

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

AVALIAÇÃO DE TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO E DA TEMPERATURA SOBRE O BRASIL UTILIZANDO DADOS GPCC E CRU (1970–2020)

Reginaldo Moura Brasil Neto^{1}; Celso Augusto Guimarães Santos^{2,4}; Richarde Marques da Silva³
& Gabriel de Oliveira⁴*

Resumo: Diante das mudanças climáticas que afetam o planeta, estudos voltados à análise de tendências em séries temporais de precipitação e temperatura do ar tornam-se cada vez mais comuns e relevantes para o manejo dos recursos hídricos. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar as tendências da precipitação e da temperatura do ar no Brasil entre 1970 e 2020, com base nos testes não paramétricos de Mann-Kendall e na estimativa de Sen. Para isso, foram utilizadas 3.090 séries temporais de precipitação provenientes do GPCC (*Global Precipitation Climatology Centre*) e 3.090 séries de temperatura do ar do CRU (*Climatic Research Unit*), cada uma contendo dados mensais de 1970 a 2020. Os resultados indicam alta variabilidade nas tendências das séries de precipitação, enquanto as séries de temperatura apresentaram tendência predominantemente positiva. Nos meses de janeiro, junho, agosto, setembro e outubro, observou-se tendência de diminuição da precipitação e aumento da temperatura em diversas regiões, configurando os cenários mais preocupantes das análises. Estudos dessa natureza são de grande relevância e devem ser continuamente realizados, de modo a subsidiar outras aplicações relacionadas à gestão dos recursos hídricos.

Palavras-Chave – Brasil; Análise de tendência; Variabilidade climática.

EVALUATION OF PRECIPITATION AND TEMPERATURE TRENDS OVER BRAZIL USING GPCC AND CRU DATASET (1970–2020)

Abstract: In light of the climate changes affecting the planet, studies analyzing trends in precipitation and air temperature time series have become increasingly common and essential for the management of water resources. Accordingly, the objective of this study is to evaluate trends in precipitation and air temperature over Brazil between 1970 and 2020 using the non-parametric Mann-Kendall and Sen's slope estimator tests. For this purpose, 3,090 precipitation time series from the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) and 3,090 air temperature time series from the Climatic Research Unit (CRU) were used, each comprising monthly data from 1970 to 2020. The results reveal high variability in precipitation trends, while air temperature trends were predominantly positive. In January, June, August, September, and October, a tendency toward decreasing precipitation and increasing air temperature was observed in several regions, representing the most concerning patterns

1) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, CT, João Pessoa – PB, regismouraneto@hotmail.com

2) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, CT, João Pessoa – PB, celsao@ct.ufpb.br

3) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Geociências, CCEN, João Pessoa – PB, richarde@geociencias.ufpb.br

4) University of South Alabama, Stokes School of Marine and Environmental Sciences, Mobile – AL, deoliveira@southalabama.edu;
santos@southalabama.edu

* Autor Correspondente

identified. Studies of this nature are crucial and should be continued to support broader applications related to water resource management.

Keywords – Brazil; Trend analysis; Climate variability.

INTRODUÇÃO

Avaliar tendências de séries temporais é um passo importante para o desenvolvimento de vários estudos, pois garante aos pesquisadores entendimento amplo sobre o comportamento futuro de diferentes variáveis. Nesse sentido, séries históricas de variáveis climatológicas, meteorológicas e hidrológicas têm sido avaliadas recentemente, dando maior segurança aos estudiosos no tocante às tomadas de decisão e manejo dos recursos hídricos. Diante da variabilidade dos recursos naturais, o desenvolvimento de estudos que envolvem a utilização de técnicas não paramétricas é mais usual no processo de avaliação de tendências e dentre as técnicas disponíveis os testes de Mann-Kendall e de Sen são os mais populares (Santos *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2019; Brasil Neto *et al.*, 2021).

