

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO PARA OS QUATROS CENÁRIOS DE *REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAY* DO IPCC EM JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ.

Maria de Jesus Delmiro Rocaha¹; Jefferson Hannover Faustino Magalhães¹; Iran Eduardo Lima Neto² & Cleiton da Silva Silveira²

RESUMO – As variabilidades climáticas exercem forte influência sobre diversas atividades, como a agricultura e a geração de energia. Diante disso, para estimar as alterações no clima emprega-se o uso de modelos climáticos globais que, por meio de cenários de emissões de gases do efeito estufa, estimam as mudanças climáticas que possam ocorrer no futuro. Este trabalho, portanto, visou a analisar as tendências climáticas de índices de precipitação e de temperatura no município de Juazeiro do Norte, Estado do Ceará, utilizando-se, para isso, dados obtidos a partir do Coupled Model Intercomparison Project – 6th phase (CMIP6), avaliando-se desde comportamentos históricos, a tendências desses índices para diferentes cenários futuros propostos pelo IPCC. Concluiu-se que a precipitação total anual não apresentou uma tendência expressiva de mudança bem definida. Observou-se, entretanto, que a precipitação máxima anual apresenta possibilidade de chuvas intensas nunca ocorridas anteriormente durante o período histórico. Ressalta-se, ademais, que os cenários mais extremos na forçante radiativa, RCP 6.0 e RCP 8.5, não foram os que apresentaram as condições mais anômalas na precipitação, sendo para isto os cenários RCP 2.6 e RCP 4.5.

Palavras-Chave: Mudanças climáticas. Precipitação. IPCC.

ABSTRACT– Climatic variability has a strong influence on various activities, such as agriculture and energy generation. Therefore, in order to estimate climate changes, the use of global climate models is used, which, through scenarios of greenhouse gas emissions, estimate the climate changes that may occur in the future. This work, hence, aimed to analyze the climatic trends of precipitation and temperature indices in the city of Juazeiro do Norte, State of Ceará, using, for this, data obtained from the Coupled Model Intercomparison Project - 6th phase (CMIP6), evaluating from historical behavior, the trends of these indexes for different future scenarios proposed by the IPCC. It was concluded that the total annual precipitation did not show an expressive trend of well defined change. However, it was observed that the maximum annual precipitation presents the possibility of intense rains that never occurred before during the historical period. In addition, it should be noted that the most extreme scenarios in the radiative forcing, RCP 6.0 and RCP 8.5, were not the ones that presented the most anomalous conditions in precipitation, being for this the scenarios RCP 2.6 and RCP 4.5.

Keywords: Climate change. Temperature. Precipitation.

1) Mestranda, Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Av. Mister Hull, bloco 713, Pici, (85) 33669776, mariadelmirorocha@gmail.com

2) Professor Adjunto. Afiliação: Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Av. Mister Hull, bloco 713, Pici, (85) 33669776, cleitonsilveira@deha.ufc.br

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas despontam como potenciais fatores de impacto nos valores e na variabilidade de eventos de precipitação, trazendo, portanto, implicações para o ciclo hidrológico e para os recursos hídricos (Silva; Colombo, 2019). Em regiões como o Nordeste do Brasil, principalmente no semiárido, a precipitação é uma variável determinante das condições do clima local, bem como a sua variabilidade e mudança em longo prazo (Santos *et al.*, 2009; Silva; Montenegro; Souza, 2017).

Para a análise de mudanças climáticas, muitos estudos, consideram como índice de avaliação de alterações as variações de precipitação (Santos *et al.* 2009). Segundo Bitar (2004), as principais ameaças naturais relacionadas ao clima no Brasil estão associadas a processos e fenômenos de movimentos de massa, erosão linear, enchentes e inundações que têm crescido muito em anos recentes. Para as regiões áridas e semiáridas, as secas também compõem esses fenômenos. Os impactos diretos das mudanças climáticas na temperatura apresentam tendência de crescimento bastante definida e esperada (IPCC, 2013). Entretanto, os impactos esperados na precipitação podem apresentar-se com grande variabilidade para diferentes regiões analisadas.

Assim, este trabalho objetivou analisar as séries de precipitação total e máxima anual para o município de Juazeiro do Norte no Estado do Ceará, utilizando-se os dados obtidos a partir do Coupled Model Intercomparison Project – 6th phase (CMIP6) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, e as características de variabilidade interanual e decadal para o comportamento histórico e para os cenários futuros propostos para o RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5.

