indicativo de crescimento entre 0,03 °C/ano e 0,08 °C/ano, com exceção de janeiro e fevereiro. A temperatura média do ar apontou tendência significativa em todos os meses, com o crescimento mensal variando entre 0,02 °C/ano e 0,08 °C/ano.

Tabela 1. Tendências detectadas nos dados de temperatura do ar máxima, mínima, média e precipitação por meio do teste de Mann-Kendall, quantificadas pelo declive de Sen para a estação meteorológica de Monteiro, PB, entre os anos de 1963 e 2018.

Período	Temperatura máxima (°C/ano)	Temperatura mínima (°C/ano)	Temperatura média (°C/ano)	Precipitação (mm/ano)
Jan.	0,04 **	0,01 ns	0,04 **	0,49 ns
Fev.	0,03 ns	0,02 ns	0,04 +	-1,27 ns
Mar.	0,08 *	0,03 +	0,06 **	-1,65 ns
Abr.	0,09 ***	0,03 *	0,08 ***	-1,22 ns
Maio	0,05 +	0,06 ***	0,07 **	1,10 ns
Jun.	0,04 +	0,05 ***	0,06 ***	-0,19 ns
Jul.	0,03 ns	0,05 **	0,05 **	0,17 ns
Ago.	0,01 ns	0,08 ***	0,05 ***	0,05 ns
Set.	0,03 +	0,07 ***	0,05 **	-0,02 ns
Out.	0,01 ns	0,03 +	0,02 *	0,0 ns
Nov.	0,02 ns	0,02 *	0,03 **	0,0 ns
Dez.	0,03 *	0,03 *	0,04 **	-0,30 ns
Anual	0,04 ***	0,04 ***	0,05 ***	-5,66 ns

ns: não significativo; +: $p < 0,10$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$.

Para a estação de Patos, levando em consideração as tendências anuais, as temperaturas máxima e média do ar apresentaram aumentos significativos ($p < 0,001$ e $p < 0,05$, respectivamente) (Tabela 2). A temperatura máxima do ar no período mensal teve tendência crescente entre março e novembro. No parâmetro de temperatura mínima do ar, apenas o mês de julho ($p < 0,05$) apresentou aumentos significativos, com tendência crescente de 0,07 °C/ano. Para a temperatura média do ar, os

meses de março, maio, julho e agosto apresentaram tendências significativas de aumento, variando entre 0,07 °C/ano e 0,14 °C/ano. Assim como para a estação de Monteiro, os dados de precipitação mensal e anual em Patos não indicaram significância estatística para tendências.

Tabela 2. Tendências detectadas nos dados de temperatura do ar máxima, mínima, média e precipitação por meio do teste de Mann-Kendall, quantificadas pelo declive de Sen para a estação meteorológica de Patos, PB, entre os anos de 1977 e 2018.

Período	Temperatura máxima (°C/ano)	Temperatura mínima (°C/ano)	Temperatura média (°C/ano)	Precipitação (mm/ano)
Jan.	0,05 ns	-0,04 ns	0,02 ns	1,57 ns
Fev.	0,08 ns	-0,04 ns	-0,02 ns	0,73 ns
Mar.	0,15 **	0,0 ns	0,10 +	-2,79 ns
Abr.	0,15 *	0,0 ns	0,10 ns	0,30 ns
Maio	0,17 **	0,03 ns	0,14 +	-0,35 ns
Jun.	0,08 *	0,05 ns	0,07 ns	0,06 ns
Jul.	0,07 *	0,07 *	0,08 *	0,0 ns
Ago.	0,09 ***	0,02 ns	0,07 ***	0,0 ns
Set.	0,07 **	0,01 ns	0,04 ns	0,0 ns
Out.	0,04 **	0,03 ns	0,03 ns	0,0 ns
Nov.	0,07 **	0,01 ns	0,04 ns	0,0 ns
Dez.	0,03 ns	-0,02 ns	0,0 ns	0,34 ns
Anual	0,09 ***	0,01 ns	0,05 *	0,29 ns

ns: não significativo; +: $p < 0,10$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$.

Por meio da análise de tendências, outros autores encontraram resultados similares ao presente. A tendência climática para a temperatura do ar nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco foi analisada por Lima et al. (2010), entre os anos de 1961 a 1990. Em Monteiro, foram encontradas tendências de aumento superior a 0,02°C/ano e a 0,05°C/ano para a temperatura mínima e média anual do ar, respectivamente (Lima et al., 2010). No presente estudo foi visto que, além da temperatura mínima e média anual do ar, a tendência de aumento da temperatura máxima anual em Monteiro também foi significativa.