Todavia, para analisar as séries históricas são necessárias redes de dados robustas capazes de captar o regime de características de cada região. No Brasil, essa atividade é complicada em função da dimensão territorial do país, das diversidades climáticas e físicas e da existência de uma rede de monitoramento com falhas em sua composição (Pereira *et al.*, 2013; Curtarelli *et al.*, 2014). Frente a esse desafio, o uso de bancos de dados de reanálise aparece como uma fonte de monitoramento para a variabilidade espaço-temporal da precipitação e da temperatura, variáveis de extrema importância para entendimento dos recursos hídricos. Dentre essas bases de dados, destacam-se principalmente a base do GPCC (*Global Precipitation Climatology Centre*) e a do CRU (*Climatic Research Unit*).

Apesar da importância, destaca-se que ainda há carência de estudos mais detalhados sobre o Brasil que sejam capazes de avaliar as tendências da precipitação e da temperatura do ar nos últimos anos. No mais, pontua-se que as mudanças climáticas que atingem o nosso planeta são um grande desafio ambiental e vários fenômenos extremos ocorrem de modo severo e recorrente em diferentes regiões do mundo. Frente a situação, o objetivo desse trabalho é avaliar tendências da precipitação e da temperatura do ar sobre o Brasil entre 1970 e 2019 utilizando dados estimados pelo GPCC e pelo CRU.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo desta pesquisa é o Brasil, país com mais de oito milhões de quilômetros quadrados e que ocupa a posição de quinto maior país do mundo em área territorial. Limitado pelas latitudes 5°16'20"N e 33°45'03"S e longitudes 73°59'32"O e 34°47'30"O, o país faz fronteira com o Oceano Atlântico (à leste) e com todos os outros países da América do Sul, à exceção do Chile e do Equador. Com população que ultrapassa os 213 milhões de habitantes (IBGE, 2023), o Brasil é composto por 27 unidades federativas que estão divididas em cinco grandes regiões de acordo com vários aspectos naturais, sociais, culturais e econômicos, sendo elas: o Norte (N), o Nordeste (NE), o Centro-Oeste (CW), o Sudeste (SE) e o Sul (S) (Figura 1). Com dimensões continentais, o Brasil tem elevada variabilidade em termos de topografia, biodiversidade, climas e padrões de precipitação e de temperatura (Rozante *et al.*, 2018).

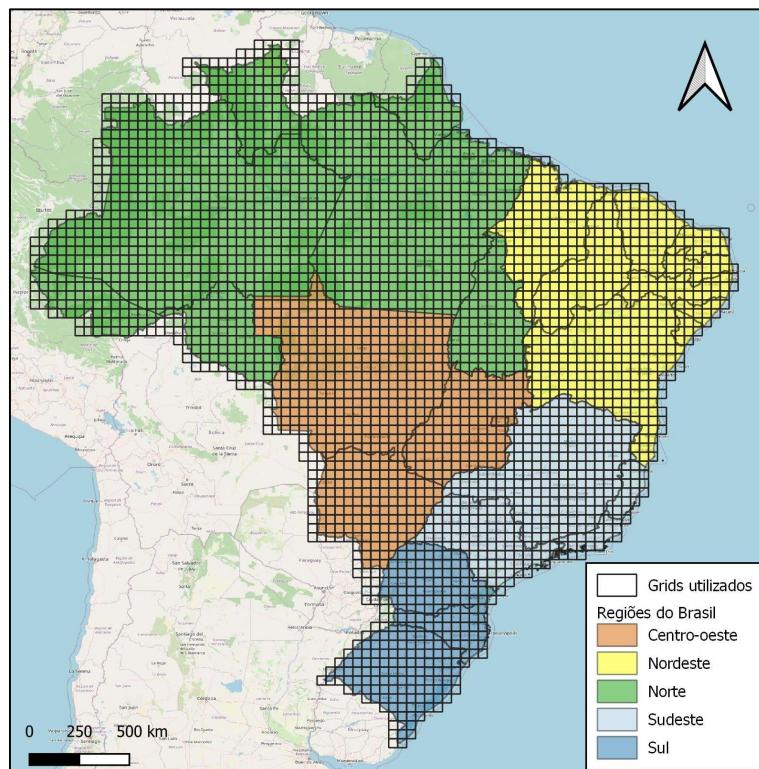


Figura 1 - Localização do Brasil com suas mesorregiões e localização da grade do GPCC e CRU.

