

PROJEÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DE REGIÃO CONTINENTAL BRASILEIRA SIMULADA POR MODELOS DO CMIP6-SSP126/245/370

PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO¹, JOSÉ HUGO SIMPLICIO DE SOUSA², GEORGE DO NASCIMENTO RIBEIRO³, JOSÉ NILTON SILVA⁴, RAIMUNDO CALIXTO MARTINS RODRIGUES⁵

¹Eng. Agrícola Dr., UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

²Mestrando em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, hugosimplicio123@gmail.com

³Eng. Agron. Dr. Prof., UFCG, Campina Grande-PB, george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

⁴Eng. Químico, Dr. Prof., UFCG, Campina Grande-PB, nilton@eq.ufcg.edu.br

⁵Eng. Agron. Dr. Prof., CCA/DEA, UEMA, calixto@cca.uema.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
6 a 9 de outubro de 2025

RESUMO: Este trabalho objetivou avaliar as mudanças de precipitação simuladas por modelos climáticos de alta resolução do CMIP6 para 3 cenários de emissões de parte da região continental brasileira utilizando geotecnologias. Utilizando o QGIS[®] foram elaborados os mapas das variáveis, sendo classificados e gerados os respectivos histogramas. Utilizando o RStudio[®] 2023 e os dados obtidos foram elaborados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk (1965). A precipitação futura demonstrou uma tendência de diminuição de 5mm distribuída para todo o Brasil. A distribuição anual da precipitação apresentou mínima variabilidade entre as forçantes. O teste de normalidade da precipitação apresentou irregularidade na estação do outono para as forçantes ssp245 e ssp370. Os cenários de forçamento não apresentaram resultados significativos não havendo progressão.

PALAVRAS-CHAVE: modelos climáticos globais, cenários futuros, variabilidade climática.

PRECIPITATION PROJECTION FOR THE BRAZILIAN CONTINENTAL REGION SIMULATED BY CMIP6-SSP126/245/370 MODELS

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the precipitation changes simulated by high-resolution CMIP6 climate models for three emission scenarios for part of the Brazilian continental region using geotechnologies. Using QGIS[®], maps of the variables were created, classified and their respective histograms generated. Using RStudio[®] 2023 and the data obtained, the Shapiro-Wilk (1965) normality tests were performed. Future precipitation showed a decreasing trend of 5 mm distributed throughout Brazil. The annual distribution of precipitation showed minimal variability among the forcings. The normality test of precipitation showed irregularity in the autumn season for the forcings ssp245 and ssp370. The forcing scenarios did not present significant results, with no progression.

KEYWORDS: global climate models, future scenarios, climate variability.

INTRODUÇÃO

A precipitação é uma das variáveis mais importantes para a caracterização do clima e para o estudo de impactos hidrológicos face às mudanças climáticas (Monteiro et al., 2021). A América do Sul, como tem grande parte do seu território em área tropical, recebe anualmente volumes elevados de precipitação. Além disso, há grande variabilidade temporal e espacial da precipitação (Reboita et al., 2010; Monteiro et al., 2021; Reboita e Ambrizzi, 2022). De acordo com Allen et al. (2018), o resultado dessa modelagem é um dos principais componentes nos estudos de vulnerabilidade climática e de elaboração de medidas e estratégias de adaptação às mudanças climáticas atuais e porvir, servindo como base para análises de risco e vulnerabilidade, e para, assim, propor políticas de Estado para mitigação.

De acordo com Marengo et al. (2012), nas últimas décadas, tanto os modelos climáticos globais (MCGs), quanto os modelos climáticos regionais (MCRs), têm tido grandes avanços na representação dos componentes do sistema climático, principalmente devido à melhor representação dos processos físicos e fenômenos a eles associados e as suas interações.

Dias e Reboita (2021) afirmam que, uma forma de identificar as melhores projeções futuras para uma região, é obtendo a classificação dos melhores modelos no período histórico. Assim, é possível filtrar apenas os modelos que melhor descrevem o comportamento de determinada região. Experiências em regionalização das projeções de clima dos modelos globais usando modelos regionais (*downscaling* dinâmico), de acordo com Correa et al. (2022), têm sido reportadas na literatura (CHOU et al., 2012, 2014, 2020; IPCC, 2014, 2021; PBMC, 2013; SOLMAN et al., 2013).

Diversas pesquisas foram realizadas com simulados por modelos climáticos do CMIP6 para diversas regiões brasileira. Dias e Reboita (2021), avaliaram a performance de 46 modelos do CMIP6 sobre a bacia do Rio São Francisco e sobre o Brasil tropical, encontrando o EC-Earth3-Veg, MPI-ESM1-2-LR e outros como modelos de melhor performance em simular a precipitação sazonal.

Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar as mudanças de precipitação simuladas por modelos climáticos de alta resolução do CMIP6 para 3 cenários de emissões da região continental brasileira utilizando geotecnologias.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a área do território brasileiro com diversidade de ambientes e clima. Na realização deste trabalho foi utilizado a base digital da WordClim[®] v2.1 de dados entre 2021 a 2040 em *downscaling* classificado por *time-slices* do modelo climático global CMIP6 (EYRING et al., 2016) e EC-Earth3-Veg (EC-EARTH, 2019) de resolução espacial de $0,7^\circ \times 0,7^\circ$, dos cenários SSP1 2.6, SSP2 4.5 e SSP3 7.0 (2,6; 4,5; e 8,5 W/m², respectivamente). A Representative Concentration Pathways (RCP) (Forçante Radiativa) é expressa na unidade W/m² e representa uma mudança líquida no balanço energético do sistema Terra devido alguma perturbação, sendo uma boa medida de alteração da temperatura de superfície terrestre (van VUUREN et al., 2011). A variável climática avaliada foi a precipitação total mensal (mm), adquirida em formato tif com resolução de 30s.

Utilizando o QGIS[®] 3.36 foram importados os arquivos *raster* que contém as subcamadas mensais (12 meses), e utilizando a calculadora *raster* foram gerados os mapas das médias anuais das variáveis. Em seguida foram gerados os mapas sazonais de verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON). Utilizando o RStudio[®] 2023 e os dados obtidos foram elaborados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk (1965).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No comportamento da distribuição sazonal da projeção da precipitação média (Figura 1), esta distribuição reflete a variabilidade espaço-temporal do clima do Brasil, estando de acordo com Correa et al. (2022). Observa-se para o ssp126, o valor de 126,4mm, para o ssp245 de 120,69mm e para o ssp370 o valor de 121,44mm, onde demonstra uma tendência de diminuição de 5mm na precipitação futura distribuída para todo o Brasil. Valor pouco significativo estimado na projeção elaborada pelo CMIP6, como pode-se verificar na distribuição apresentada na Figura 2.

Figura 1. Distribuição sazonal da precipitação média (mm) do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

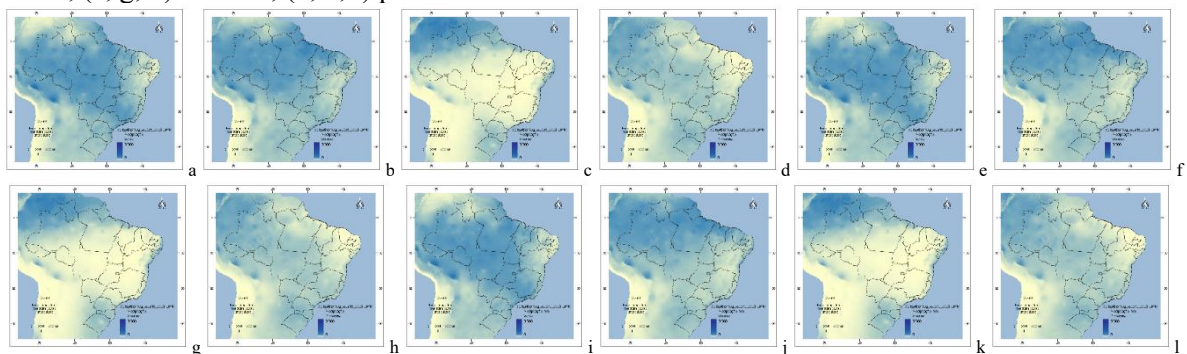
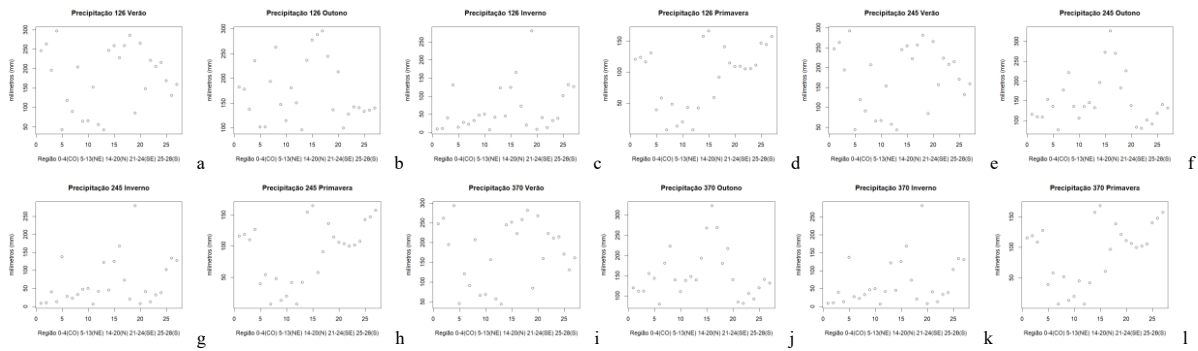
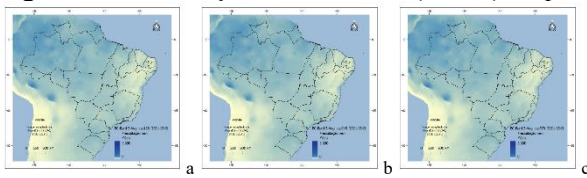