O aumento significativo da temperatura média anual do ar para a região da Mata Paraibana e do Sertão Paraibano também foi observado por Silva et al. (2017) no período de 1975 a 2015; além disso, os autores identificaram que a temperatura média do ar para Patos apresentou uma tendência significativa de aumento entre os meses de março a agosto. Os aumentos obtidos em Patos, nos meses de julho e agosto, de temperatura média do ar neste estudo foram superiores aos encontrados por Silva et al. (2017).

Projeções climáticas futuras

O comportamento das temperaturas mínimas, médias e máximas do ar projetadas pelo modelo Eta-BESM, no período de 2041–2070, associadas ao RCP4.5 e RCP8.5, foram comparadas ao período histórico de Monteiro (1963–2018) e de Patos (1977–2018) e podem ser observadas na Figura 2.

Os municípios de Monteiro e Patos apresentaram projeções de aumento das temperaturas mínimas e médias do ar para todos os meses em ambos os cenários RCP. Ocorre que para Monteiro, a temperatura mínima do ar teve aumento entre 10% e 20% no cenário mais pessimista (RCP8.5) e entre 8% e 15% no cenário mais otimista (RCP4.5). Com relação a Patos, as temperaturas mínima e média do ar apresentaram aumento superior a 2 °C nos meses de novembro, dezembro e janeiro no RCP8.5 (Figura 2). Aumentos semelhantes da temperatura foram observados por Marengo e Bernasconi (2014) por meio do modelo Eta-HadCM3. Os autores projetaram aumento da temperatura do ar entre 2 °C e 4 °C na região Semiárida do Nordeste (2010–2040) e acima dos 4 °C no final do século XXI. Para o município de Santa Teresinha (também no estado da Paraíba), Althoff et al. (2016) projetaram aumentos de 4 °C e 6 °C em 2011–2040 para a temperatura mínima e máxima do ar, respectivamente.

