

PROJEÇÃO CLIMÁTICA DA PLUVIOSIDADE E TEMPERATURA DO AR DA REGIÃO CONTINENTAL BRASILEIRA ENTRE 2021 A 2040 SIMULADA POR MODELOS DO CMIP6-SSP126/245/370

Paulo Roberto Megna Francisco¹; José Hugo Simplicio de Sousa¹; George do Nascimento Ribeiro¹; José Nilton Silva¹

RESUMO

Vários estudos têm observado pela modelagem por projeções climáticas, o aumento da frequência de extremos climáticos em diversas regiões do Brasil. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar as mudanças de temperatura e 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. No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados utilizando o QGIS® 3.36 e a estatística zonal através do SAGA® 9.2.0. Utilizando o RStudio® foram elaborados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk, de aderência de Kolmogorov-Smirnov, de tendência por Man Kendall e coeficiente de correlação Pearson. Os resultados demonstraram uma tendência de resfriamento de 1,59°C. A projeção da temperatura máxima demonstrou tendência de se manter a temperatura máxima em 30°C. A precipitação futura demonstrou uma tendência de diminuição de 5mm distribuída para todo o Brasil. A distribuição anual da temperatura máxima e mínima e da precipitação apresentou mínima variabilidade entre as forçantes. Os testes de normalidade da temperatura mínima sazonal e da precipitação apresentou irregularidade na estação do outono para as forçantes ssp245 e ssp370. Na temperatura máxima apresentou regularidade nas projeções futuras. A correlação entre a precipitação e a temperatura máxima apresentou em sua maioria muito forte divergindo na estação sazonal do outono. Os cenários de forçamento não apresentaram resultados significativos não havendo progressão.

Palavras-chave: Modelos climáticos globais, Cenários futuros, Variabilidade climática, Estatística zonal.

CLIMATE PROJECTION OF RAINFALL AND AIR TEMPERATURE IN THE BRAZILIAN CONTINENTAL REGION 2021-2040 SIMULATED BY CMIP6-SSP126/245/370 MODELS

ABSTRACT

Several studies have observed, through climate projection modeling, the increase in the frequency of climate extremes in several regions of Brazil. Therefore, the objective of this work is to evaluate changes in temperature and precipitation simulated by high-resolution climate models from CMIP6 for 3 emission scenarios in part of the Brazilian continental region using geotechnologies. Using QGIS®, 36 maps of the variables were created and classified, and the respective histograms were generated. In the statistical treatment, descriptive analysis of the data was carried out using QGIS® 3.36 and zonal statistics using SAGA® 9.2.0. Using RStudio®, the Shapiro-Wilk normality test, Kolmogorov-Smirnov adherence test, Man Kendall trend test and Pearson correlation coefficient were prepared. The results demonstrated a cooling trend of 1.59°C. The projection of the maximum temperature showed a tendency to maintain the maximum temperature at 30°C. Future precipitation demonstrated a decreasing trend of 5mm distributed throughout Brazil. The annual distribution of maximum and minimum temperature and precipitation showed minimal variability between the forcings. The normality tests for the seasonal minimum temperature and precipitation showed irregularities in the autumn season for the forcings ssp245 and ssp370. At maximum temperature, it showed regularity in future projections. The correlation between precipitation and maximum temperature was mostly very strong, diverging in the autumn seasonal season. The forcing scenarios did not present significant results, with no progression.

Keywords: Global climate models, Future scenarios, Climate variability, Zonal statistics.

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 & AMBRIZZI, 2022).

Para o Brasil, vários estudos têm observado pela modelagem por projeções climáticas, o aumento da frequência de extremos climáticos em diversas regiões do país (MARENGO et al., 2013; SOUSA, 2017; NATIVIDADE et al., 2017; BRITO et al., 2019). Problemas com a falta de chuva também fazem parte da história recente, como os eventos que ocorreram na Amazônia entre 2005 a 2016 e em grande parte do território brasileiro em 2014 e 2015 (MARENGO, 2009; MARENGO et al., 2011; 2017; COELHO et al., 2015; RIBEIRO NETO et al., 2021). A região Nordeste tem um histórico de secas (MARENGO et al., 2020, MARENGO & BERNASCONI, 2015), dentre essas, destaca-se a seca pluriannual na região entre 2011-2018 (CUNHA et al., 2018; MARENGO et al., 2017).

Em decorrência de processos naturais, tais como a dinâmica das massas de ar, correntes marinhas, erupções vulcânicas, entre outros, o clima da Terra está sempre mudando ao longo do tempo, sendo a modelagem numérica essencial para aprimorar o conhecimento a respeito dos componentes do sistema climático, bem como para elencar os possíveis impactos da mudança do clima em diversos setores importantes de um país, como por exemplo, os de recursos hídricos, energético, agricultura, etc. (SANTOS et al., 2020).

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.

O Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change), uma das mais importantes organizações que avaliam as alterações do clima e seus impactos no mundo, também analisam projeções oriundas de modelos climáticos acoplados atmosfera-oceano (FERREIRA & VALVERDE, 2022). Os modelos climáticos acoplados atmosfera-oceano são utilizados para realizar projeções com cenários de emissões de CO₂, os quais têm evoluído consideravelmente. Atualmente, no seu 6.o relatório (AR6-IPCC) utiliza os cenários de emissões Shared Socioeconomic Pathways (SSP) que fazem parte de uma nova estrutura de cenários, a fim de facilitar a análise integrada de futuros impactos climáticos, vulnerabilidades, adaptação e mitigação (RIAHI et al., 2017).

O recente relatório do IPCC (AR6) afirma que, as mudanças projetadas para os extremos de clima serão maiores em frequência, com cada incremento adicional de aquecimento. Isto é, um evento extremo que ocorria a cada 10 anos, para um cenário de aquecimento com anomalia de 1,5°C poderia ocorrer com uma frequência de até quatro vezes a mais a cada 10 anos, como seria o caso das ondas de calor (IPCC, 2021).

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. A melhoria na resolução e nas parametrizações físicas dos modelos tem permitido uma representação mais detalhada das características da paisagem, como cordilheiras, lagos, tipos de vegetação e características do solo, levando a uma melhor caracterização do ciclo hidrológico e dos eventos extremos associados, bem como a uma representação mais realista do clima regional/local em comparação aos modelos com resoluções mais baixas (100-200 km) (AMBRIZZI et al.,

2019; CHOU et al., 2014; FLATO et al., 2013; NAUMANN et al., 2018).

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. Os autores ainda observam que, a área de estudos do clima futuro é custosa financeiramente, uma vez que, necessita de computadores potentes para executar os modelos numéricos e de espaço físico para guardar as simulações. Além disso, demanda de uma equipe de profissionais com experiência na área. Não obstante, os usuários desses dados também necessitam de espaço em disco para armazenar os dados para seus estudos. Diante disso, para a redução de custos por parte dos usuários de simulações e projeções numéricas, uma estratégia é avaliar os modelos que melhor representam o clima presente no local de interesse e selecioná-los para gerar as avaliações do clima futuro, sem necessitar de todos os modelos disponíveis.