Dados de precipitação

Para monitorar o comportamento espaço-temporal da precipitação usando séries estimadas, completas e igualmente distribuídas sobre o Brasil, os dados do *GPCC Full Data Monthly Product Version 2020* foram utilizados (Schneider *et al.*, 2020). Neste trabalho, a área de estudo foi dividida em 3,090 séries espaçadas pelo Brasil e seus arredores, cujo centroides variam das latitudes 5.25°N à 33.75°S e das longitudes 73.75°O à 34.75°O. Cada uma das séries é composta por acumulados de precipitação mensal de janeiro de 1970 até dezembro de 2019, com resolução espacial de 0.50°. Os dados de precipitação utilizados neste trabalho foram obtidos gratuitamente e podem ser acessados a partir do link http://dx.doi.org/10.5676/DWD_GPCC/Clim_M_V2020_050.

Dados de temperatura

Para caracterizar o padrão espaço-temporal da temperatura do ar utilizando séries temporais sobre o Brasil, o banco de dados do *Climate Research Unit Time Series v.4.04* foi utilizado (Harris *et al.*, 2020). Os dados de temperatura são mensais, compreendem o período de janeiro de 1970 até dezembro de 2019 e tem resolução espacial de 0.50°, tal como empregado no caso dos dados de precipitação do GPCC, para evitar processo de interpolação. Os dados foram obtidos gratuitamente e podem ser acessados a partir do link <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>.

Teste de tendências

No geral, para identificar se há ou não uma tendência estatisticamente significante, o método proposto por Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall 1975) se baseia na comparação da hipótese nula H_0 , de que não há tendência, contra a hipótese não nula H_1 , de que há tendência positiva ou negativa na série de dados. Para computar a existência da tendência, o teste considera a sequência de valores da série analisada e através dessa comparação sequencial, estima-se se há indícios que a série tenha

tendência positiva ou negativa. Por outro lado, verificada a existência da tendência, o teste de Sen (1968) foi empregado para computar a magnitude dessas tendências a partir de um modelo linear.

Neste trabalho, todas as séries de precipitação e de temperatura do ar foram avaliadas a nível mensal. Desse modo, ao considerar o comportamento de cada mês, foram avaliadas as tendências de mais de 70.000 séries (3.090 grids × 12 meses × 2 tipos) contendo cada uma 50 valores (referentes a cada ano). Os resultados foram espacializados e foi feita a avaliação da relação entre os resultados das tendências de precipitação e de temperatura através de gráficos de dispersão. Mais detalhes quanto os testes de Mann Kendall e Sen podem ser encontrados em Santos *et al.* (2018) e Santos *et al.* (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a distribuição espacial da declividade de Sen das séries de precipitação em cada mês sobre o Brasil entre 1970 e 2019. Os resultados indicam que há grande variabilidade entre os valores de declividade dentre os meses e dentre as regiões do Brasil. Em geral, a região Norte foi a que apresentou maior variabilidade de resultados, com regiões com declividades de Sen positivas e negativas em níveis expressivos. Entre os meses de dezembro e abril, grande parte do Amazonas e do Pará apresentaram tendências positivas, indicando que a precipitação tende a aumentar em cerca de 25mm em dez anos. Por outro lado, no norte do Mato Grosso e na maior parte de Rondônia, as declividades foram expressivamente negativas, indicando queda da precipitação em níveis elevados.

