

XIII Workshop Brasileiro de Micrometeorologia

Avaliação do desempenho das simulações históricas dos modelos do CMIP6 na representação do regime de precipitação no sul do Brasil

Performance evaluation of historical simulations from CMIP6 models in representing precipitation regime in southern Brazil

Osmar Evandro Toledo Bonfim ¹ , Rafael Maroneze ¹ , Vanessa Ferreira ¹ ,
Thiago Ferreira Gomes ¹ , Luca Mortarini ² ,

¹Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA

²Institute of Atmospheric Sciences and Climate, National Research Council (ISAC-CNR)

RESUMO

Este estudo avaliou a performance das simulações históricas dos modelos do CMIP6 na representação dos padrões de precipitação no Sul do Brasil entre os anos de 1982 e 2014, comparando essas simulações com os dados de reanálise do ERA5. Os resultados mostraram que, de forma geral, há uma boa concordância nas amplitudes da precipitação sazonal entre CMIP6 e ERA5, exceto no inverno, onde os modelos climáticos subestimaram os percentis de chuva. Durante o verão, os modelos ACCESS-CM2 e BCC-ESM1 apresentaram correlações mais fortes. Nas estações de inverno e outono, o modelo NorESM2-MM obteve o melhor desempenho em termos de correlação e desvio padrão. Por outro lado, para a primavera, apesar de alguns modelos apresentarem correlação forte, houve divergências no desvio padrão.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; CMIP6; Sul do Brasil; Modelos climáticos globais; Precipitação

ABSTRACT

This study assesses the performance of historical simulations from CMIP6 models in representing precipitation patterns in southern Brazil between 1982 and 2014, comparing these simulations with ERA5 reanalysis data. The results demonstrate a generally good agreement in the amplitudes of seasonal precipitation between CMIP6 and ERA5, except for Winter, where climate models underestimated rainfall percentiles. During the Summer, the ACCESS-CM2 and BCC-ESM1 models exhibited the strongest correlations. In the Winter and Autumn seasons, the NorESM2-MM model demonstrated the best performance in terms of correlation and standard deviation. However, for the

Spring season, despite some models exhibiting strong correlation, there were disparities in the standard deviation.

Keywords: Climate change; CMIP6; Southern Brazil; Global climate models; Precipitation

1 INTRODUÇÃO

Modelos climáticos globais são a principal ferramenta utilizada no estudo das mudanças climáticas e seus impactos. Neste sentido, o projeto Coupled Model Intercomparison Project Phase, atualmente em sua fase 6 (CMIP6) é uma iniciativa global que reúne vários modelos climáticos de última geração que são desenvolvidos por várias instituições. As simulações dos diferentes modelos climáticos globais disponibilizadas pelo projeto CMIP6 são o que há de mais avançado em termos de projeções climáticas futuras (Petrie et al., 2021).

De forma geral, modelos climáticos globais apresentam incertezas e diferentes níveis de habilidade em simular variáveis específicas sobre uma determinada área de interesse (Firpo et al., 2022). Por isso, é importante examinar como esses modelos representam as variáveis climáticas relevantes, como a precipitação em diferentes regiões do planeta. Isso pode ser feito através da comparação das simulações históricas dos modelos do CMIP6 com observações reais para determinar se esses modelos simulam adequadamente uma determinada variável ou dos principais padrões climatológicos de uma região.

Adicionalmente, a análise dos modelos climáticos também é fundamental para avaliar a incerteza associada às projeções futuras do clima. Ao comparar as simulações históricas dos modelos com as observações passadas e presentes, é possível determinar a confiabilidade e a precisão desses modelos na reprodução dos padrões climáticos dominantes em uma determinada região (Almazrouit et al., 2021).

Neste contexto, este estudo tem como objetivo apresentar uma avaliação do desempenho das simulações históricas de 19 modelos do CMIP6 em representar os regimes de precipitação no Sul do Brasil no período entre 1982-2014. A precipitação dos modelos será comparada com a distribuição mensal e sazonal da precipitação da reanálise ERA5.