As primeiras projeções de mudanças climáticas sobre a América do Sul foram realizadas a partir de modelos climáticos regionais (AMBRIZZI et al., 2007; MARENGO & AMBRIZZI, 2006; MARENGO et al., 2009). 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; PBM, 2013, SOLMAN et al., 2013). Chou et al. (2014) avaliaram as simulações da temperatura e precipitação para o Brasil a partir do modelo regional Eta conduzidas por três modelos globais, o Hadley Centre Global Environmental (HadGEM2-ES), o Brazilian Earth System Model (BESM) e o Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC5).

Diversas pesquisas foram realizadas com simulados por modelos climáticos do CMIP6 para diversas regiões brasileira, como de Bosco e Valverde (2022), Correa et al. (2022), Ferreira e Valverde (2022), Naitzel

(2021), Santos et al. (2020), Avila-Diaz et al. (2020), Natividade et al. (2017), Lyra et al. (2017), Menezes et al. (2016) e Jones e Carvalho (2013). 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 temperatura e 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) 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). As variáveis climáticas avaliadas foram temperatura mínima média mensal (°C), temperatura máxima média mensal (°C), e precipitação total mensal (mm), todas adquiridas 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).

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados utilizando o

QGIS® 3.36 (HYNDMAN & FAN, 1996) e após foi gerada a estatística zonal por Estado da Federação através do SAGA® 9.2.0 desenvolvido por Conrad et al. (2015). A estatística zonal de acordo com Barbosa et al. (1998), permite estabelecer relações espaciais entre regiões de mapas distintos. As operações de transformações zonais ou por região operam sobre um mapa de origem e um conjunto de regiões delimitadas por polígonos na forma matricial ou vetorial. Isto permite materializar num SIG os conceitos de unidade de paisagem (BERTRAND, 1981; TRICART, 1977; TRICART & KIEWIETDEJONGE, 1992) e área-unidade (HARTSHORNE, 1978).

Utilizando o RStudio® 2023 e os dados obtidos foram elaborados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk (1965) e o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (1933; 1948). O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov além de não depender do número de classes do agrupamento dos dados, oferece mais vantagens computacionais (KVAM & VIDA KOVIC, 2007). Para a tendência foi realizado o teste de Man Kendall não paramétrico (MANN, 1945; KENDALL, 1975). O coeficiente de correlação Pearson (1892), R, foi calculado entre os dados de precipitação e de temperatura máxima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 observa-se o comportamento mensal anual da distribuição sazonal da projeção da temperatura média mínima para o ssp126 de 21,14°C, para o ssp245 de 19,46°C e ssp370 de 19,55°C, demonstrando uma tendência de resfriamento de 1,59°C, de acordo com a Figura 2 da distribuição sazonal da temperatura mínima. Resultado similar ao de Santos et al. (2020), levando em consideração as décadas de 2020 a 2040 totalizando 1,5°C, em que observaram uma tendência de resfriamento de até 0,5°C por década, porém de forma pontual em algumas áreas do País principalmente para a estação de outono. Resultado este, obtido do Climate Prediction Center/National Oceanic and Atmospheric Administration (CPC/NOAA) do RX5day e CDD, e do Rainfall Estimates from Rain Gauge and

Satellite Observations – Chirps2 (FUNK et al., 2015).

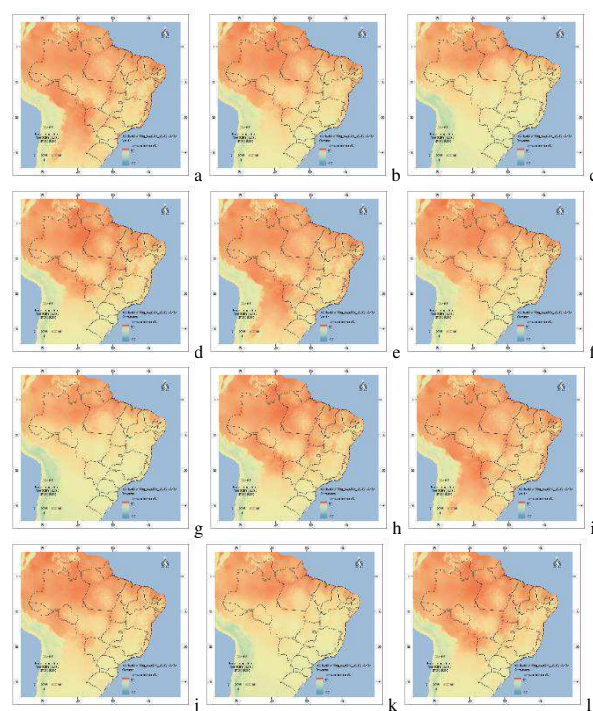


Figura 1. Distribuição sazonal da temperatura média mínima (°C) do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

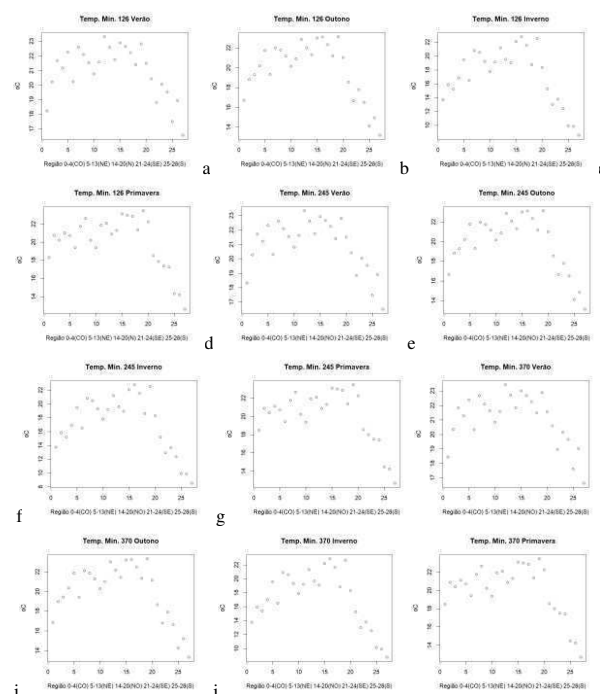


Figura 2. Distribuição da temperatura média mínima (°C) sazonal do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

Na Figura 3, do comportamento da distribuição sazonal da projeção da

temperatura média máxima para o ssp126/ssp245/ssp370, observa-se que demonstra uma tendência de manter a temperatura máxima em 30°C sem incrementos significativos, como pode-se verificar na Figura 4, nos gráficos de distribuição.