METODOLOGIA

Área de abrangência dos estudos e aquisição dos dados

Este estudo abrange o município de Juazeiro do Norte, Estado do Ceará. O referido município apresentou crescimento populacional e econômico substancial nos últimos trinta anos que ocasionaram, consequentemente, grandes mudanças em seu entorno com ampliação das áreas das zonas urbanas e transformaram na terceira maior cidade do estado bem como em um polo de desenvolvimento regional. O clima na região é classificado como BSwh', clima semiárido com chuvas máximas de outono. A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo no Estado do Ceará.

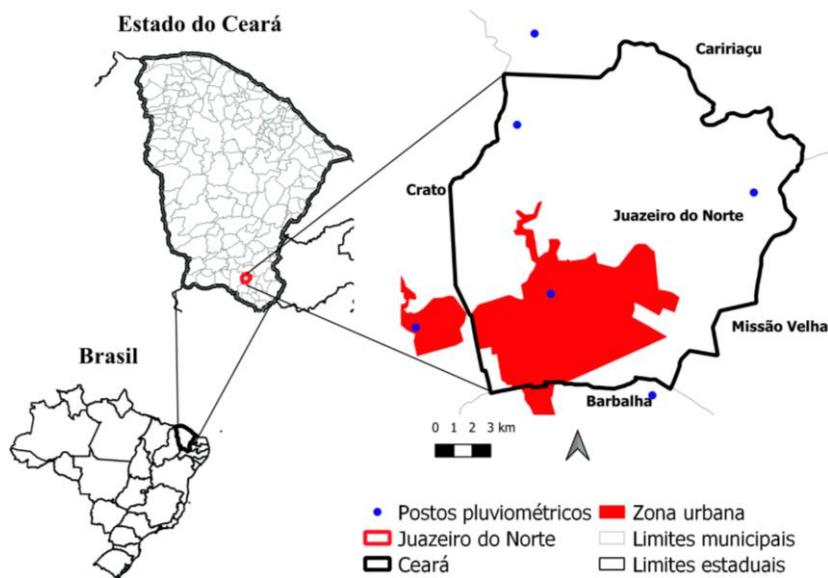


Figura 1 – Localização da área de estudo e da estação climatológica dos dados utilizados

Aquisição dos dados e avaliação das mudanças e impactos

Para analisar os potenciais impactos sofridos na precipitação advindos das mudanças climáticas foram utilizados os dados de precipitação disponibilizados pelo IPCC, via CMIP6, do modelo CESM2, para os cenários histórico e para cenários futuros. Os dados configuram-se entre dois períodos de tempo. O cenário histórico abrange o período compreendido entre 1850 e 2014. Já os cenários futuros compreendem o período de 2015 a 2100. Foram utilizados os dados de cenários futuros para os quatro níveis estimados nos RCPs, *Representative Concentration Pathway*, combinados aos cenários SSP, *Shared Socioeconomic Pathways*. Utilizaram-se os dados das combinações de cenários SSP1 2.6, SSP2 4.5, SSP3 7.0 e SSP5 8.5. Ressalta-se, porém, que os dados dispostos nos arquivos disponibilizados pelo IPCC encontram-se espacialmente distribuídos. Assim, para se analisar apenas a região de interesse, é necessário extraír os dados na coordenada desejada. Para este trabalho extraiu-se os dados nas coordenadas (-7; -40), latitude e longitude respectivamente nos dados do IPCC, mais próximas da área de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação dos dados obtidos do IPCC

Uma vez que os dados obtidos do IPCC foram tomados para as coordenadas mais próximas, realizou-se uma avaliação bastante simplificada com vistas a mensurar a qualidade dos dados históricos na coordenada aproximada para representar a área estudada. Utilizou-se para comparação a média das variáveis analisadas nas Normais Climatológicas (NC) para a estação 82784, em

Barbalha, com a média do período histórico estimada pelo IPCC. A estação de Barbalha foi escolhida por ser a região muito mais próxima da área de estudo. Observou-se que para a precipitação as médias obtidas apresentam-se em proximidade satisfatória entre os dados históricos do IPCC, 1142,4 mm/ano, e a média das normais climatológicas, 1059,9 mm/ano. A variável precipitação apresentou uma diferença percentual aproximada de 7,2%, considerada significativamente baixa e aceitável.