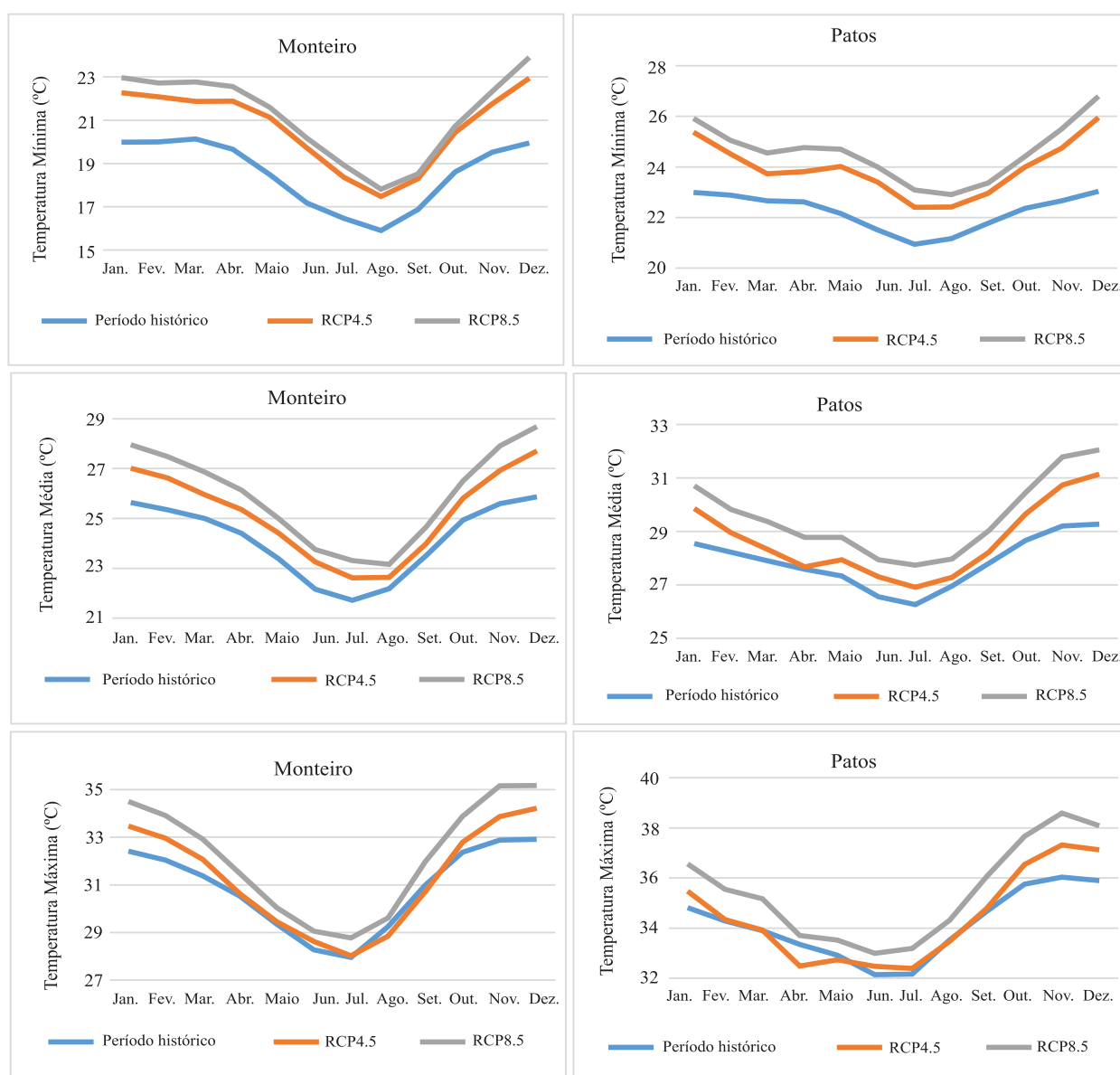


Figura 2. Análise mensal do período histórico de Monteiro (1963–2018) e Patos (1977–2018) e de projeção climática futura (2041–2070) com base no modelo Eta-BESM associado aos cenários RCP4.5 e RCP8.5 para as temperaturas mínima, média e máxima do ar.

Apesar dos resultados semelhantes para temperatura mínima do ar observados no presente artigo e por Althoff et al. (2016), os dados para a máxima são bem distintos. Enquanto Althoff et al. (2016) projetaram aumento da máxima em 6 °C, podendo chegar a 7,5 °C até 2100, no presente artigo a elevação da temperatura máxima do ar é inferior a 2,5 °C para as estações de Patos e Monteiro

nos dois cenários RCP. Além disso, as projeções, inesperadamente, simularam redução da máxima para o mês de abril no RCP4.5 quando comparado ao período histórico com a diferença de 0,82 °C. Esse pequeno aumento das temperaturas projetadas pelo Eta-BESM pode ser em decorrência do que afirmam Capistrano et al. (2020), os quais descrevem que o modelo BESM apresenta resultados mais baixos para temperatura, sobretudo em áreas continentais.

Por fim, nos dois municípios as projeções apontaram que em alguns meses o período histórico e o RCP4.5 não indicaram variabilidade na temperatura máxima, apesar de a análise de tendência apresentar incrementos significativos nesse parâmetro.

Na Figura 3 é possível observar a variabilidade da precipitação para as estações de Monteiro e Patos com base nas projeções realizadas com o modelo Eta-BESM, associado ao RCP4.5 e ao RCP8.5, para o período de 2041–2070, quando comparados com o período histórico de Monteiro (1963–2018) e Patos (1977–2018). É possível observar que as projeções indicaram um possível aumento da precipitação nos cinco primeiros meses do ano e em dezembro em ambos os cenários RCP quando comparados ao período histórico. Destaca-se o fato de os meses de janeiro a abril apresentarem uma elevação considerável das chuvas para os dois municípios. Todavia, entre junho e novembro, as projeções de precipitação são próximas às do período histórico (Figura 3).

Diferentemente dos resultados do presente estudo, Marengo et al. (2012), utilizando o HadCM3, e Marengo & Bernasconi (2015), utilizando o Eta-HadCM3, apontaram a redução da precipitação na região Nordeste. Marengo et al. (2012) indicaram redução de 40% após 2040, e Marengo & Bernasconi (2015), de 22% até o final do século XXI. Além disso, Queiroz et al. (2016) apontaram que no Brasil a geração hidrelétrica poderá ser afetada futuramente pela redução na precipitação, com maiores impactos para a região Norte do País.