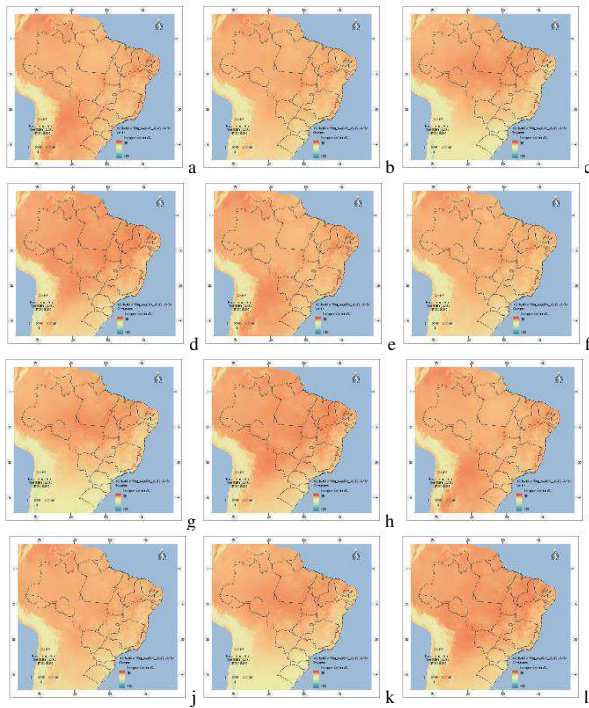


Figura 3. Distribuição sazonal da temperatura média máxima (°C) do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

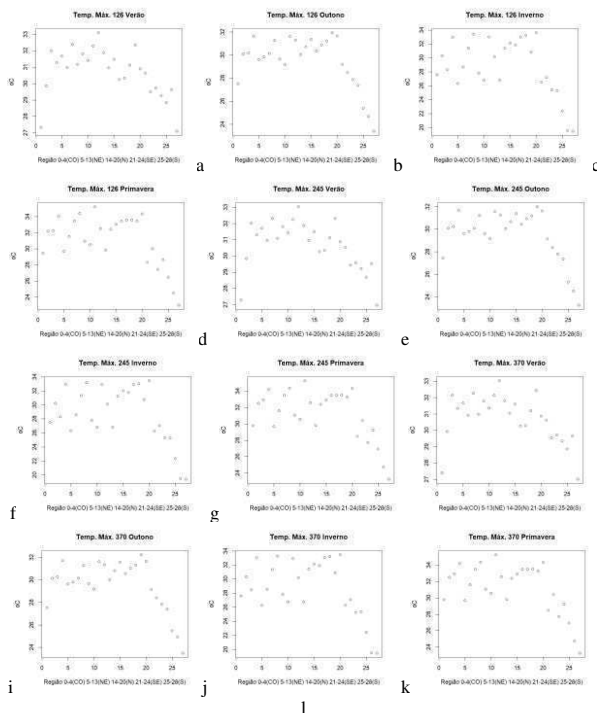
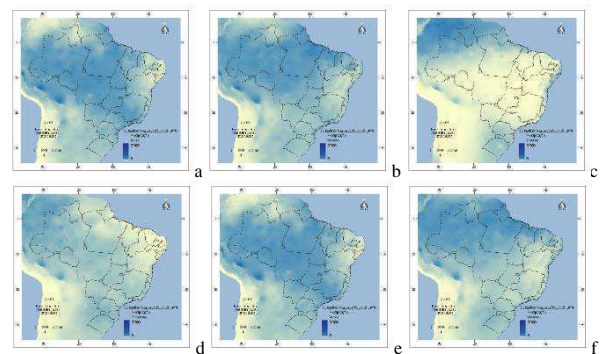


Figura 4. Distribuição da temperatura média máxima (°C) sazonal do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

De acordo com Fan et al. (2020), os modelos do CMIP6 tendem a subestimar as temperaturas de maio a agosto para o Brasil e América do Sul, pois os dados observados, estão mais próximos à mediana nas demais estações do ano. Ortega et al. (2021) destacam que, tanto as simulações do CMIP6 quanto as do CMIP5 representam melhor os padrões de temperatura do que os de precipitação.

Almazroui et al. (2021) afirmam que, as projeções das temperaturas dos modelos do CMIP6, para aumentos da temperatura na América do Sul são robustos em termos de magnitude, mesmo sob o SSP1 2.6 que é um cenário menos extremo.

No comportamento da distribuição sazonal da projeção da precipitação média (Figura 5), 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 apresentado na Figura 6.



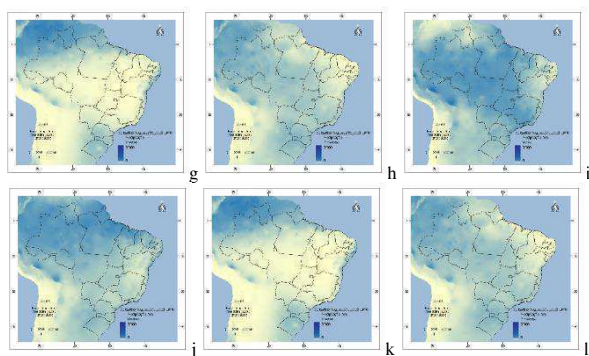


Figura 5. Distribuição sazonal da precipitação média (mm) do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

De acordo com Bosco e Valverde (2022), as projeções climáticas de precipitação em cenários futuros nas escalas global, regional e sub-regional, continuam não tendo consenso, o que ainda denota altas incertezas, este foi um assunto levantado no último relatório (AR6), as Bases Físicas do IPCC (IPCC, 2021).

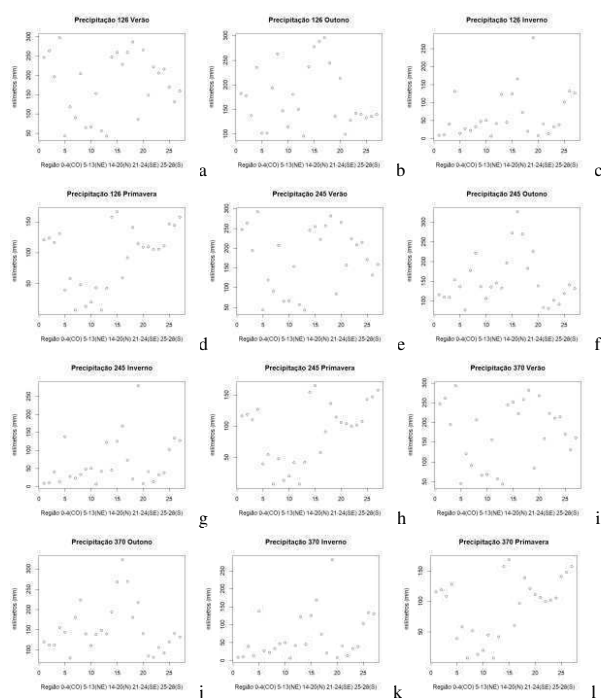


Figura 6. Distribuição da precipitação média (mm) sazonal do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

Na Figura 7, observa-se a distribuição anual da temperatura máxima e mínima e 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).

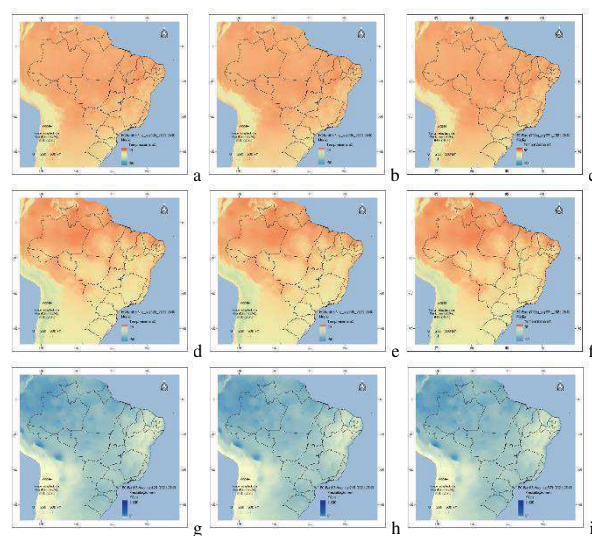


Figura 7. Distribuição anual média (a, b, c) da temperatura máxima (°C), (d, e, f) temperatura mínima (°C), (g, h, i) precipitação (mm) do ssp126/ssp245/ssp370.

