

ANÁLISE DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS E PROJEÇÕES FUTURAS PARA O MUNICÍPIO DE PATOS-PB

Paula Rose de Araújo Santos ¹
Louise Pereira da Silva ²
Giusep Magno da Silva Ribeiro ³
Susane Eterna Leite Medeiros ⁴
Raphael Abrahão ⁵

Resumo

As alterações nos padrões climáticos ameaçam a produção energética, o meio ambiente e a sociedade em geral. Com a análise das tendências climáticas é possível perceber o comportamento do clima passado e com a utilização dos modelos climáticos globais (GCM's) e regionais (RCM's) simular as possíveis condições climáticas futuras de uma região. O presente estudo analisou as tendências climáticas e as comparou com os cenários futuros RCP4.5 e RCP8.5 para o município de Patos, no estado da Paraíba, levando em consideração os parâmetros de temperaturas máxima, média e mínima e precipitação. A análise das tendências foi realizada utilizando o teste de Mann-Kendall e a tendência linear foi avaliada pelo método de Sen. A simulação do clima futuro foi gerada pelo modelo climático global BESM, associado ao modelo climático regional Eta. Os resultados indicaram que para a precipitação não foi identificada uma mudança significativa na tendência climática, todavia, aumentos para temperatura máxima e média foram observados. Com relação a modelagem climática, verificou-se uma elevação considerável na precipitação e nas temperaturas ao se comparar o cenário passado com o futuro para a maior parte dos meses do ano. Sendo assim, observou-se que o comportamento climático futuro no município de Patos poderá sofrer alterações consideráveis diante das mudanças climáticas.

Palavras-Chave: Modelos climáticos, Mudanças climáticas, Cenário RCP4.5, Cenário RCP8.5.

INTRODUÇÃO

Os dados apresentados pelo relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) confirmaram ao mundo que as emissões de gases intensificadores do efeito estufa causam o aquecimento global e que as atividades antrópicas são a principal causa do aumento da temperatura terrestre (IPCC, 2014). Tendo em vista os resultados apresentados no relatório do IPCC durante a Cúpula de Desenvolvimento Sustentável, em 2015, discutido na Assembleia Geral da ONU, foram fixados na Agenda de Desenvolvimento Sustentável dezessete objetivos que visam transformar o mundo até 2030 (ONUBR, 2019).

¹ Mestranda do Curso de Energias renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, paularose@cear.ufpb.br;

² Mestranda do Curso de Energias renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, louise.silva@cear.ufpb.br;

³ Graduando pelo Curso de Engenharia de energias renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, giusep.ribeiro@cear.ufpb.br;

⁴ Doutoranda do Curso de Física pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB, susane.eterna@cear.ufpb.br.

⁵ Professor orientador: titulação, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, raphael@cear.ufpb.br.

A variação nos padrões climáticos ocasionada pelas mudanças climáticas ameaçam não apenas a geração de energia, mas também, fatores como transporte e infraestrutura (SCHAEFFER *et al.*, 2012), desta forma, há uma crescente preocupação em levar em consideração os aspectos climáticos para um planejamento energético futuro eficaz (QUEIROZ *et al.*, 2016).

À medida que os dados históricos caracterizam os eventos climáticos ao longo do tempo (SILVA *et al.*, 2019) a utilização dos modelos climáticos globais (GCM's) e regionais (RCM's) permitem enxergar o panorama futuro das possíveis condições climáticas de uma área (PAŠIČKO; BRANKOVIĆ; ŠIMIĆ, 2012).

Através das tendências climáticas é possível perceber o comportamento climático no decorrer do tempo em uma região (SILVA *et al.*, 2019b), por sua vez, os modelos climáticos globais e modelos climáticos regionais utilizam a projeção climática por meio de parâmetros, como irradiação solar, velocidade dos ventos, temperatura, precipitação, entre outros, para gerar dados que caracterizem possíveis condições climáticas futuras (PAŠIČKO; BRANKOVIĆ; ŠIMIĆ, 2012; QUEIROZ *et al.*, 2016).