Figura 2. Distribuição da precipitação média (mm) sazonal do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.



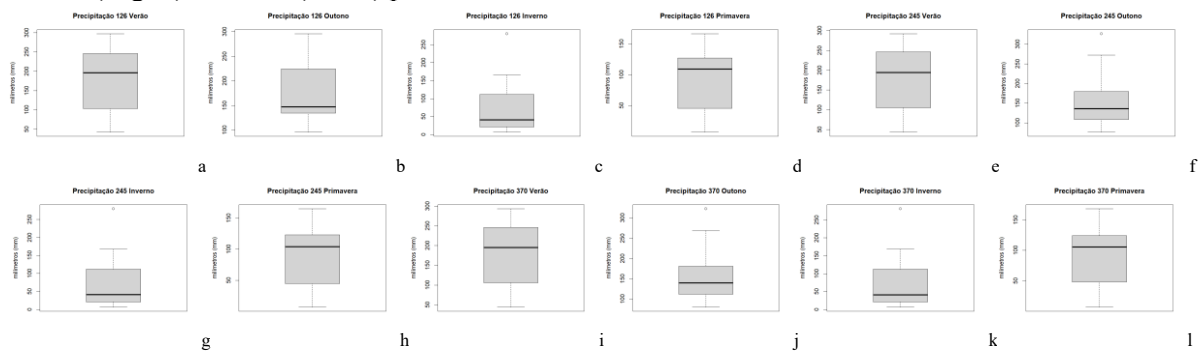
Na Figura 3, observa-se a distribuição anual da precipitação para o Brasil, onde verifica-se sua mínima variabilidade entre o ssp126/245/370. Destaca-se que, o conjunto CMIP6 consegue simular o ciclo anual das variáveis climáticas para toda a região de estudo, porém, no geral, a variação desta reflete a variabilidade do clima do Brasil em suas diversas regiões. Resultado similar observado por Correa et al. (2022).

Figura 3. Distribuição anual média (a, b, c) da precipitação (mm) do ssp126/ssp245/ssp370.



Pela Figura 4 pode-se verificar o comportamento das variáveis em que apresentam mínima variabilidade entre as forçantes ssp126, ssp245 e a ssp370.

Figura 4. Boxplot da precipitação média (mm) sazonal do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.



Nos testes de normalidade, tendência e aderência (Tabela 1) pode-se observar que o teste de Shapiro-Wilk evidencia que os dados testados não são normalmente distribuídos, ou seja, é uma distribuição diferente da normal, isto devido a área de estudo ser continental e com diversidade na distribuição da precipitação.

Tabela 1. Testes de normalidade, tendência e aderência

| Variável/Teste | Shapiro-Wilk | |
|----------------|--------------|---------|
| | W | p-valor |
| P126V | 0,931 | 0,071 |
| P126O | 0,904 | 0,016 |
| P126I | 0,800 | 0,000 |
| P126P | 0,921 | 0,042 |
| P245V | 0,926 | 0,056 |
| P245O | 0,880 | 0,005 |
| P245I | 0,805 | 0,000 |
| P245P | 0,930 | 0,068 |
| P370V | 0,927 | 0,059 |
| P370O | 0,885 | 0,006 |
| P370I | 0,803 | 0,000 |
| P370P | 0,933 | 0,083 |

P=precipitação; V=verão; O=outono; I=inverno; P=primavera.

CONCLUSÃO

A precipitação futura demonstrou uma tendência de diminuição de 5mm distribuída para todo o Brasil. O teste de normalidade da precipitação apresentou irregularidade na estação do outono para as forçantes ssp245 e ssp370. Os cenários de forçamento não apresentaram resultados significativos não havendo progresso.