Bosco e Valverde (2022) afirmam que, as projeções das temperaturas dos modelos do CMIP6, para aumentos da temperatura na América do Sul são robustos em termos de magnitude, mesmo sob o SSP1 2.6 que é um cenário menos extremo.

Correa et al. (2022) afirmam que, a má representação de alguns componentes do ciclo hidrológico (umidade do solo, fluxos superficiais e tipos de vegetação) ou a dificuldade de parametrização convectiva pelos modelos globais podem levar a superestimação ou subestimação dos dados (MARENGO et al., 2009, 2012; SOARES & MARENGO, 2009; MARTIN et al., 2011; CHOU et al., 2014; DEREZYNSKI et al., 2020).

Almazroui et al. (2021) avaliou o desempenho dos 38 modelos globais acoplados do CMIP6 para a América do Sul, e examinou as projeções de precipitação e temperatura até o século XXI, considerando quatro caminhos socioeconômicos (SSP1 2.6, SSP2 4.5, SSP3 7.0 e SSP5 8.5). Os resultados mostraram que os modelos do CMIP6 capturam com sucesso as principais características climáticas da América do Sul.

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 e da temperatura.

No teste de Kolmogorov-Smirnov com o valor $p < 2,2e^{-16}$ indica uma probabilidade extremamente pequena de observar os dados, portanto rejeita-se a hipótese nula. O *p-valor* do teste Mann-Kendall nas estações sazonais do inverno e primavera da precipitação ssp245 e ssp370 apresentam tendência significativa na série da projeção da mudança climática.

Tabela 1. Testes de normalidade, tendência e aderência

Variável/Teste	Shapiro-Wilk		Kolmogorov-Smirnov		Pearson		Mann-Kendall	
	W	<i>p-valor</i>	D	<i>p-valor</i>	P	<i>p-valor</i>	<i>tau</i>	<i>p-valor</i>
P126V	0,931	0,071	1	$< 2,2e^{-16}$	64,82	0,262	0,009	0,967
P126O	0,904	0,016	1	$< 2,2e^{-16}$	14,19	0,014	-0,071	0,617
P126I	0,800	0,000	1	$< 2,2e^{-16}$	18,33	0,003	0,271	0,050
P126P	0,921	0,042	1	$< 2,2e^{-16}$	70,74	0,215	0,259	0,061
P245V	0,926	0,056	1	$< 2,2e^{-16}$	76,67	0,176	0,020	0,900
P245O	0,880	0,005	1	$< 2,2e^{-16}$	15,37	0,009	-0,003	1,000
P245I	0,805	0,000	1	$< 2,2e^{-16}$	18,33	0,003	0,276	0,045
P245P	0,930	0,068	1	$< 2,2e^{-16}$	82,59	0,143	0,276	0,045
P370V	0,927	0,059	1	$< 2,2e^{-16}$	58,89	0,317	0,020	0,900
P370O	0,885	0,006	1	$< 2,2e^{-16}$	88,52	0,115	-0,009	0,967
P370I	0,803	0,000	1	$< 2,2e^{-16}$	18,33	0,003	0,282	0,041
P370P	0,933	0,083	1	$< 2,2e^{-16}$	76,67	0,176	0,276	0,045
TM126V	0,941	0,129	1	$< 2,2e^{-16}$	58,89	0,317	-0,368	0,008
TM126O	0,859	0,002	1	$< 2,2e^{-16}$	15,96	0,007	-0,214	0,123
TM126I	0,912	0,026	1	$< 2,2e^{-16}$	82,59	0,143	-0,231	0,095
TM126P	0,917	0,033	1	$< 2,2e^{-16}$	11,82	0,037	-0,231	0,095
TM245V	0,937	0,104	1	$< 2,2e^{-16}$	82,59	0,143	-0,359	0,009
TM245O	0,858	0,002	1	$< 2,2e^{-16}$	14,19	0,014	-0,231	0,095
TM245I	0,909	0,021	1	$< 2,2e^{-16}$	11,22	0,047	-0,251	0,070
TM245P	0,912	0,025	1	$< 2,2e^{-16}$	11,22	0,047	-0,268	0,052
TM370V	0,938	0,112	1	$< 2,2e^{-16}$	41,11	0,534	-0,348	0,012
TM370O	0,875	0,004	1	$< 2,2e^{-16}$	10,04	0,074	-0,219	0,113
TM370I	0,908	0,021	1	$< 2,2e^{-16}$	13,00	0,023	-0,231	0,095
TM370P	0,912	0,025	1	$< 2,2e^{-16}$	11,22	0,047	-0,268	0,052
TN126V	0,927	0,058	1	$< 2,2e^{-16}$	94,44	0,093	-0,214	0,123
TN126O	0,909	0,021	1	$< 2,2e^{-16}$	70,74	0,215	-0,151	0,278
TN126I	0,943	0,147	1	$< 2,2e^{-16}$	35,19	0,621	-0,191	0,169
TN126P	0,897	0,012	1	$< 2,2e^{-16}$	70,74	0,215	-0,171	0,219
TN245V	0,924	0,049	1	$< 2,2e^{-16}$	94,44	0,093	-0,208	0,133
TN245O	0,909	0,021	1	$< 2,2e^{-16}$	7,07	0,215	-0,151	0,278
TN245I	0,943	0,146	1	$< 2,2e^{-16}$	35,19	0,621	-0,200	0,150
TN245P	0,894	0,010	1	$< 2,2e^{-16}$	76,67	0,176	-0,185	0,182
TN370V	0,928	0,063	1	$< 2,2e^{-16}$	88,52	0,115	-0,231	0,095
TN370O	0,913	0,026	1	$< 2,2e^{-16}$	70,74	0,215	-0,162	0,243
TN370I	0,944	0,155	1	$< 2,2e^{-16}$	35,19	0,621	-0,197	0,156
TN370P	0,894	0,010	1	$< 2,2e^{-16}$	76,67	0,176	-0,185	0,182

P=precipitação; TM=temperatura máxima; TN=temperatura mínima; V=verão; O=outono; I=inverno; P=primavera.

Regoto et al. (2021), analisaram tendências sazonais e anuais de índices extremos de temperatura do ar e precipitação sobre o Brasil durante o período 1961-2018, utilizando o teste de Mann-Kendall, onde identificaram tendências extremas de precipitação positiva e negativa, sem significância estatística, na Região Sudeste. Resultado similar a este trabalho.

Pelas Figuras 8, 9 e 10 pode-se verificar o comportamento das variáveis em que apresentam mínima variabilidade entre as forçantes ssp126, ssp245 e a ssp370.