2 METODOLOGIA

Neste estudo, a área de pesquisa abrange o Sul do Brasil, compreendendo os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Foram utilizados dados de precipitação diária de 19 modelos climáticos globais pertencentes ao projeto CMIP6 para o período histórico entre 1982 e 2014. Dados de precipitação da reanálise ERA5, disponibilizados pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (Hersbach et al., 2020) foram usados como referência para avaliar o comportamento da saída dos dados do CMIP6 em relação à média mensal e sazonal da precipitação.

Com o propósito de facilitar a comparação intermodelos, todas as saídas dos modelos do CMIP6 e os dados ERA5 foram interpolados para uma grade comum de resolução $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ pelo método de interpolação bilinear (Getreuer, 2011). Na Tabela 1 estão listados os nomes dos 19 modelos CMIP6 que foram utilizados neste trabalho, seu país de origem e sua resolução horizontal.

A metodologia proposta por (Taylor, 2001) foi utilizada para avaliar a precisão dos modelos do CMIP6 em relação à distribuição espacial de precipitação na região Sul do Brasil. A análise foi baseada na série de precipitação mensal e utilizando os dados de precipitação do ERA5 como dados de referência. O diagrama de Taylor fornece uma visão geral de quão bem o padrão simulado se aproxima dos dados observados e é representado graficamente por um semicírculo ou um quarto de círculo. Os eixos x e y correspondem às medidas de desvio padrão (σ), onde o valor de σ dos dados de referência é representado ao longo do eixo x. O azimute a partir da origem até o modelo é proporcional ao coeficiente de correlação (R). A distância entre o ponto de referência no diagrama e o ponto do modelo é representada pelo valor da diferença quadrática média (E).

Quadro 1 – Modelos climáticos do CMIP6 utilizados (rodada: r1i1p1f1).

Modelos GCM	País	Resolução
ACCESS-CM2	Austrália	1.2 x 1.8
CanESM5	Canadá	2.8 x 2.8
CESM2	Estados Unidos	0.9 x 1.25
CESM2-FV2	Estados Unidos	1.9 x 2.5
CESM2-WACCM	Estados Unidos	0.9 x 1.25
CESM2-WACCM-FV2	Estados Unidos	1.9 x 2.5
CMCC-ESM2	Itália	~0.9
CMCC-CM2-SR5	Itália	~0.9
BCC-ESM1	China	2.8 x 2.8
FGOALS-g3	China	2.3 x 2.0
IITM-ESM	India	~2.0
MIROC6	Japão	1.4 x 1.4
MPI-ESM1-2-HR	Alemanha	~0.9
MPI-ESM1-2-LR	Alemanha	~2.0
MRI-ESM2-0	Japão	1.1 x 1.1
NorESM2-LM	Noruega	1.9 x 2.5
NorESM2-MM	Noruega	0.9 x 0.9
NESM3	China	1.9 x 1.9
TaiESM1	Taiwan	0.9 x 1.25

Fonte: Autores (2023)

3 RESULTADOS

Na análise do diagrama de Taylor aplicado às séries precipitação mensal dos 19 modelos do CMIP6 em comparação com a série do ERA5 (quadro 1), no verão (DJF), foi observado que enquanto três modelos exibiram correlações moderadas, os modelos ACCESS-CM2 e BCC-ESM1 apresentaram correlação muito forte, em torno de 0.95 e 0.90, respectivamente. Contudo, houve discrepâncias nos valores de desvio padrão,