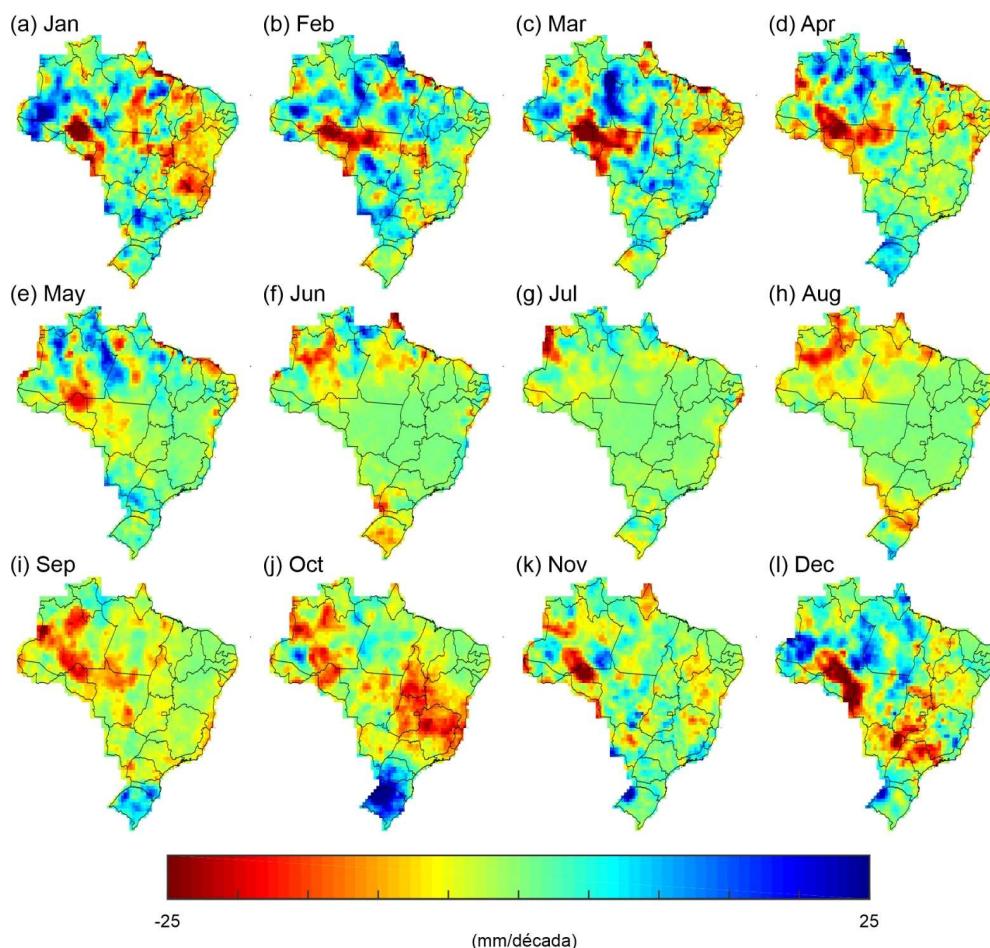


Figura 2 – Distribuição espacial da declividade de Sen com base nas séries de precipitação sobre o Brasil (1970–2020).

Entre maio e agosto, os resultados na maior parte do país indicam que a precipitação não irá se alterar consideravelmente a longo prazo. Nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, os valores de Sen não foram expressivos e as declividades foram basicamente nulas. De todo modo, destaca-se o padrão de queda da precipitação do norte do Amazonas e em Roraima. Em setembro, outubro e novembro, grande parte do Brasil apresentou tendências negativas. Na região limítrofe do Nordeste e do Sudeste as declividades apontam para uma queda na precipitação mensal em torno de 20mm por mês na próxima década. Ademais, destaca-se o comportamento particular no sul do país, onde foi verificado um aumento considerável da precipitação especialmente em outubro.

De modo análogo ao que foi desenvolvido para as séries de precipitação, a Figura 3 mostra a distribuição espacial da declividade de Sen das séries de temperatura em cada mês sobre o Brasil entre 1970 e 2019. Diferentemente do que foi obtido na Figura 2, os resultados da Figura 3 mostram que as tendências tendem a ser predominantemente negativas na maior parte do Brasil e em todos os meses do ano. De novembro a até junho, nota-se certa similaridade entre os valores de declividade, tendo sido a região central do Brasil a que tendeu a apresentar as declividades mais expressivas. Por outro lado, entre os meses de julho a outubro, percebe-se que a temperatura tende a aumentar ainda mais, podendo ultrapassar a ordem de 0.5°C em cerca de dez anos em grande parte do país.