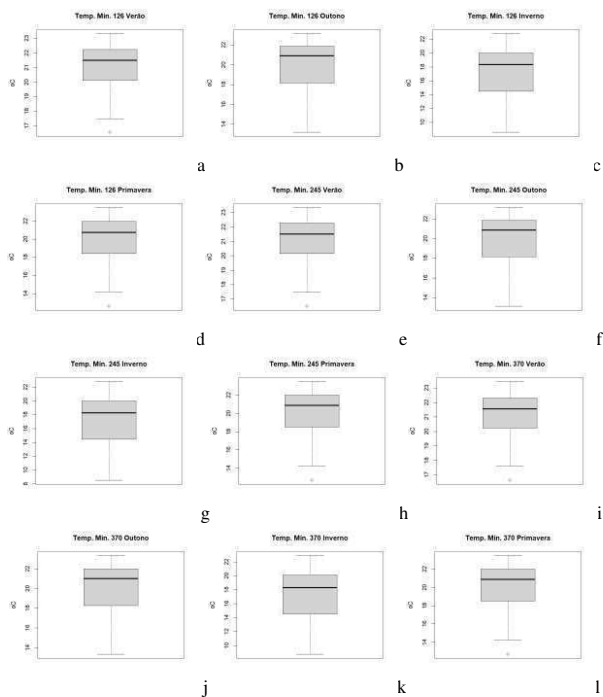


Figura 8. Boxplot da temperatura média mínima (°C) sazonal do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

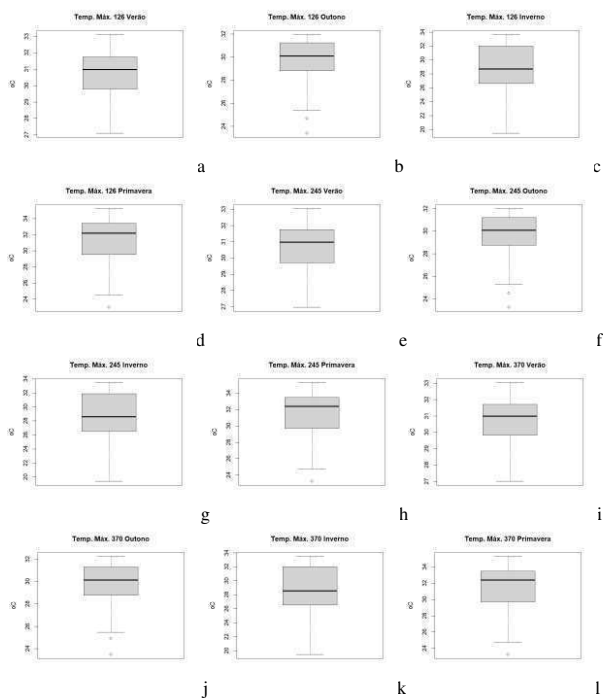


Figura 9. Boxplot da temperatura média máxima (°C) sazonal do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

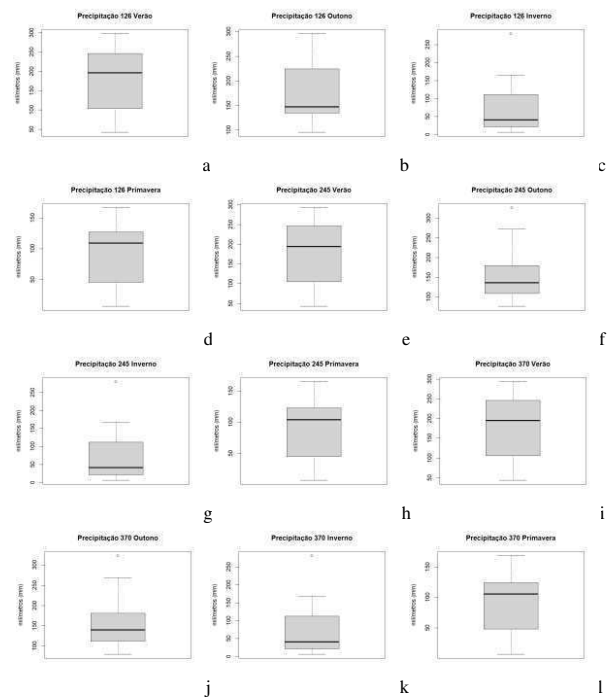
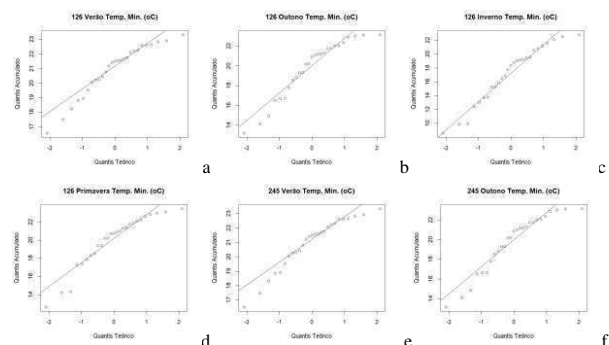


Figura 10. Boxplot da precipitação média (mm) sazonal do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

No teste de normalidade da temperatura mínima sazonal (Figura 11), observa-se que a distribuição apresenta irregularidade na estação do outono do ssp245 e ssp370, nas demais segue a regularidade. Quanto ao teste de normalidade da temperatura máxima sazonal (Figura 12), observa-se que a distribuição se apresenta com regularidade nas projeções futuras. Na Figura 13, da precipitação sazonal, pode-se verificar a irregularidade na estação do outono do ssp245 e ssp370, seguindo o comportamento da temperatura máxima.



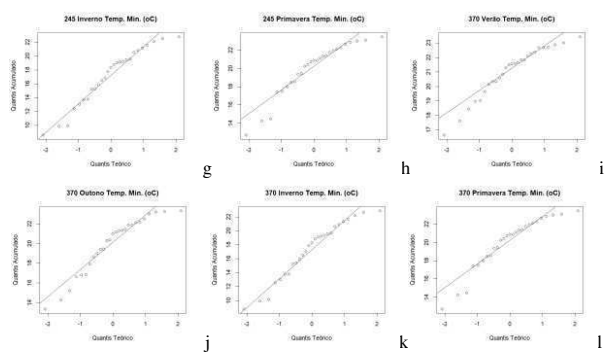


Figura 11. Quantis da temperatura mínima média sazonal do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

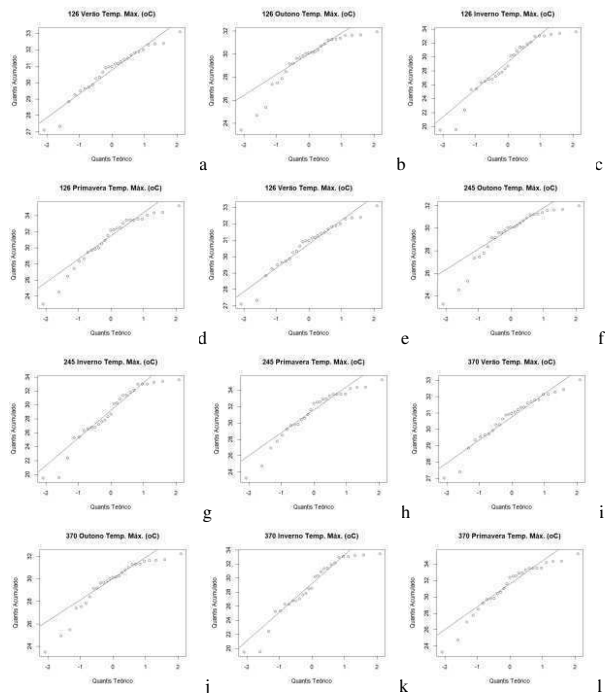


Figura 12. Quantis da temperatura máxima média sazonal do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