Avaliação da precipitação histórica

A distribuição da precipitação total e máxima anual para o período histórico de 1850-2014 disponibilizado pelo IPCC para a cidade de Juazeiro do Norte, Ceará, é apresentada na Figura 2. Observa-se a elevada variabilidade interanual nesta série histórica, característica esta marcante da área em estudo por localizar-se no semiárido nordestino (Silva *et al.*, 2011; Medeiros *et al.*, 2018). A precipitação total anual variou de um mínimo 541,3 mm/ano ao máximo de 1727,8 mm/ano enquanto a precipitação máxima variou de 91,2 mm/mês a 561 mm/mês. A precipitação máxima anual, segundo análise qualitativa da Figura 1, apresenta maior variabilidade interanual. A análise das características da precipitação, máximas e totais anuais, bem como o desenvolvimento de equações para análise da intensidade das chuvas, já foi amplamente realizada para o município de Juazeiro do Norte (Fechine *et al.*, 2014; Sena *et al.*, 2018; Barbosa *et al.*, 2019).

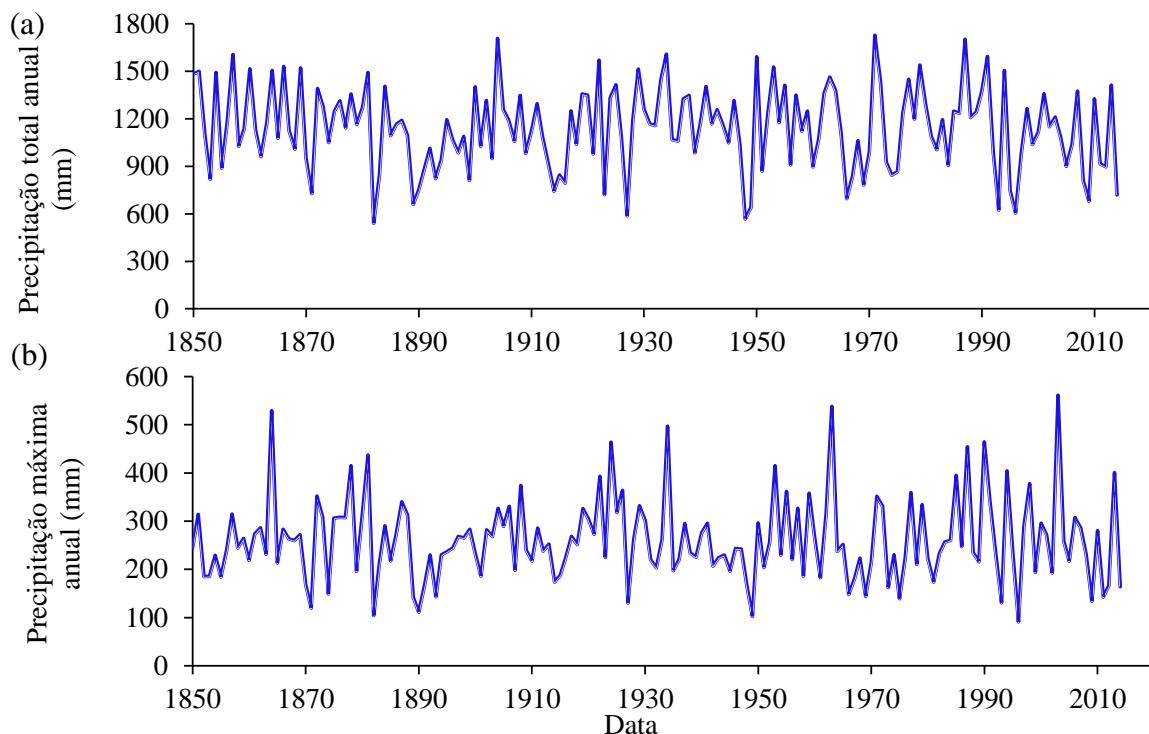


Figura 2 – Precipitação para o período histórico do IPCC (a) acumulado anual (b) acumulado mensal máximo anual

Impactos na Precipitação prevista

Apresenta-se na Figura 3 as precipitações totais e máximas anuais previstas para os quatro tipos de RCPs compreendendo o período de 2015-2100. Observa-se que todos os cenários mantêm característica de elevada variabilidade interanual e que há uma elevada singularidade em cada série estimada. Os dados de precipitação total anual não foram inferiores a 546,9 mm/ano nem superiores a 1814,9 mm/ano em nenhum dos cenários, característica essa similar a faixa de precipitação do período histórico, com um mínimo de 541,3 mm/ano e máximo de 1727,8 mm/ano.

Para a precipitação máxima anual observa-se também elevada variabilidade. Os dados de precipitação total máxima não foram inferiores a 89,3 mm/ano nem superiores a 837,4 mm/mês em nenhum dos cenários. Observa-se, a partir da Figura 3, que os cenários RCP 2.6 e RCP 4.5 apresentaram dois picos significativamente superiores aos maiores valores apresentados pelos demais cenários, implicando a ocorrência de precipitações bastante intensas ainda nesta década, para o cenário RCP 2.6, e em meados do século para o cenário RCP 4.5.