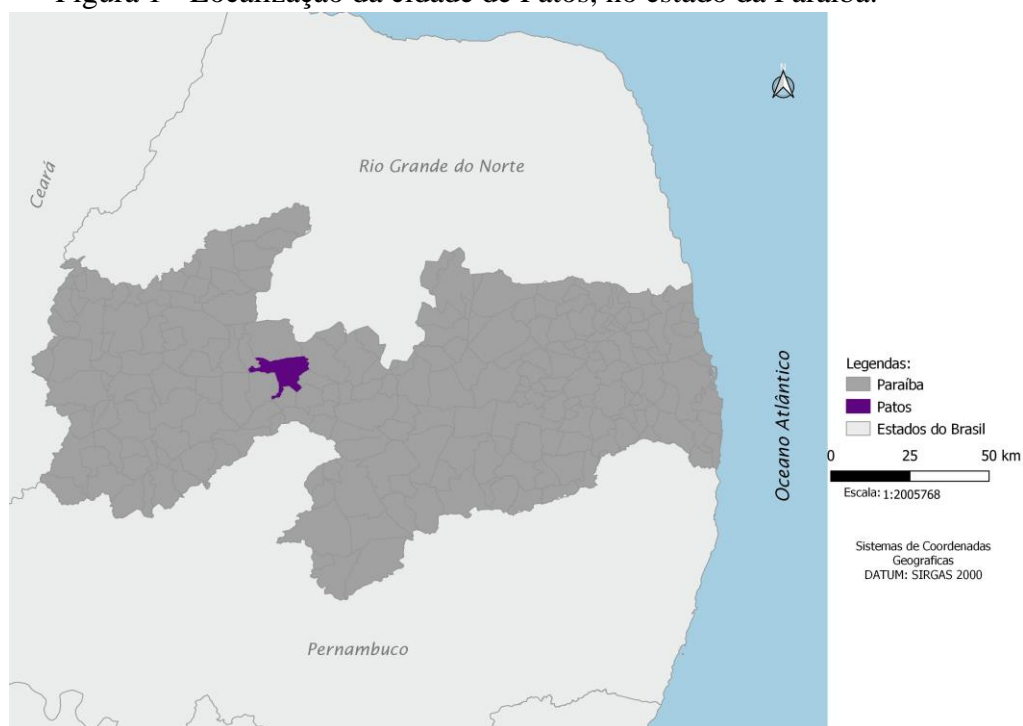
O objetivo deste trabalho foi entender as tendências climáticas ocorridas na cidade de Patos, no estado da Paraíba, e aplicar modelos climáticos para a projeção dos cenários futuros RCP4.5 e RCP8.5 para os parâmetros de temperaturas máxima, média e mínima e precipitação.

METODOLOGIA

Área de estudo

A cidade de Patos está localizada na região Nordeste do Brasil, mais especificamente na região geográfica intermediária de Patos (IBGE, 2017a). A cidade apresenta uma área de 473,056 km², população estimada, em 2018, de 106.984 pessoas e o PIB de R\$14.482,69 (IBGE, 2018b) (Fig.1).

Figura 1 - Localização da cidade de Patos, no estado da Paraíba.



Fonte: Adaptado do IBGE (2018)

Coleta e análise dos dados históricos

Os dados históricos utilizados foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e referem-se à estação convencional (n° 82791) da cidade de Patos (Paraíba). As informações coletadas são mensais, compreendendo o período entre janeiro de 1977 e dezembro de 2018.

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

O teste de Mann-Kendall foi utilizado para a realização da análise das tendências, por ser um método que verifica se os dados estão se comportando de forma crescente ou decrescente, além de admitir o estudo de funções monótonas. A partir do método de Sen foi avaliada a tendência linear. Este método é utilizado para determinar a inclinação da tendência e sua variação ao longo do tempo (SALMI, 2002).

Coleta e análise dos dados para modelos climáticos

Os dados de projeção foram gerados a partir do modelo climático global BESM (Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre) associado ao modelo climático regional Eta, obtido

pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE) disponíveis na plataforma Projeta (CHOU *et al.*, 2014a; CHOU *et al.*, 2014b; BRAZIL MCTI, 2016; LYRA *et al.*, 2017). O BESM é um modelo climático brasileiro, o qual se difere de outros pelo fato de levar em consideração características nacionais para geração de dados com a perspectiva nacional, dando importância às queimadas, a dinâmica da vegetação, a influência dos biomas no clima e outros aspectos (BESM, 2019). Para representar as condições climáticas futuras foram considerados dois cenários do Representative Concentration Pathway (RCP) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Os RCP's caracterizam diferentes cenários climáticos futuros, o RCP4.5, o mais otimista, onde haveria a diminuição da emissão dos gases do efeito estufa e RCP8.5, o mais pessimista, com o crescimento das emissões de gases do efeito estufa (HDIDOUAN; STAFFELL, 2017; MÜLLER *et al.*, 2019).