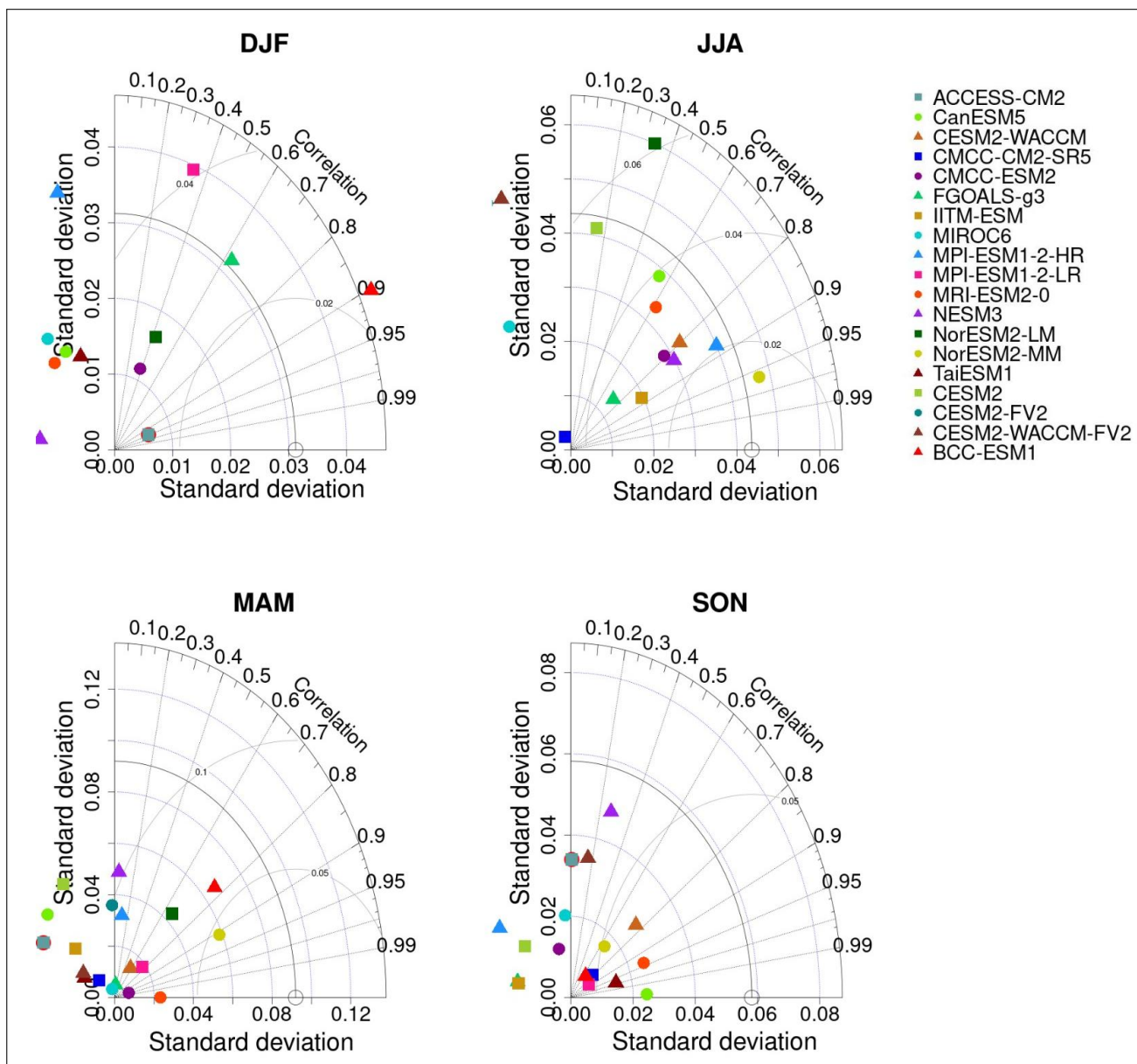
indicando uma maior dispersão nos dados dos modelos CMIP6 quando contrastados com o ERA-5. Durante o inverno (JJA), um número maior de modelos do CMIP6 apresentou correlações fortes, com valores superiores a 0.8, notavelmente o modelo NorESM2-MM se destacou apresentando correlação acima de 0.95 (muito forte).

Durante o outono (MAM), semelhante ao JJA, foi observado que um maior número de modelos do CMIP6 exibiu correlação forte. No entanto, notaram-se diferenças mais significativas nos valores de desvio padrão. Neste período, o modelo NorESM2-MM foi o único a demonstrar uma correlação superior a 0.90 (muito Forte). Na primavera (SON) todos os modelos mostraram variações notáveis no desvio padrão. Os modelos que se destacaram em termos de correlação foram TaiESM1, MRI-ESM2-0 e CanESM5, registrando uma correlação muito forte (>0.95). Resultados similares foram encontrados por (Firpo et al., 2022).