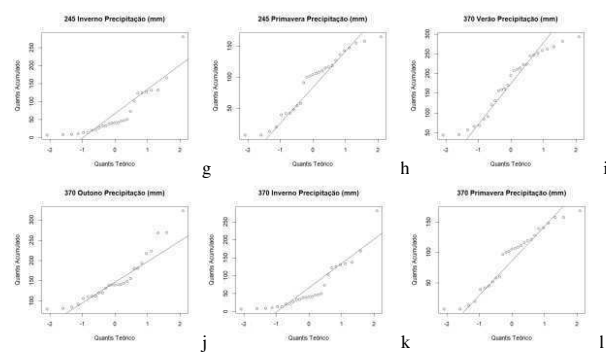
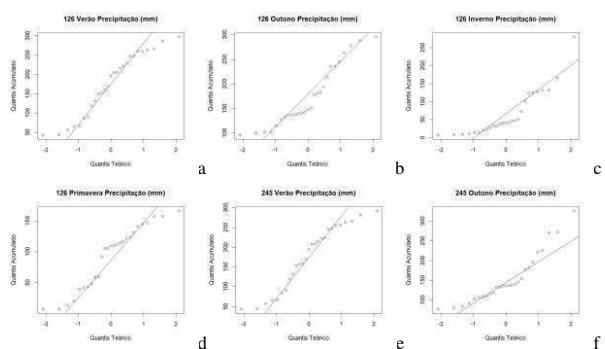


Figura 13. Quantis da precipitação média sazonal do ssp126/245/370, (a, e, i) verão, (b, f, j) outono, (c, g, k) inverno, (d, h, l) primavera.

De acordo com a Figura 14 e a Tabela 2 a correlação entre a precipitação e a temperatura máxima apresenta-se em sua maioria muito forte, e no sazonal outono a correlação ssp126 é forte e na ssp245 e ssp370 apresenta-se desprezível, o que se pode verificar pela Figura 14 entre a precipitação e temperatura máxima sazonal onde a estação outono diverge das demais no sentido positivo da correlação.

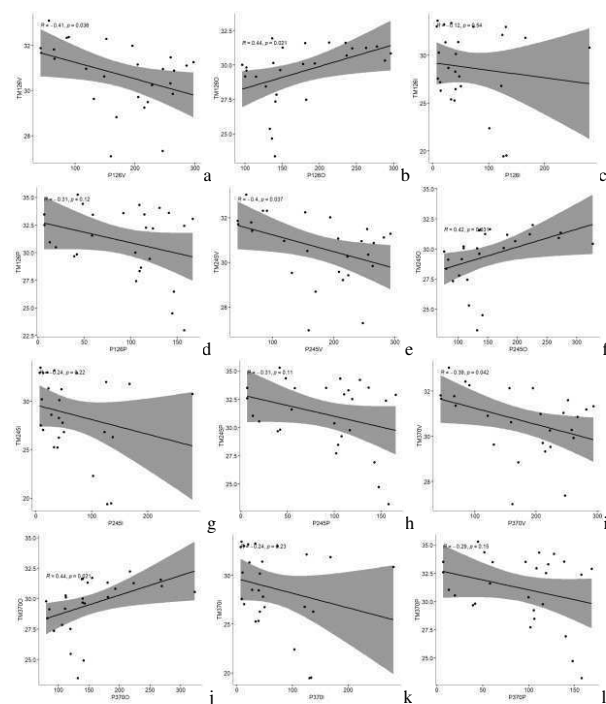


Figura 14. Correlação de Pearson entre a precipitação e temperatura máxima sazonal do ssp126 (a, b, c, d), ssp245 (e, f, g, h), ssp370 (i, j, k, l).

Tabela 2. Correlação entre as variáveis precipitação e temperatura máxima

1.o Parâmetro	2.o Parâmetro	<i>rho</i>	95% CI	S	<i>p</i>
P126V	TM126V	-0,45	[-0,71, -0,07]	4.752	>0,999
P126O	TM126O	0,55	[0,20, 0,77]	1.472	0,875
P126I	TM126I	-0,20	[-0,55, 0,20]	3.936	>0,999
P126P	TM126P	-0,21	[-0,56, 0,19]	3.968	>0,999
P245V	TM245V	-0,47	[-0,72, -0,09]	4.805	>0,999
P245O	TM245O	0,64	[0,33, 0,82]	1.188	0,128
P245I	TM245I	-0,39	[-0,68, 0,00]	4.553	>0,999
P245P	TM245P	-0,22	[-0,56, 0,19]	4.000	> 0,999
P370V	TM370V	-0,46	[-0,72, -0,08]	4.768	>0,999
P370O	TM370O	0,62	[0,30, 0,81]	1.260	0,218
P370I	TM370I	-0,39	[-0,68, 0,00]	4.552	>0,999
P370P	TM370P	-0,19	[-0,54, 0,22]	3.884	>0,999

P=precipitação; TM=temperatura máxima; TN=temperatura mínima; V=verão; O=outono; I=inverno; P=primavera. Obs: p-value ajustada pelo método Holm (1979).

Riahi et al. (2017) afirmam que, é importante destacar que os novos cenários de emissões (SSP) elaborados para o CMIP6 são baseados em 5 narrativas (SSP1, SSP2, SSP3, SSP4 e SSP5) que descrevem desenvolvimentos socioeconômicos alternativos, incluindo desenvolvimento sustentável, rivalidade regional, desigualdade, desenvolvimento movido a combustíveis fósseis e desenvolvimento intermediário, sendo traduzidos em crescimento econômico, mudança populacional e urbanização, para consequentemente representar diferentes desafios de mitigação e adaptação. O cenário SSP2 descreve um caminho nas quais as tendências sociais, econômicas e tecnológicas não mudam acentuadamente dos padrões históricos, porém o desenvolvimento e o crescimento da renda prosseguem de maneira desigual, e deve enfrentar desafios médios à mitigação e adaptação.

Almazroui et al. (2021) afirmam que, as mudanças futuras, em sua maioria, progridem monotonicamente do cenário de forçamento mais fraco para o mais forte, e do período de projeção de meados do século ao final do século.

CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos neste trabalho observou-se que demonstrou uma tendência de resfriamento de 1,59°C.

A projeção da temperatura máxima demonstrou tendência de se manter a temperatura máxima em 30°C.

A precipitação futura demonstrou uma tendência de diminuição de 5mm distribuída para todo o Brasil.

A distribuição anual da temperatura máxima e mínima e da precipitação apresentou mínima variabilidade entre as forçantes.

Os testes de normalidade da temperatura mínima sazonal e da precipitação apresentou irregularidade na estação do outono para as forçantes ssp245 e ssp370. Na temperatura máxima apresentou regularidade nas projeções futuras.