Preocupa mais intensamente, porém, dada a localização da região em estudo, a ocorrência de baixos índices pluviométricos e as secas (Angelotti *et al.*, 2011). Partindo dessa perspectiva, entretanto, observou-se que os valores mínimos estimados para a precipitação total anual foram de 648,9 mm/ano, 597,3 mm/ano, 546,4 mm/ano e 562,9 mm/ano, respectivamente para os cenários RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5, todos relativamente próximos ao valor mínimo da série histórica de 541,3 mm/ano.

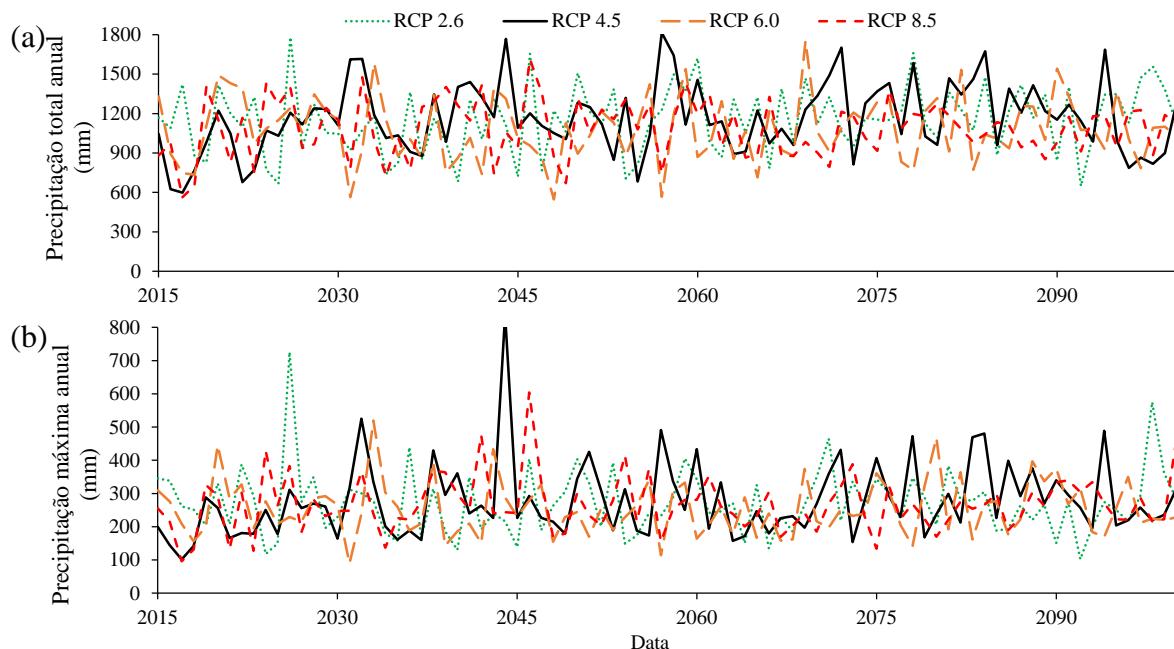


Figura 3 – Precipitação para os cenários previstos do IPCC (a) acumulada anual (b) acumulado mensal máximo anual

A Figura 4 apresenta a série completa dos dados de precipitação integrando o período histórico junto ao período estimado para os quatro RCPs. A visão holística da série permite destacar principalmente os aspectos ressaltados previamente sobre a série de precipitação máxima prevista pelos modelos RCP 2.6 e RCP 4.5 apresentarem dois picos significativamente superiores aos maiores valores apresentados pelos demais cenários e pela série histórica. O cenário RCP 2.6 apresentou um pico de 725,6 mm/mês e o cenário RCP 4.5 837,4 mm/mês, excedendo a máxima precipitação histórica de 561 mm/mês em 29,3% e 49,35 respectivamente. Uma vez que o dado analisado é um valor agregado mensalmente, podem ocorrer duas hipóteses principais. Em um primeiro caso, não tão preocupante, pode haver uma distribuição bastante moderada de toda essa excepcional precipitação mensal nos dias do mês. Em um segundo, pode haver a hipótese da ocorrência de precipitações muito intensas que podem levar a enchentes e danos para a sociedade.