Os dados de projeção desse trabalho têm resolução de 20 km e período temporal futuro de 30 anos (2041-2070) para o RCP4.5 e o RCP8.5. Foram analisadas as projeções para precipitação total e para as temperaturas máxima, média e mínima do ar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendências climáticas

Levando em consideração as tendências anuais, apenas a temperatura máxima e média apresentaram aumentos significativos ($p < 0,001$ e $p < 0,05$, respectivamente) (Tab. 1). A temperatura máxima no período mensal teve tendência crescente entre março e novembro. Apenas o mês de julho ($p < 0,05$) apresentou aumentos significativos na temperatura mínima, com tendência crescente de $0,07$ °C/ano. Para a temperatura média os meses de março, maio, julho e agosto apresentaram tendências significativas de aumento, variando entre $0,07$ °C/ano e $0,14$ °C/ano. Os dados de precipitação mensal e anual não indicaram significância estatística para tendências.

Tabela 1 – Tendências detectadas nos dados de temperatura máxima, mínima, média e precipitação através 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
Mai	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

Fonte: Autores

Projeções climáticas futuras

Foram apresentados os resultados para o período histórico (1977-2018) comparados ao período climático futuro (2041-2070) para dois cenários RCP's, o RCP4.5 (mais otimista) e o RCP8.5 (mais pessimista) para o modelo Eta-Besm (Fig. 2). Observa-se o aumento significativo na precipitação para os dois cenários RCP's quando comparados ao período histórico para os cinco primeiros meses do ano e para dezembro. Em seguida, um decréscimo acentuado foi verificado entre os meses de junho a novembro, onde os resultados para os dados históricos e para os dois cenários RCP's não apresentaram uma variabilidade considerável.

Nota-se que para temperatura mínima os cenários RCP4.5 e o RCP8.5 são maiores do que o período histórico para todos meses. Para os meses de janeiro, novembro e dezembro essa diferença chega a ser superior a 2°C no RCP8.5. A temperatura média também é maior para ambos os cenários RCP's, e assim como para a temperatura mínima os valores são mais elevados no RCP8.5, destacando-se mais uma vez os meses de janeiro, novembro e dezembro com aumento de temperatura média acima dos 2°C. Ressalta-se o fato que para o mês de abril o resultado histórico e do cenário RCP4.5 não apresentaram uma diferença significativa. Com relação à temperatura máxima, observou-se que o resultado no cenário RCP8.5 é superior em todos os meses. O cenário RCP4.5 e o período histórico não apresentam variação para os

meses de fevereiro, março, maio, agosto e setembro, todavia, chama atenção o fato de os meses de abril e maio o período histórico apresentarem temperatura máxima superior ao do RCP4.5.

Figura 2 – Análise mensal do período histórico (1977-2018) relacionado com o período climático futuro (2041-2070) para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 para precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima e temperatura média para Patos-PB.



Fonte: Autores

Através da análise de tendências, outros autores encontraram resultados similares ao presente. A tendência climática para temperatura na região Nordeste Setentrional (Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco) foi analisada por Lima, Menezes e De Brito (2010) os quais identificaram uma elevação nas temperaturas mínimas, médias e mínimas absolutas na região estudada. Apesar da temperatura máxima não ter apresentado mudança significativa em toda área avaliada, na parte central observou-se uma redução da temperatura máxima.

Nos últimos anos as mudanças climáticas causaram o aumento das chuvas no Sul e Sudeste do país e uma redução no Nordeste, com isso, gerando um período mais intenso de seca (ARTAXO, 2014). O aumento da temperatura para a Mata Paraibana e o Sertão paraibano foram encontrados por Silva *et al.* (2017a), além disso, os autores identificaram que a temperatura média para Patos apresentou uma tendência significativa de aumento para alguns meses do ano.

As projeções para Daliang, no nordeste da China indicaram o aumento da temperatura e a redução da precipitação futuras (MENG, XU e HUANG, 2019). Para a Califórnia, nos Estados Unidos, Tarroja *et al.* (2018) identificaram uma elevação da precipitação nas regiões setentrionais do estado, todavia, um declínio nas áreas desérticas e na região Sul.