As fracas correlações observadas podem estar relacionada ao fato de que os mecanismos geradores de chuva no Sul do Brasil são bastante variados e complexos, incluindo fenômenos de escala micro e mesoescala, os quais não são bem resolvidos pelos modelos climáticos do CMIP6 devido a baixa resolução espacial destes modelos. Adicionalmente, a representação inadequada de processos micro físicos e de escala de tempestade nos modelos climáticos reduz a destreza dos mesmos em reproduzir a precipitação nesta região.

Analisou-se como os modelos do CMIP6 representaram a distribuição da precipitação sazonal (figura 2). Observou-se que os valores da mediana da maioria dos modelos CMIP6 são semelhantes àquele do ERA5, com exceção do inverno (JJA), onde os GCMs subestimaram a mediana. Nas quatro estações do ano, o modelo BCC-ESM1 foi o que apresentou o pior desempenho em representar a mediana da precipitação do ERA5. Em relação aos valores mais extremos de chuva e outliers, notou-se que no inverno os GCMs subestimaram a precipitação, mas com desempenho geral satisfatório nas demais estações do ano. O modelo FGOALS-g3, em todas as estações do ano, apresentou os maiores extremos de precipitação. Observou-se que, de forma geral, houve boa concordância na amplitudes da precipitação entre os modelos CMIP6 e ERA5 no verão, outono e primavera.

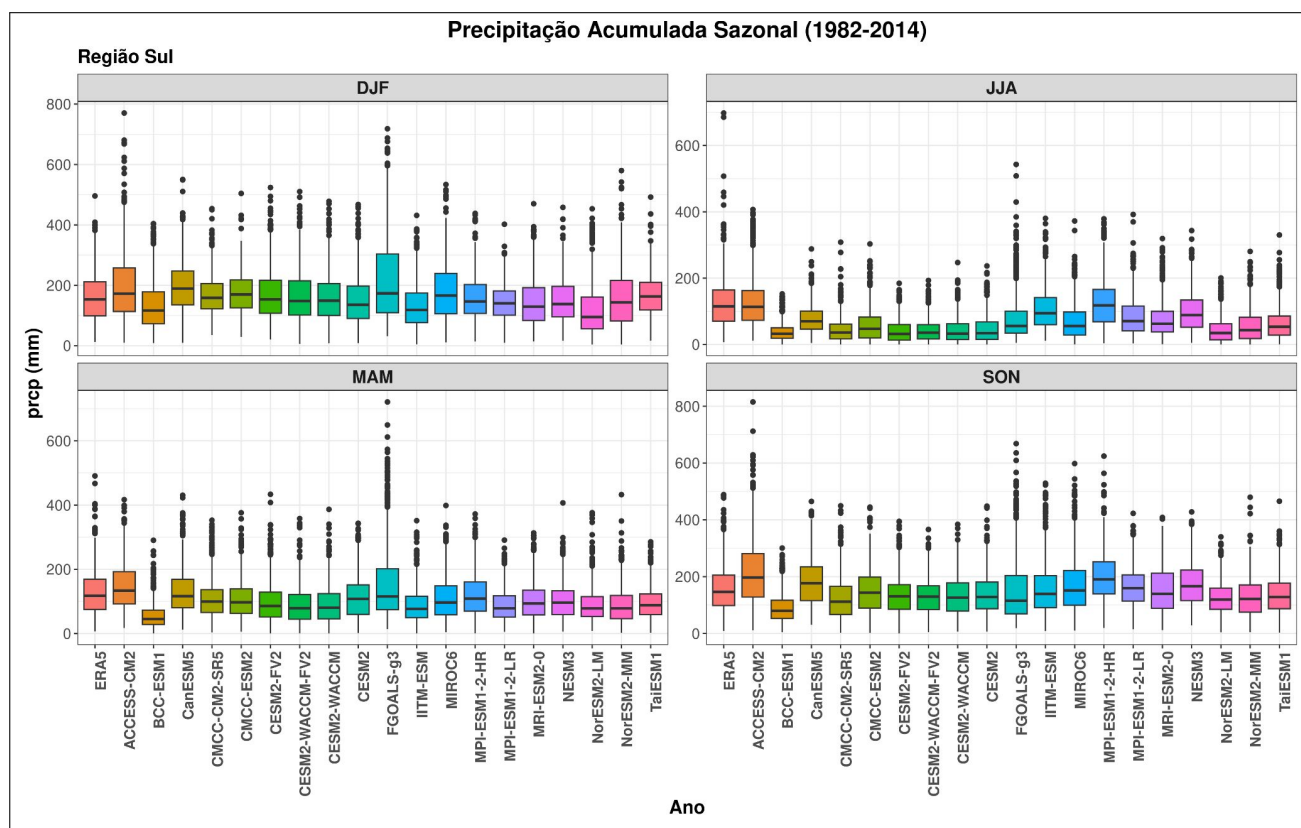
Figura 1 – Diagrama de Taylor para o Sul do Brasil. Série de precipitação mensal dos modelos do CMIP6 em comparação ao ERA5 durante o período 1982-2014. Os painéis estão separados em verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON)