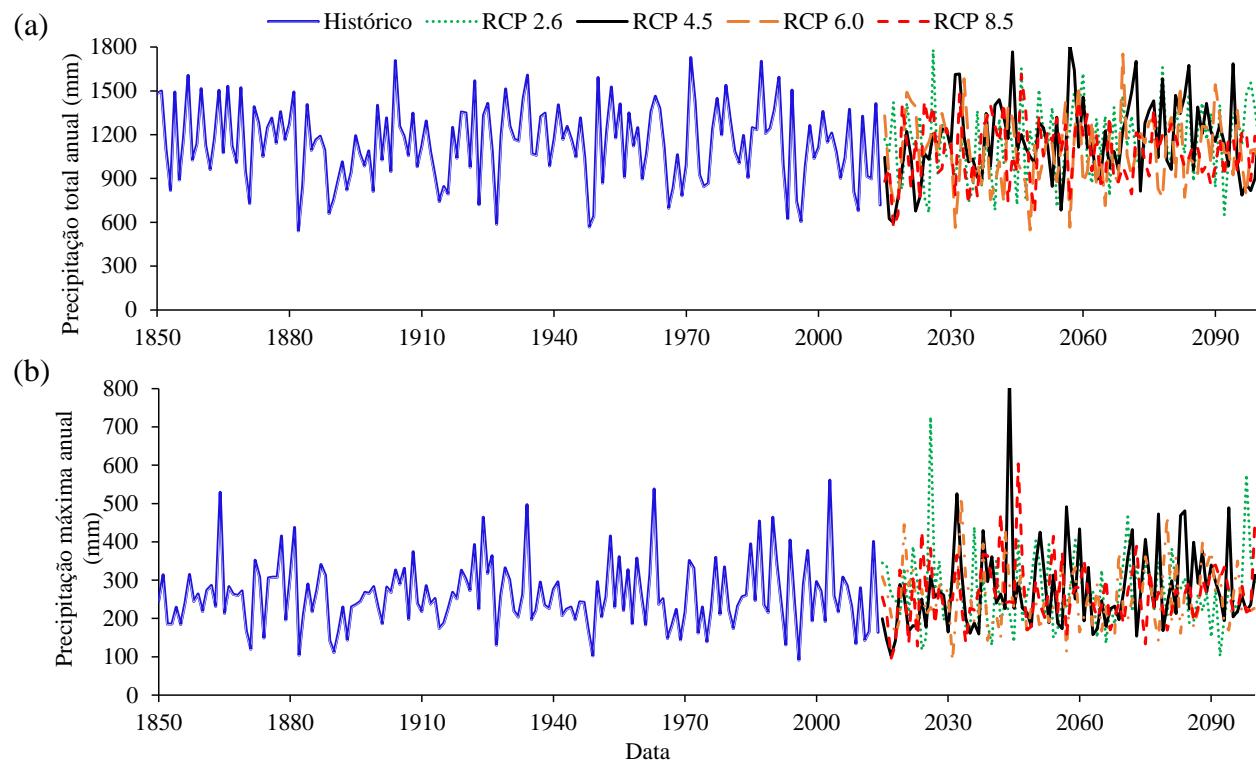


Figura 4 – Série completa de precipitação integrando o período histórico e os cenários previstos do IPCC (a) acumulado anual (b) acumulado mensal máximo

Análise da variabilidade decadal da precipitação nos diferentes cenários

As Figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, a variabilidade decadal da precipitação total anual e máxima anual apenas para os cenários previstos e para a série conjunta integrando período histórico e período estimado, respectivamente. Em uma primeira análise, avaliando a Figura 5 (a) observa-se que a média móvel decadal para a precipitação total anual apresentou comportamento

moderadamente estável para os quatro cenários analisados. Para a precipitação máxima anual, na Figura 5 (b), observa-se uma variabilidade mais pronunciada para todos os cenários. Observa-se que os cenários RCP 2.6 e RCP 4.5 apresentam um comportamento oposto nos primeiros vinte anos estimados, configurando-se para o primeiro cenário um período com maiores precipitações do que para o segundo. Observa-se também uma convergência das médias dos modelos entre os anos de 2065 e 2075. A Figura 6 apresenta a média móvel decadal para todo o período compreendido entre 1850-2100 integrando dados históricos e dados previstos.