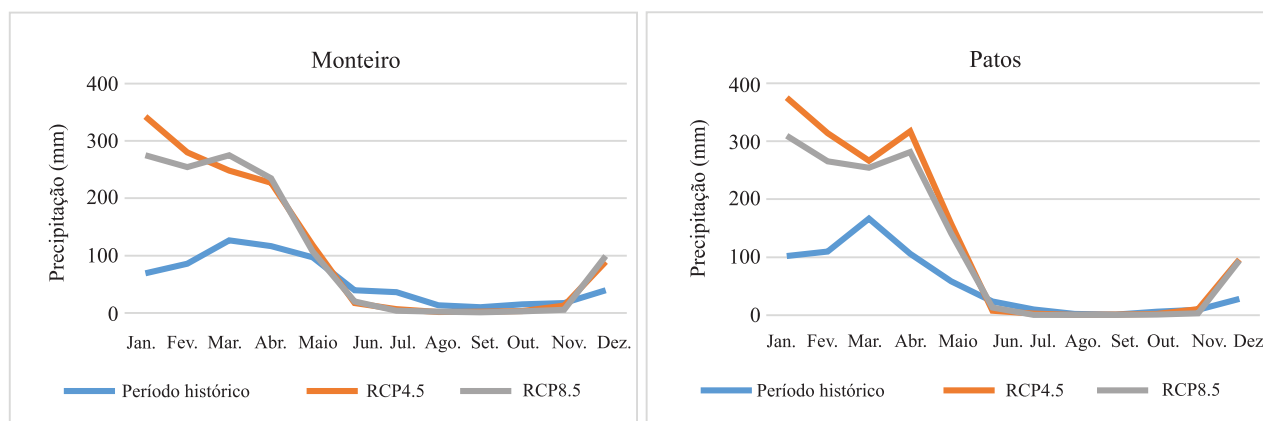


Figura 3. Análise mensal do período histórico de Monteiro (1963–2018) e Patos (1977–2018) e de projeção climática futura (2041–2070) com base no modelo Eta-BESM associado aos cenários RCP4.5 e RCP8.5 para precipitação.

Mais próximas aos resultados do presente estudo, as projeções com base em um conjunto de modelos climáticos para o Nordeste Setentrional, realizadas por Silveira et al. (2013), indicaram o aumento da precipitação para os quatro primeiros meses do ano, chegando a 30% por mês. Por sua vez, ao utilizarem o modelo CanESM_R1IP1, as projeções foram de 10% de queda para o futuro. Percebe-se que no presente artigo, as projeções indicaram também o aumento da precipitação para os primeiros meses do ano em Monteiro e Patos.

Segundo as projeções realizadas no estudo de Marengo & Bernasconi (2015), o aumento da temperatura do ar, a redução das chuvas e o aumento da evaporação ajudarão no cenário de aridez no Nordeste do Brasil. No caso do estudo de Marengo et al. (2017) indicaram que poderá haver

a redução da precipitação; todavia, eventos com chuvas mais intensas poderão ocorrer entre os períodos de seca. Os resultados apresentados neste trabalho demonstram tendências históricas de aumento da temperatura ar nos municípios de Patos e Monteiro, além do aumento das temperaturas do ar e redução das chuvas no período de 2041–2070, e isso poderá gerar um cenário futuro de maior aridez.

Além disso, o aumento das temperaturas pode gerar consequências na produção agrícola e na produção energética. Silva et al. (2019b) indicaram que a elevação das temperaturas, entre 1990 e 2015, causou um efeito negativo na produção de cana-de-açúcar no estado da Paraíba. Por sua vez, Medeiros et al. (2021), por meio do seu estudo, utilizando dados climáticos históricos e dados estimados, demonstraram que o aumento da temperatura média do ar não gerou modificações na capacidade de geração de energia em painéis fotovoltaicos na região do seminário da Paraíba; todavia, o contínuo aumento das temperaturas, associado a outros fatores, pode ocasionar impactos negativos na produção energética. Como observado neste trabalho, em Monteiro e em Patos foram observadas tendências significativas de aumento da temperatura do ar, o que pode impactar na geração de eletricidade por meio da energia fotovoltaica, assim como na produção de cana-de-açúcar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi realizada a análise de tendências e projeções futuras com base em modelo climático regionalizado para parâmetros de temperatura e precipitação para duas estações meteorológicas localizadas nos municípios de Monteiro e Patos, ambas na Paraíba. Em Monteiro, as temperaturas máxima, mínima e média tiveram tendências significativas de aumento na análise anual. Observou-se que os incrementos nas temperaturas mínima e média na análise mensal foram mais significativos estatisticamente em Monteiro. Em Monteiro e Patos, as tendências para precipitação mensal e anual não apresentaram significância estatística.