Fonte: Autores (2023)

Na análise do ciclo anual climatológico da chuva simulada pelo CMIP6 e em comparação com os dados ERA5 (figura 3), não foi possível observar concordância entre os modelos CMIP6 e o ERA5. Entre os meses de março a agosto, os modelos climáticos subestimaram consideravelmente a precipitação. Por outro lado, entre outubro e dezembro, a maioria dos modelos CMIP6 superestimaram a chuva em comparação com a reanálise. No entanto, houve coerência entre a média multi-modelos e o ERA5 nos meses de janeiro a março e outubro e dezembro. Esse

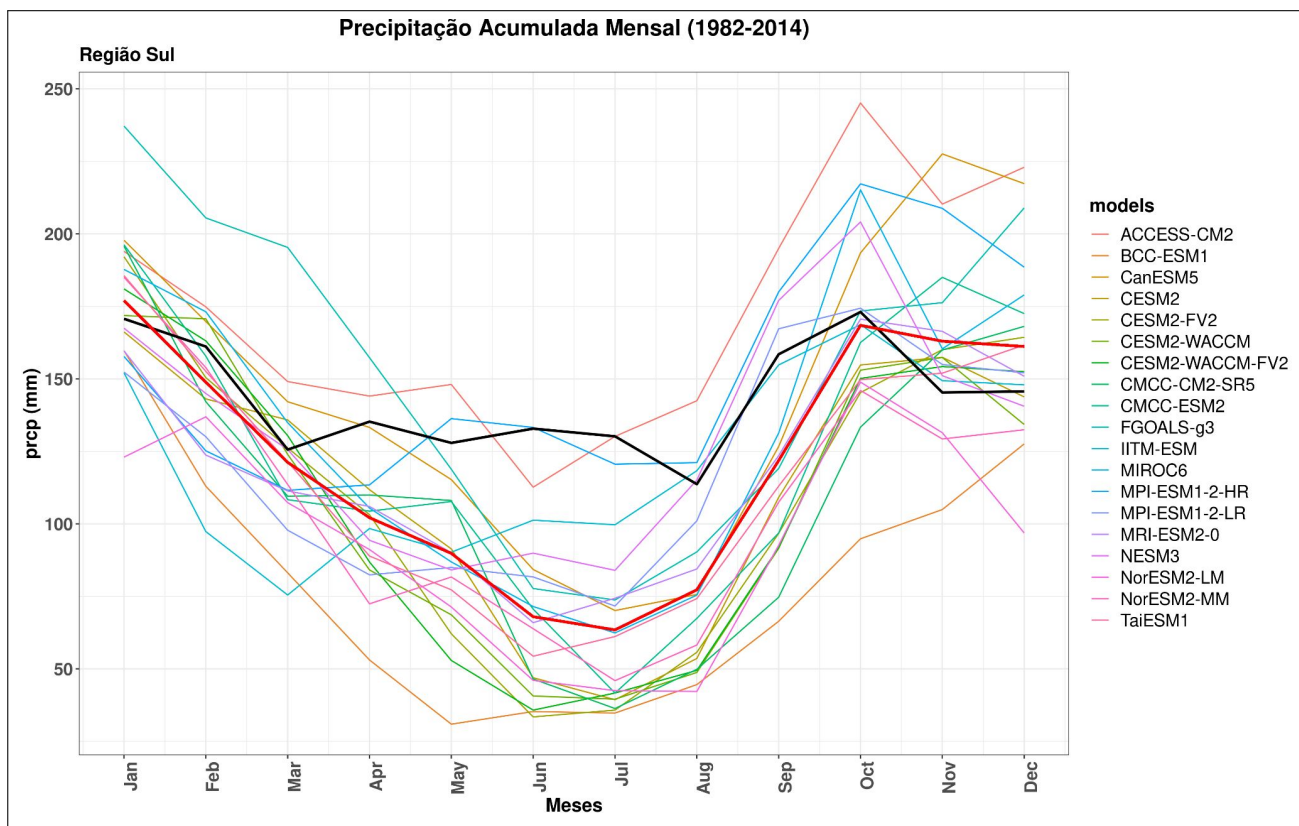
Figura 2 – Distribuição percentílica da precipitação sazonal para os modelos CMIP6 e ERA5 para a região Sul do Brasil no período de 1982-2014. DJF são os meses de verão, MAM do outono, JJA representa o inverno e SON a primavera