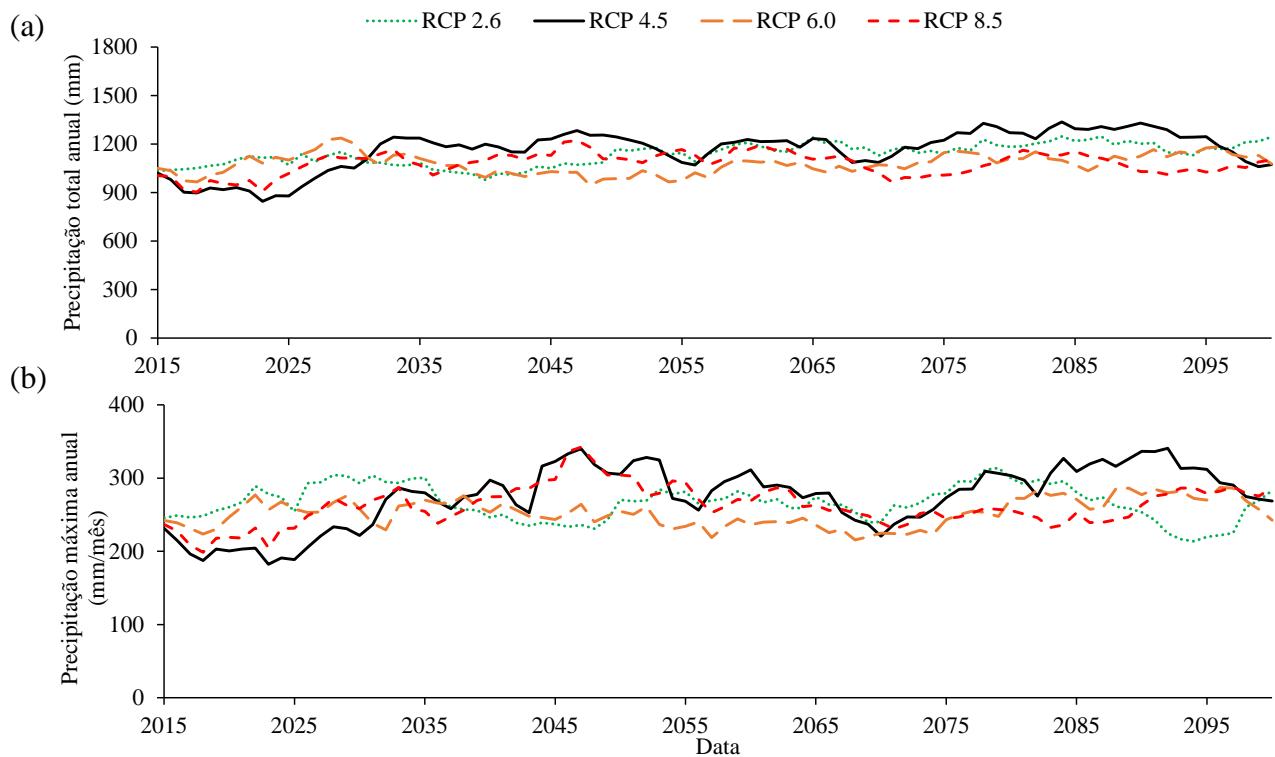


Figura 5 – Variabilidade decadal da precipitação para os cenários previstos do IPCC (a) acumulada anual (b) acumulado mensal máximo