REFERÊNCIAS

- Allen, M. R.; Dube, O. P.; Solecki, W.; Aragón-Durand, F.; Cramer, W.; Humphreys, S.; Kainuma, M.; Kala, J.; Mahowald, N.; Mulugetta, Y.; Perez, R.; Wairiu, M.; Zickfeld, K. Framing and Context. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. In: Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pörtner, H.O.; Roberts, D.; Skea, J.; Shukla, P.R.; Pirani, A.; Moufouma-Okia, W.; Péan, C.; Pidcock, R.; Connors, S.; Matthews, J.B.R.; Chen, Y.; Zhou, X.; Gomis, M. I.; Lonnoy, E.; Maycock, T.; Tignor, M.; Waterfield, T. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2018. p.49-92. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SR15_Chapter_1_HR.pdf. Acesso em: 12 de março de 2024.
- Chou, S. C.; Lyra, A.; Mourão, C. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. *American Journal of Climate Change*, v.3, n.5, p.512-525, 2014.
- Chou, S. C.; De Arruda Lyra, A.; Gomes, J. L.; Rodriguez, D. A.; Martins, M.; Resende, N.; Tavares, P.; Dereczynski, C. P.; Pilotto, I.; Martins, A. M.; Carvalho, L. F. A.; Onofre, J. L. L.; Major, I.; Penhor, M.; Santana, A. Downscaling projections of climate change in São Tome and Principe Islands, Africa. *Climate Dynamics*, v.54, p.4021-4042, 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, n.5, p.438-454, 2014.
- Chou, S. C.; Marengo, J. A.; Lyra, A.; Sueiro, G.; Pesquero, J.; Alves, L. M.; Kay, G.; Betts, R.; Chagas, D.; Gomes, J. L.; Bustamante, J.; Tavares, P. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. *Climate Dynamics*, v.38, n.3-4, p.635-653, 2012.
- Correa, W. De S. C.; Soares, W. R.; Aylas, G. Y. R.; Reis Junior, N. C.; Marengo, J. A.; Chou, S. C.; Nobre, C. Avaliação das simulações de temperatura e precipitação de um subconjunto de modelos do CMIP6 para o Brasil. *Derbyana*, v.43, e774, 2022.
- EC-EARTH Consortium. ECEarth-Consortium EC-Earth3-Veg model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP. Earth System Grid Federation. 2019.
- IPCC. Climate Change 2014 Part A: Global and Sectoral Aspects. In: Field, C.; Barros, V. R. (ed.). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the*

- Intergovernmental Panel on Climate Change (1a). Cambridge University Press. 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>. Acesso em: 13 de março de 2024.
- IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis Summary for Policymakers Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: ONU. 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessmentreport-working-group-ii/>. Acesso em: 13 de março de 2024.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A. et al. 2021. 280p. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SummaryVolume.pdf. Acesso em: 12 de março de 2024.
- Marengo, J. A.; Chou, S. C.; Kay, G.; Alves, L. M.; Pesquero, J. F.; Soares, W. R.; Santos, D. C.; Lyra, A. A.; Suevo, 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.
- Monteiro, A. F. M.; Yamamoto, A. L. C.; Silva, P. N.; Reboita, M. S. Conhecer a complexidade do sistema climático para entender as mudanças climáticas. *Terra Didática*, v.17, p.1-12, 2021.
- PBMC. Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Ambrizzi, T.; Araujo, M. (Ed.). Coppe. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. 464p.
- QGIS. Development Team. 2024. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.
- Reboita, M. S.; Ambrizzi, T. Climate system in a nutshell: An overview for understanding Climate change. *International Journal of Development Research*, v.12, e53365-53378, 2022.
- Reboita, M. S.; Gan, M. A.; Rocha, R. P. da; Ambrizzi, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, p.185-204, 2010.
- RStudio. Posit Software. Disponível em: <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>.
- Shapiro, A. S. S.; Wilk, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v.52, n.3/4, p.591-611, 1965.
- Solman, S. A.; Sanchez, E.; Samuelsson, P.; Rocha, R. P.; Li, L.; Marengo, J.; Pessacg, N. L.; Remedio, A. R. C.; Chou, S. C.; Berbery, H.; Le Treut, H.; Castro, M.; Jacob, D. Evaluation of an ensemble of regional climate model simulations over South America driven by the ERA-Interim reanalysis: Model performance and uncertainties. *Climate Dynamics*, v.41, n.5-6, p.1139-1157, 2013.
- Van Vuuren, D. P.; Edmonds, J.; Kainuma, M.; Riahi, K.; Thomson, A. et al. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, v.5, p.109, 2011.