No Brasil, Queiroz *et al.* (2016) apontaram que a geração de energia poderá ser afetada futuramente pela redução na precipitação, sendo um cenário mais significativo na região Norte. Contudo, algumas regiões podem apresentar aumentos nos valores de precipitação, conforme verificado para a área estudada no presente trabalho. De Jong *et al.* (2019) indicaram que a temperatura aumentará e a precipitação sofrerá uma redução na maior parte do país no período futuro em todo o Brasil. No caso de Patos, as projeções indicaram aumentos na precipitação em alguns meses do ano e na maior parte dos meses elevação nas temperaturas, com algumas exceções para temperatura máxima.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo apresentou tendências climáticas para precipitação e temperaturas para a cidade de Patos-PB, nos intervalos mensal e anual. Os resultados das tendências para precipitação mensal e anual não apresentaram significância estatística. Por sua vez, observou-se uma tendência crescente para temperatura máxima. Para a temperatura mínima, aumentos significativos foram observados apenas para o mês de julho. E por fim, a temperatura média apresentou elevação significativa anualmente e para os meses de março, maio, julho e agosto.

Ao se comparar a relação histórica (1977-2018) com o período climático futuro (2041-2070) para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 observou-se uma elevação significativa da precipitação de janeiro a maio e dezembro. Para as temperaturas máxima, média e mínima, os resultados apontaram para aumento em todos os meses no RCP8.5 e para a maior parte dos meses no RCP4.5.

Os resultados sugerem que haverá o aumento da precipitação e das temperaturas no período de 2041-2070 para a maior parte dos meses do ano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio por meio dos projetos 401687/2016-3 e 306783/2018-5.

REFERÊNCIAS

ARTAXO, P. **Mudanças climáticas e o Brasil**. Revista USP, n. 103, p. 8-12, 2014.

BESM - Brazilian Earth System Model. Disponível em: <http://www.inpe.br/besm/modelo-besm/>. Acesso em: 26 jul.2019.

BRAZIL MCTI. Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change – Executive Summary. [s.l.: s.n.]. Brasília, 2016.

CHOU, S.C. et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, 3, 438-454, 2014a. Disponível em: http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=52887#.VakHg_IViko. Acesso em: 13/08/2019.

CHOU, S.C. et al. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, 3, 512-527, 2014b. Disponível em: http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=52877#.VakIh_IVikp. Acesso em: 13/08/2019.

DE JONG, P. et al. Estimating the impact of climate change on wind and solar energy in Brazil using a South American regional climate model. **Renewable Energy**, v. 141, p. 390–401, 2019.

HDIDOUAN, D.; STAFFELL, I. The impact of climate change on the levelised cost of wind energy. **Renewable Energy**, v. 101, n. June, p. 575–592, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias 2017a. Rio de Janeiro, IBGE, 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/ Acesso em: 29/07/2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área territorial brasileira. Rio de Janeiro, IBGE, 2018b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 29/07/2019

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press; 2014.

LIMA, R. A. F. DE A.; MENEZES, H. E. A.; DE BRITO, J. I. B. Tendency diagnostic of change of the air temperature on the northern northeast. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 2, p. 117–124, 2010.

LYRA, A. et al. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution Theor Appl Climatol. 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-017-2067-z>. Acesso em: 13/08/2019.

MENG, N.; XU, Y.; HUANG, G. H. A stochastic multi-objective optimization model for renewable energy structure adjustment management – A case study for the city of Dalian, China. **Ecological Indicators**, v. 97, n. August 2018, p. 476–485, 2019.

MÜLLER, J. et al. CMIP-5 models project photovoltaics are a no-regrets investment in Europe irrespective of climate change. **Energy**, v. 171, p. 135–148, 2019.

ONUBR – Nações Unidas do Brasil, 2018. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 26 jul.2019.

PAŠIČKO, R.; BRANKOVIĆ, Č.; ŠIMIĆ, Z. Assessment of climate change impacts on energy generation from renewable sources in Croatia. **Renewable Energy**, v. 46, p. 224–231, 2012.

QUEIROZ, A. R. DE et al. Climate change impacts in the energy supply of the Brazilian hydro-dominant power system. **Renewable Energy**, v. 99, p. 379–389, 2016.

SALMI, T. **Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the Excel template application MAKESENS**. Finlândia, Ilmatieteen laitos, 2002.

SCHAEFFER, R. et al. Energy sector vulnerability to climate change: A review. *Energy*, v. 38, n. 1, p. 1–12, 2012.

SILVA, L. P. et al. Índice de calor nas mesorregiões do Sertão Paraibano e da Mata Paraibana. In: II CONIDIS, 2017, Campina Grande. Anais do II CONIDIS, 2017a.

SILVA, L. P. et al. Influência climática na eficiência de painéis fotovoltaicos de telureto de cádmio em João Pessoa. In: XVII ENEAMB, 2019, João Pessoa. Anais do XVII ENEAMB, 2019b.

TARROJA, B. et al. Assessing future water resource constraints on thermally based renewable energy resources in California. *Applied Energy*, v. 226, n. February, p. 49–60, 2018.