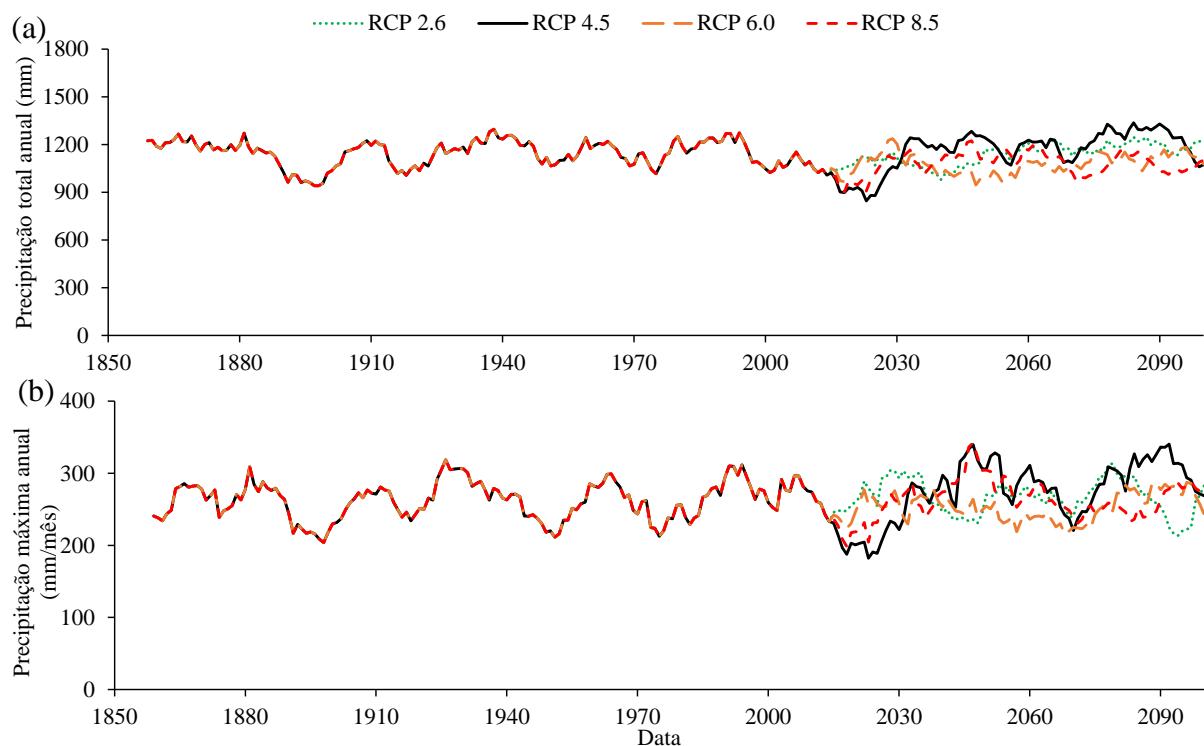


Figura 6 – Variabilidade decadal da precipitação para série completa integrando o período histórico e os cenários previstos do IPCC (a) acumulada anual (b) máxima mensal anual

Avaliação da intensidade das mudanças entre os diferentes cenários

Resume-se, por fim, as séries dos dados de precipitação nos diagramas de caixa apresentados na Figura 7. Observa-se inicialmente na Figura 7 (a) que as características média dos dados encontram-se bastante similar nos modelos previstos em geral, distanciando-se um pouco mais o cenário RCP 8.5. Para a Figura 7 (b), precipitações máximas anual, observa-se novamente um ressalto ao que já foi abordado previamente. Embora as características médias apresentem-se também similar entre os diferentes cenários, há maiores precipitações previstas nos cenários RCP 2.6 e RCP 4.5.

Ressalta-se, ademais, que os cenários mais extremos na forçante radiva, RCP 6.0 e RCP 8.5, diferentemente do que observa-se na variável temperatura média do ar, não foram os que apresentaram as condições mais anômalas na precipitação, sendo para isto os cenários RCP 2.6 e RCP 4.5. Destaca-se também, na análise comparativa apresentada na Figura 7 (a) e (b), mas principalmente na precipitação total anual, que não observa-se uma tendência expressiva ou característica de mudança nas características da precipitação na área em estudo, sendo, entretanto, mais incerta as mudanças que podem ocorrer nas precipitações máximas conforme observa-se na mesma figura e como já discutido.