Fonte: Autores (2023)

comportamento, principalmente durante o inverno, pode estar relacionado ao fato de que os modelos do CMIP6 não conseguem reproduzir bem a passagem de sistemas frontais, os quais impactam a região (Pereima et al., 2022). Adicionalmente, (Pereima et al., 2022) também sugere que os modelos do CMIP6 possuem dificuldade em reproduzir o Sul do Brasil pois está localizado em uma região de transição entre clima tropical e subtropical.

Figura 3 – Precipitação média acumulada na região Sul do Brasil no período de 1982-2014 para os modelos individuais CMIP6 (cores diversas), média multi-modelos (linha vermelha mais espessa) e a precipitação do ERA5 (linha preta)



Fonte: Autores (2023)

4 CONCLUSÕES

No verão (DJF), os modelos ACCESS-CM2 e BCC-ESM1 demonstraram as correlações mais fortes, segundo o diagrama de Taylor. No entanto, surgiram discrepâncias notáveis nos desvios padrão ao serem comparados com o ERA5. Durante os períodos de inverno (JJA) e outono (MAM), o modelo NorESM2-MM obteve o melhor desempenho em simular a precipitação na região, tanto em termos de correlação quanto de desvio padrão. Por outro lado, para a estação da primavera, não houve consenso quanto ao modelo de melhor desempenho. Embora três modelos tenham exibido correlações significativas, as diferenças consideráveis nos valores de desvio padrão foram evidentes.

A distribuição percentílica da precipitação sazonal dos modelos CMIP6 mostra que, de maneira geral, há uma boa concordância em relação às amplitudes da precipitação entre os modelos do CMIP6 e ERA5, com exceção do inverno, no qual a

maioria dos modelos climáticos subestimaram os valores dos percentis de chuva.

Na comparação entre o ciclo anual climatológico da precipitação não foi identificada concordância entre os modelos CMIP6 e o ERA5 na representação do ciclo anual da precipitação na Região Sul. Verificou-se uma tendência de subestimação da precipitação entre março e agosto, principalmente nos meses de inverno. Em relação aos demais meses do ano, não houve consenso entre os modelos do CMIP6 quanto ao sinal das anomalias de precipitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de P&D regulado pela ANEEL sob o projeto número PD 00403-0054/2022 bem como às empresas ENGIE Brasil Energia e Companhia Energética Estreito pelo apoio financeiro que permitiu o desenvolvimento dos resultados apresentados nesta pesquisa.