Na comparação do período histórico com as projeções climáticas futuras (2041–2070) para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, os resultados para as temperaturas máxima, média e mínima apontaram aumento em todos os meses no RCP8.5 e para a maior parte dos meses no RCP4.5. A temperatura mínima foi o parâmetro que mais sofreu variação percentual de aumento dentro do período analisado nos dois cenários RCP. A precipitação projetada foi maior no início do primeiro semestre do ano, e similar entre os meses de junho a novembro, em Monteiro e em Patos.

Dessa forma, observou-se que as estações meteorológicas de Monteiro e Patos possuem tendências históricas de aumento nas temperaturas. Em cenários futuros foi estimado que as temperaturas serão maiores em relação ao período histórico ao longo do ano, ou seja, as temperaturas continuarão aumentando de acordo com as projeções. Não foram observadas tendências nas séries históricas de precipitação, porém, de acordo com o modelo Eta-BESM para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, haverá um aumento expressivo da precipitação no primeiro semestre do ano. O aumento da temperatura do ar pode sinalizar um possível aumento no cenário de aridez nos municípios de Monteiro e Patos. Além de esse aumento impactar na vegetação e no clima, a agricultura e a geração de eletricidade podem ser afetadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio do projeto 306783/2018-5 e das bolsas 142451/2018-5 e 481593/2020-00.

REFERÊNCIAS

- ALTHOFF, T.D.; MENEZES, R.S.C.; CARVALHO, A.L. de; PINTO, A. de S.; SANTIAGO, G.A.C.F.; OMETTO, J.P.H.B.; von RANDOW, C.; SAMPAIO, E.V. de S.B. Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.360, p.367-375, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.001>.
- ARTAXO, P. Mudanças climáticas e o Brasil. **Revista USP**, n.103, p.8-12, 2014. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p8-12>.
- ASSIS, J.M.O. de. **Variabilidade do clima e cenários futuros de mudanças climáticas no trecho submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. 2016. 187p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <<https://attena.ufpe.br/handle/123456789/22481>>. Acesso em: 27 ago. 2019.
- BESM. **Brazilian Earth System Model**. 2019. Disponível em: <<http://www.inpe.br/besm/modelo-besm/>>. Acesso em: 26 jul. 2019.
- BRAZIL. Ministry of Science, Technology and Innovation. **Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change: Executive Summary**. Brasília, 2016.
- CAPISTRANO, V.B.; NOBRE, O.; TEDESCHI, R.; SILVA, J.; BOTTINO, M.; SILVA JUNIOR, M. da; MENEZES NETO, O.L.; FIGUEROA, S.N.; BONATTI, J.P.; KUBOTA, P.Y.; REYES FERNANDEZ, R.P.; GIAROLLA, E.; VIALI, J.; NOBRE, C.A. Overview of climate change in the BESM-OA2.5 climate model. **Geoscientific Model Development**, v.13, p.2277-2296, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/gmd-13-2277-2020>.
- 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.; NOBRE, P.; MARENGO, J. Evaluation of the Eta Simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v.3, p.438-454, 2014a. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35039>.
- 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. Assessment of climate change over South America under RCP4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v.3, p.512-527, 2014b. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043>.
- FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, K.J.; MAstrandrea, M.D.; BILIR, T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A.N.; MACCRACKEN, S.; MAstrandrea, P.R.; WHITE, L.L. (Ed.). **Climate Change 2014: impacts, adaptation and vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área territorial**: [Monteiro]. Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/monteiro.html>>. Acesso em: 9 jul. 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área territorial**: [Patos]. Rio de Janeiro, 2018b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/patos.html>>. Acesso em: 11 jul. 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias**: 2017. Rio de Janeiro, 2017a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/>. Acesso em: 24 jun. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Semiárido Brasileiro 2017**. Rio de Janeiro, 2017b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=o-que-e->>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. 2019. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 13 abr. 2021.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas - Gráficos**. 2010. Disponível em: <<https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- LIMA, R.A.F. de A.; MENEZES, H.E.A.; BRITO, J.I.B. de. Diagnóstico de tendência de mudanças na temperatura do ar no Nordeste Setentrional. **Revista Caatinga**, v.23, p.117-124, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1441>>. Acesso em: 13 ago. 2019.
- LYRA, A.; TAVARES, P.; CHOU, S.C.; SUEIRO, G.; DERECZYNSKI, C.; SONDERMANN, M.; SILVA, A.; MARENGO, J.; GIAROLLA, A. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. **Theoretical Applied Climatology**, v.132, art.683, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2110-0>.
- MARENGO, J.A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v.129, p.103-115, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>.