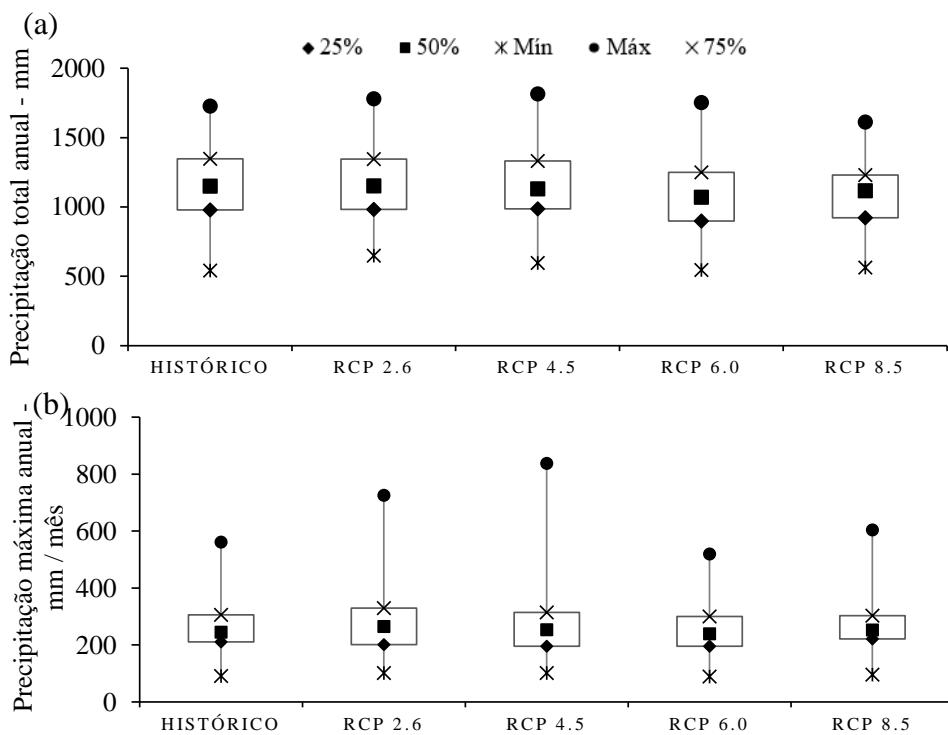


Figura 13 – Boxplot para intercomparação das precipitações (a) total anual e (b) acumulado mensal máximo anual em Juazeiro do Norte em diferentes cenários.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho avaliou para o município de Juazeiro do Norte os impactos sofridos na precipitação advindos das mudanças climáticas por meio do uso de dados dos modelos globais disponibilizados pelo IPCC, CMIP6, para os cenários histórico e para cenários RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5. Para tal foram realizadas análises da variabilidade interanual e decadal da precipitação para as séries temporais integrando o período histórico e o período previsto.

Os resultados mostraram que a precipitação total anual não apresenta uma tendência expressiva de mudança clara, aumentando ou diminuindo, nas características média das séries na área em estudo em nenhum dos cenários previstos. Ressalta-se, ademais, que os cenários mais extremos na forçante radiativa, RCP 6.0 e RCP 8.5, diferentemente do que observa-se na variável temperatura média do ar, não foram os que apresentaram as condições mais anômalas na precipitação, sendo para isto os cenários RCP 2.6 e RCP 4.5.

Quanto à precipitação máxima anual, destaca-se principalmente que o cenário RCP 2.6 apresentou um pico de 725,6 mm/mês e o cenário RCP 4.5 837,4 mm/mês, excedendo a máxima precipitação histórica de 561 mm/mês em 29,3% e 49,35 respectivamente. Entretanto, sendo o dado da precipitação máxima anual analisado um valor agregado mensalmente, este aspecto pode apresentar duas hipóteses principais. Em um primeiro caso, não tão preocupante, pode haver uma

distribuição bastante moderada de toda essa excepcional precipitação mensal ao longo do mês. Em um segundo, pode haver a ocorrência de precipitações muito intensas que podem levar a enchentes e danos para a sociedade.

REFERÊNCIAS

- ANGELOTTI, F.; JÚNIOR, P. I. F; SA, I. E. (2011) *Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação*. Revista Brasileira de Geografia Física. 6, pp.1097-1111.
- Barboza, E. N.; Neto, F. C. B.; Caiana, C. R. A.; Crisostomo1, N. C.; Sampaio, M. R. L.; Beserra, M. N. S. e Lacerda, A. W. J. R. (2019) *Análise de precipitações pluviométricas entre 1974-2009 no município de Juazeiro do Norte, Ceará*. Revista Brasileira de Gestão Ambiental. ISSN:2317-3122.
- BITAR, O.Y. *Meio Ambiente & Geologia*. Ed.Senac, São Paulo, 2004.
- CESM. Community Earth System Model. Disponível em: <http://www.cesm.ucar.edu/models/cesm2/>. Acesso em: 02/04/2020.
- FECHINE, S. V.; RODRIGUES, J. O.; MENDONÇA, L. A. R.; ANDRADE, E. M.; TAVARES, P. R. L. (2014) *Desenvolvimento de equações Intensidade-Duração-Frequência sem dados pluviográficos em regiões semiáridas*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 18(7), pp. 727-734.
- IPCC, 2013: Resumo para Decisores. In: Climate Change 2013: *The Physical Science Basis. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NI, EUA.
- MEDEIROS, F. J.; LIMA, K. C.; CAETANO, D. A.; SILVA, F. J. O. (2018) *Impact of the Internnual Variability of Precipitation on the Reservoirs of the Semiarid Northeast Brazil Region*. Anuário do Instituto de Geociências – Ufrj. 41(3), pp. 731-741.
- SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. de; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. (2009) *Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará*. Revista Brasileira de Meteorologia, 24(1), p. 39-47.
- SENA, J. P. O.; NETO, J. M. M.; LUCENA, D. B. (2018) *Variação da pluviometria e os eventos extremos no município de Juazeiro do Norte – CE*. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Maceió - AL.
- SILVA, K. Z.; COLOMBO, R. (2019) *Mudanças Climáticas: Influência antrópica, impactos e perspectivas*. Journal of Social, Technological and Environmental Science. 8(3), pp. 47-68.
- SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. (2017) *Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco*. Engenharia Sanitária e Ambiental. 22(3), pp. 579-589.
- SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R; AZEVEDO, P. V. de; SOUSA, F. A. S. de; SOUSA, Inajá F. (2011) *Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 15(2), pp. 131-138.