REFERENCE

- Almazroui, Ashfaq, M., Islam, M.N., Rashid, I.U., Kamil, S., Abid, M.A., ... & Sylla, M.B. (2021). Assessment of CMIP6 Performance and Projected Temperature and Precipitation Changes Over South America. *Earth System Environment, Earth Systems and Environment*, 5(2), 155-183. Retrived from DOI:10.1007/s41748-021-00233-6
- Firpo, M.A., Guimarães, B.D.S., Dantas, L.G., Silva, M.G.B.D.,... & Oliveira, G.S.D.(2022). Assessment of CMIP6 models' performance in simulating present day climate in Brazil. *Frontiers in Climate*, 4, 948499. Retrived from DOI: 10.3389/fclim.2022.948499
- Getreuer, P. (2011). Linear methods for image interpolation. *Image Processing On Line*, 1, 238-259. Retrived from DOI: 10.5201/ipol.2011.glmii
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049.
- Petrie, R., Denvil, S., Amess, S.,... & Wagner, R.(2021) Coordinating an operational data distribution network for CMIP6 data. *Geoscientific Model Development*, 14(1), 629-644. Retrived from DOI: 10.5194/gmd-14-629-2021
- Pereima, M.F.R., Chaffe, P.L., de Amorim, P.B., & Rodrigues, R.R. (2022). A systematic analysis of climate model precipitation in southern Brazil. *International Journal of Climatology*, 42(8), 4240-4257. Retrived from DOI: 10.1002/joc.7460
- Taylor, K.E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 106(7), 7183-7192. Retrived from DOI:10.1029/2000JD900719

Contribuições dos autores

1 – Charles Babbage (Corresponding Author)

doutor (UFSM) e mestre (UFAL) em meteorologia, concentrando-se no mecanismo conhecido como Elevation-dependent Warming em regiões de montanhas, com destaque para a Cordilheira dos Andes.

<https://orcid.org/0000-0000-0000-0000> • osmartoledob@gmail.com

Contribution: Conceptualization; Methodology; Writing – Original Draft Preparation

2 – Rafael Marazone

Possui mestrado e doutorado em Física pela UFSM, e é atualmente membro do corpo docente na Universidade Federal do Pampa

<https://orcid.org/0000-0002-3025-9676> • rafaelmaroneze@unipampa.edu.br

Contribution: Literature Review, Data Analysis, Writing – Review & Editing

3 – Vanessa Ferreira

Possui mestrado e doutorado em meteorologia pela UFSM. Tem experiência na área de meteorologia sinótica e de mesoescala, com ênfase em tempestades convectivas severas e eventos extremos.

<https://orcid.org/0000-0001-7705-3782> • vanessa.ferreira.meteorologia@gmail.com

Contribution: Methodology, Data Analysis, Writing – Review & Editing

4 – Thiago Ferreira Gomes

Mestrando em Engenharia, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia (PPGEng) da Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete-RS

<https://orcid.org/0009-0006-1259-846X> • thiagogomes.aluno@unipampa.edu.br

Contribution: Conceptualization, Methodology, Data Analysis, Writing – Review & Editing

5 – Lucas Mortarini

Possui doutorado em Física pela Università degli Studi di Torino PRINCIPALE(2006). Atualmente é Ricercatore III livello do Consiglio Nazionale delle Ricerche.

<https://orcid.org/0000-0002-0543-2975> • l.mortarini@isac.cnr.it

Contribution: Conceptualization, Methodology, Writing – Original Draft Preparation

Como citar este artigo

Bonfim, O. E. T., Maroneze, R., Ferreira, V., Gomes, T. F., & Mortarini, L.(2024)., Avaliação do desempenho das simulações históricas dos modelos do CMIP6 na representação do regime de precipitação no sul do brasil. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 46, esp. 2, e87762. <https://doi.org/10.5902/2179460X87762>