- MARENGO, J.A.; CHOU, S.C.; KAY, G.; ALVES, L.M.; PESQUERO, J.F.; SOARES, W.R.; SANTOS, D.C.; LYRA, A.A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D.J.; GOMES, J.L.; BUSTAMANTE, J.F.; TAVARES, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v.38, p.1829-1848, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1155-5>.
- MARENGO, J.A.; TORRES, R.R.; ALVES, L.M. Drought in Northeast Brazil: past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v.129, p.1189-1200, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>.
- MEDEIROS, S.E.L.; ABRAHÃO, R.; SILVA, L.P. da; SILVA, W.K. de M. Comparison between observed and estimated data to assess air temperature variability and trends in the Sertão Paraibano mesoregion (Brazil). **Environmental Monitoring and Assessment**, v.191, art.63, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7207-8>.
- MEDEIROS, S.E.L.; NILO, P.F.; SILVA, L.P.; SANTOS, C.A.C.; CARVALHO, M.; ABRAHÃO, R. Influence of climatic variability on the electricity generation potential by renewable sources in the Brazilian semi-arid region. **Journal of Arid Environments**, v.184, art.104331, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104331>.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MOSS, R.H.; EDMONDS, J.A.; HIBBARD, K.A.; MANNING, M.R.; ROSE, S.K.; van VUUREN, D.P.; CARTER, T.R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G.A.; MITCHELL, J.F.B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S.J.; STOUFFER, R.J.; THOMSON, A.M.; WEYANT, J.P.; WILBANKS, T.J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v.463, p.747-756, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature08823>.
- MUKHOPADHYAY, R.; KARISIDDAIAH, S.M.; MUKHOPADHYAY, J. Alternate governance policy. In: MUKHOPADHYAY, R.; KARISIDDAIAH, S.M.; MUKHOPADHYAY, J. **Climate Change: Alternate Governance Policy for South Asia**. Amsterdam: Elsevier, 2018. p.119-148. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812164-1.00006-2>.
- NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. **The First Climate Model**. 2017. Disponível em: <http://celebrating200years.noaa.gov/breakthroughs/climate_model/welcome.html>. Acesso em: 30 jul. 2019.
- QUEIROZ, A.R. de; LIMA, L.M.M.; LIMA, J.W.M.; SILVA, B.C. da; SCIANNI, L.A. Climate change impacts in the energy supply of the Brazilian hydro-dominant power system. **Renewable Energy**, v.99, p.379-389, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.022>.
- SALMI, T.; MÄÄTTÄ, A.; ANTTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T.; AMNELL, T. **Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates - the Excel template application MAKESENS**. Helsinki: Ilmatieteen laitos, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/259356944_Detecting_Trends_of_Annual_Values_of_Atmospheric_Pollutants_by_the_Mann-Kendall_Test_and_Sen's_Solpe_Estimates_the_Excel_Template_Application_MAKESENS>. Acesso em: 7 out. 2021.
- SILVA, L.P. da; MEDEIROS, S.E.L.; SILVA, W.K. de M.; NILO, P.F.; ABRAHÃO, R. Influência climática na eficiência de painéis fotovoltaicos de telureto de cádmio em João Pessoa. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 17.; FÓRUM LATINO-AMERICANO DE ENGENHARIA E SUSTENTABILIDADE, 5.; 2019, João Pessoa. **Anais**. João Pessoa: UFPB, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.29327/15304.17-155615>.
- SILVA, L.P. da; MEDEIROS, S.E.L.; SILVA, W.K. de M.; PEIXOTO, I.M.B.M.; ABRAHÃO, R. Índice de calor nas mesorregiões do Sertão Paraibano e da Mata Paraibana. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 2., 2017, Campina Grande. **Saberes do Semiárido: desafios às pesquisas científicas: anais**. Campina Grande: Realize, 2017.
- SILVA, W.K. de M.; FREITAS, G.P. de; COELHO JUNIOR, L.M.; PINTO, P.A.L. de. A.; ABRAHÃO, R. Effects of climate change on sugarcane production in the state of Paraíba (Brazil): a panel data approach (1990-2015). **Climatic Change**, v.154, p.195-209, 2019b. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02424-7>.
- SILVEIRA, C. da S.; SOUZA FILHO, F. de A. de; COSTA, A.A.; CABRAL, S.L. Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região Nordeste do Brasil, Amazônia e Bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, p.317-330, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000300008>.
-