A correlação entre a precipitação e a temperatura máxima apresentou em sua maioria muito forte divergindo na estação sazonal do outono.

Os cenários de forçamento não apresentaram resultados significativos não havendo progressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMAZROUI, M.; ASHFAQ, M.; ISLAM, M. N. Assessment of CMIP6 performance and projected temperature and precipitation changes over South America. *Earth Syst Environ*, v.5, p.155–183, 2021.

REGOTO, P.; DEREZYNSKI, C.; CHOU, S. C.; BAZZANELA, A. C. Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. *International Journal of Climatology*, v.41, n.11, p.5125–5142, 2021.

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. 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.

AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P. DA; LLOPART, M. The state of the art and fundamental aspects of regional climate modeling in South America. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v.1436, n.1, p.98-120, 2019.

ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. A test of goodness of t. *Journal of American Statistical Association*, v.49, p.765-769, 1954.

AVILA-DIAZ, A.; ABRAHÃO, G.; JUSTINO, F.; TORRES, F.; WILSON, A. Extreme climate indices in Brazil: evaluation of downscaled earth system models at high horizontal resolution. *Climate Dynamics*, v.54, p.5065–5088, 2020.

BARBOSA, C. C.; CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. DE; CREPANI, E.; NOVO, E.; CORDEIRO, J. P. C. Operadores zonais em álgebra de mapas e sua aplicação no Zoneamento Ecológico Econômico. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 9, 1998, Santos. *Anais...Santos*, 1998.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico. *Caderno de Ciências da Terra*, 13. Inst. de Geografia-USP. São Paulo. 1981.

BOSCO, R. B.; VALVERDE, M. C. Projeções climáticas de precipitação e temperatura na Região Metropolitana do Vale do Paraíba-SP simulados por modelos climáticos do CMIP6. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.15, n.3, p.1621-1638, 2022.

BRITO, A. L.; VEIGA, J. A. P.; CORREIA, F. W.; CAPISTRANO, V. B. Avaliação do desempenho dos modelos HadGEM2-ES e Eta a partir de indicadores de extremos climáticos de precipitação para a Bacia Amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.34, n.2, p.165-177, 2019.

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.; DERECHYNSKI, 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.; DERECHYNSKI, 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.
- COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v.125, n.3-4, p.769-784, 2015.
- CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHMANN, V.; BÖHNER, J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.*, v.8, p.1991-2007, 2015.
- 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.
- CUNHA, A. P. M. A.; TOMASELLA, J.; RIBEIRO NETO, G. G.; BROWN, M.; GARCIA, S. R.; BRITO, S. B.; CARVALHO, M. A. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. *Atmospheric Science Letters*, v.19, n.10, p.1-8, 2018.
- DERECZYNSKI, C.; CHOU, S. C.; LYRA, A.; SONDERMANN, M.; REGOTO, P.; TAVARES, P.; CHAGAS, D.; GOMES, J. L.; RODRIGUES, D. C.; SKANSI, M. L. M. Downscaling of climate extremes over South America - Part I: Model evaluation in the reference climate. *Weather and Climate Extremes*, v.29, e100273, 2020.
- DIAS, C. G.; REBOITA, M. S. Assessment of CMIP6 simulations over Tropical South America. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.14, n.3, p.1282-1295, 2021.
- EC-EARTH CONSORTIUM. ECEarth-Consortium EC-Earth3-Veg model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP. Earth System Grid Federation. 2019.
- FAN, X.; MIAO, C.; DUAN, Q.; SHEN, C.; WU, Y. The Performance of CMIP6 versus CMIP5 in simulating temperature extremes over the global land surface. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v.125, n.18, p.1-16, 2020.
- FERREIRA, B. C. C.; VALVERDE, M. C. Análise dos índices de extremos de precipitação em cenários futuros na bacia do Rio Ribeira de Iguape - São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.37, n.1, p.41-55, 2022.
- FLATO, G.; MAROTZKE, J.; ABIODUN, B.; BRACONNOT, P.; CHOU, S. C.; COLLINS, W.; COX, P.; DRIQUECH, F.; EMORI, S.; EYRING, V.; FOREST, C.; GLECKLER, P.; GUILYARDI, E.; JAKOB, C.; KATTSOV, V.; REASON, C.; RUMMUKAINEN, M. Evaluation of climate models. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (eds.). Cambridge University Press, 2014. p.741-866. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter09_FINAL.pdf. Acesso em: 30 de março de 2024.
- FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J. HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, v.2, n.150066, 2015.
- GROPPO, J. D.; BEDUSCHI, C. E.; MENUZZO, R.; MORAES, J. M.; MARTINELLI, L. A. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas

bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. *Revista Brasileira de Geociências*, v.24, p.181-192, 2005.

HARTSHORNE, R. Propósitos e Natureza da Geografia. São Paulo. HUCITEC/EDUSP, 1978.

HYNDMAN, R. J.; FAN, Y. Sample Quantiles in Statistical Packages. *The American Statistician*, v.50, n.4, p.361-365, 1996.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2022.

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/download/s/report/IPCC_AR6_WGI_SummaryVolume.pdf. Acesso em: 12 de março de 2024.

JARQUE, C. M.; BERA, A. K. A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review*, v.55, p.163-172, 1987.

JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Climate change in the South American monsoon system: present climate and CMIP5 projections. *Journal of Climate*, v.26, n.17, p.6660-6678, 2013.

KARMESHU, N. Trend Detection in Annual Temperature & Precipitation using the Mann Kendall Test - A Case Study to Assess Climate Change on Select States in the Northeastern United States. Master of Environmental Studies Capstone Projects. University of Pennsylvania. Department of Earth and Environmental Science, 2012.

KENDALL, M. A.; STUART, A. The advanced theory of statistics. 2.a ed. Londres: Charles Griffin, 1967.

KOLMOGOROV, A. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Giornale dell'Istituto Italiano Degli Attuari*, v.4, p.83-91, 1933.

KVAM, P. H.; VIDAKOVIC, B. Nonparametric statistics with applications to science and engineering. New York: Wiley, 2007.

LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, v.62, n.318, p.399-402, 1967.

LYRA, A.; TAVARES, P.; CHOU, S. C.; SUEIRO, G.; DEREZYNSKI, C. et al. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the nonhydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. *Theoretical and Applied Climatology*, v.132, n1-2, p. 683-683, 2017.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, v.13, n.3, p. 245-259, 1945.

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.

MARENGO, J. A. Impactos de Extremos Relacionados com o Tempo e o Clima - Impactos Sociais e Econômicos. 8. ed. São Paulo: GPMC, 2009. 5p. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/newsletters/Boletim_No8_Port.pdf. Acesso em: 12 de março de 2024.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climatic Change*, v.129, n.1-2, p.103-115, 2015.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P. M. A.; NOBRE, C. A.; RIBEIRO NETO, G. G.; MAGALHAES, A. R.; TORRES, R. R.; SAMPAIO, G.; ALEXANDRE, F.; ALVES, L. M.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ, K. R. L.; ÁLVALA, R. C. S. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4°C. *Natural Hazards*, v.103, n.2, p.2589-2611, 2020.

MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, v.29, n.15, p. 2241-2255, 2009.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, v.38, n.12, p.1-5, 2011.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in northeast Brazil-past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v.129, n.3-4, p.1189-1200, 2017.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, R.; OBREGON, G. O. Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. *Climate Research*, v.57, n.1, p.61-72, 2013.

MARTIN, G. M.; BELLOUIN, N.; COLLINS, W. J.; CULVERWELL, I. D.; HALLORAN, P. R.; HARDIMAN, S. C.; HINTON, T. J.; JONES, C. D.; MCDONALD, R. E.; MCLAREN, A. J.; O'CONNOR, F. M.; ROBERTS, M. J.; RODRIGUEZ, J. M.; WOODWARD, S.; BEST, M. J.; BROOKS, M. E.; BROWN, A. R.; BUTCHART, N.; DEARDEN, C.; WILTSHIRE, A. The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geoscientific Model Development*, v.4, p.723-757, 2011.

MENEZES, L. S.; CHOU, S. C.; ALMEIDA, J. M. V. de; SOUZA, S. A.; BEZERRA, W. de A.; RODRIGUES, L. N.; ROCHA, C. H. E. D'A. Mudanças climáticas no DF e RIDE: detecção e projeções das mudanças climáticas para o Distrito Federal e região integrada de desenvolvimento do DF e entorno. Brasília, Secretaria do Meio Ambiente. 2016. 192p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159656/1/mudancas-climaticas-DF.pdf>. Acesso em: 30 de março de 2024.

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.

NAITZEL, L. T. Validação de modelos climáticos globais e análise de projeções futuras para o Rio Grande do Sul. 151f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2021.

NATIVIDADE, U. A.; GARCIA, S. R.; TORRES, R. R. Tendência dos índices de extremos climáticos observados e projetados no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.32, n.4, p.600-614, 2017.

NAUMANN, G.; ALFIERI, L.; WYSER, K.; MENTASCHI, L.; BETTS, R. A.; CARRAO, H.; SPINONI, J.; VOGT, J.; FEYEN, L. Global changes in drought conditions under different levels of warming. *Geophysical Research Letters*, v.45, n.7, p.3285-3296, 2018.

OLIVEIRA, D. M. DE; RIBEIRO, J. G. M.; FARIA, L. F. DE; REBOITA, M. S. Performance dos modelos climáticos do CMIP6 em simular a precipitação em subdomínios da América do Sul no período histórico. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.16, n.1, p.116-133, 2023.

ORTEGA, G.; ARIAS, P. A.; VILLEGAS, J. C.; MARQUET, P. A.; NOBRE, P. Present-day and future climate over central and South America according to CMIP5/ CMIP6 models. *International Journal of Climatology*, v.41, n.15, p.6713-6735, 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.

PBMC. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1. Base Científica das Mudanças Climáticas. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014. 464p. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol1.pdf. Acesso em: 13 de março de 2024.

PEARSON, K. The grammar of science. London, J. M. Dent and Company, 1892.

QGIS. Development Team. 2022. 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.

RIAH, K.; VAN VUUREN, D. P.; KRIEGLER, E.; EDMONDS, J.; O'NEIL, B. C. et al. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. *Global Environmental Change*, v.42, p.153-168, 2017.

RIBEIRO NETO, G. G.; ANDERSON, L. O.; BARRETOS, N. J. C.; ABREU, R.; ALVES, L. et al. Attributing the 2015/2016 Amazon basin drought to anthropogenic influence. *Climate Resilience and Sustainability*, p.1-10, 2021.

RStudio. Posit Software. Disponível em: <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>.

SANTOS, D. J. DOS; PEDRA, G. U.; SILVA, M. G. B. DA; GUIMARÃES JÚNIOR, C. A.; ALVES, L. M.; SAMPAIO, G.; MARENGO, J. A. Mudanças futuras de precipitação e temperatura no Brasil a partir dos níveis de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C. *Sustainability in Debate*, v.11, n.3, p 74-90, 2020.

SANTOS, D. J. DOS; PEDRA, G. U.; SILVA, M. G. B. DA; GUIMARÃES JÚNIOR, C. A.; ALVES, L. M.; SAMPAIO, G.; MARENGO, J. A. Mudanças futuras de precipitação e temperatura no Brasil a partir

dos níveis de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C. *Sustainability in Debate*, v.11, n.3, p.74-90, 2020.

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.

SMIRNOV, N. Table for Estimating the Goodness of Fit of Empirical Distributions. *The Annals of Mathematical Statistics* v.19, n.2, p.279-281, 1948.

SOARES, W. R.; MARENGO, J. A. Assessments of moisture fluxes east of the Andes in South America in a global warming scenario. *International Journal of Climatology*, v.2, n.9/10, p.1395-1414, 2009.

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.

SOUSA, R. M. Mudanças climáticas futuras simuladas pelos modelos regionais Eta-HadGEM2-Es e Eta-MIROC5 para o Estado do Tocantins. 96f. Dissertação (Mestrado) Curso de Ciências Florestais e Ambientais. Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2017.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro. IBGE-SUPREN, 1977.

TRICART, J.; KIEWIETDEJONGE, C. *Ecogeography and Rural Management: A Contribution to the International Geosphere-Biosphere Programme*. Essex. Longman Scientific & Technical, 1992.

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.

VOLODIN, E.; MORTIKOV, E.; GRITSUN, A.; LYKOSOV, V.; GALIN, V.; DIANSKY, N.; GUSEV, A.; KOSTRYKIN, S.; IAKOVLEV, N.; SHESTAKOVA, A.; EMELINA, S. INM INM-CM4-8 model output prepared for CMIP6 CMIP piControl. Earth System Grid Federation. 2019.

VON STORCH, J. S.; PUTRASAHAN, D.; LOHMANN, K.; GUTJAHR, O.; JUNGCLAUS, J.; BITTNER, M.; HAAK, H.; WIENERS, K. H.; GIORGETTA, M.; REICK, C.; ESCH, M.; GAYLER, V.; VRESE, P.; RADDATZ, T.; MAURITSEN, T.; BEHRENS, J.; BROVKIN, V.; CLAUSSEN, M.; CRUEGER, T.; FAST, I.; FIEDLER, S.; HAGEMANN, S.; HOHENEGGER, C.; JAHNS, T.; KLOSTER, S.; KINNE, S.; LASSLOP, G.; KORNBLUEH, L.; MAROTZKE, J.; MATEI, D.; MERANER, K.; MIKOLAJEWICZ, U.; MODALI, K.; MÜLLER, W.; NABEL, J.; NOTZ, D.; GEHLEN, K.P.; PINCUS, R.; POHLMANN, H.; PONGRATZ, J.; RAST, S.; SCHMIDT, H.; SCHNUR, R.; SCHULZWEIDA, U. S. K.; STEVENS, B.; VOIGT, A.; ROECKNER, E. MPI-M MPIESM1.2-HR model output prepared for CMIP6 HighResMIP. Earth System Grid Federation. 2017.

1- Universidade Federal de Campina Grande,
paulomegna@gmail.com;
hugosimplicio123@gmail.com;
george.nascimento@professor.ufcg.edu.br;
nilton@eq.ufcg.edu.br