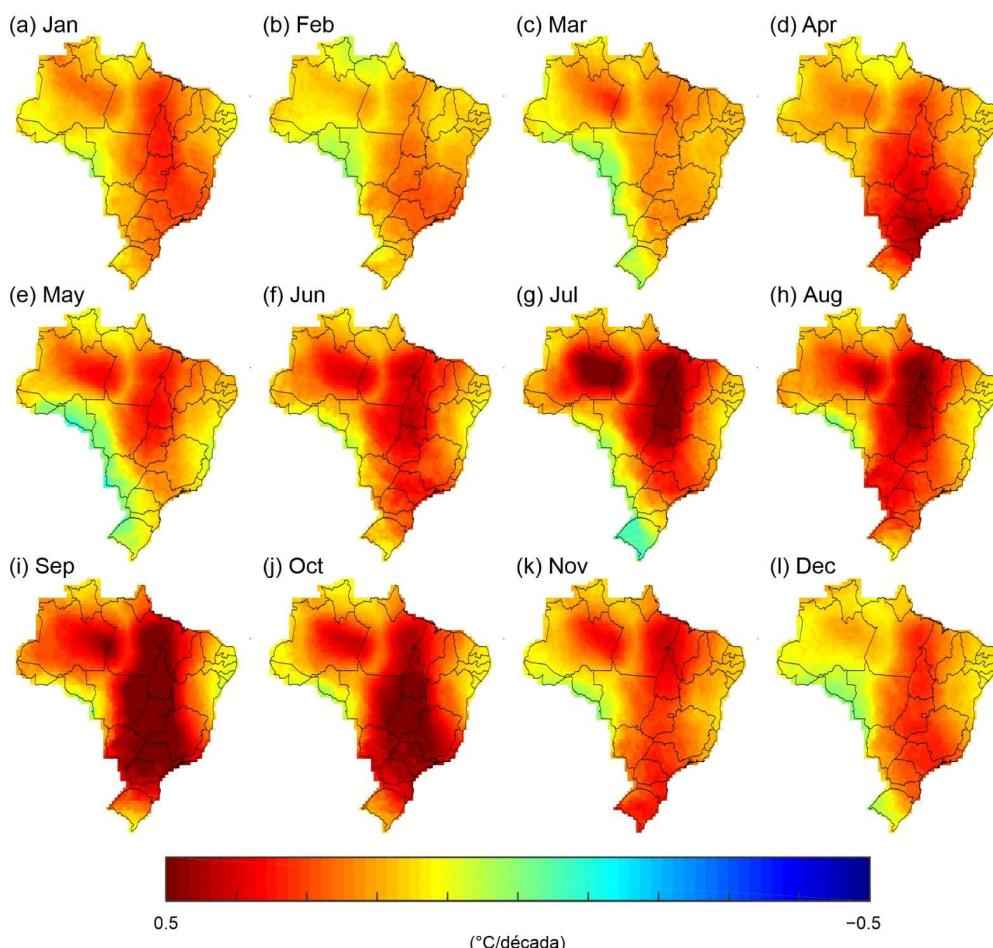


Figura 3 – Distribuição espacial da declividade de Sen com base nas séries de temperatura sobre o Brasil (1970–2020).

Em geral, é preciso pontuar os resultados no litoral da região Sudeste no mês de abril, e entre os meses de setembro e outubro. Amazonas e Tocantins foram os estados brasileiros que, em geral,

indicaram que as temperaturas tendem a subir mais ao longo do tempo, tendo sido esse evento mais notório em julho e agosto. Em setembro e outubro, vários estados tiveram tendências mais negativas e isso se expandiu por todo Brasil, atingindo praticamente todas as regiões. Além disso, observou-se que as zonas que estão sobre a linha de 50°O apresentaram as declividades mais acentuadas. Desse modo, sugere-se que outros estudos futuros possam identificar se esse padrão é observado em outras regiões do mundo ou se é uma particularidade dos dados utilizados e do Brasil.

Por fim, a Figura 4 mostra os gráficos de dispersão realizados a partir das declividades de Sen das séries de precipitação e temperatura do ar em cada mês sobre o Brasil entre 1970 e 2019. Nesse caso, os valores de declividade de Sen computados a partir das séries de precipitação (eixo X) estão relacionados aos valores de declividade computados a partir das séries de temperatura (eixo Y). A intenção da figura é avaliar se existe uma relação direta entre o aumento (ou queda) da declividade da precipitação e a declividade da temperatura. Desse modo, cada figura contempla 3.090 dados que estão espalhados ao longo dos eixos. Grosso modo, não se pode afirmar que existe relação direta e notória entre as declividades de precipitação e temperatura em todos os meses.

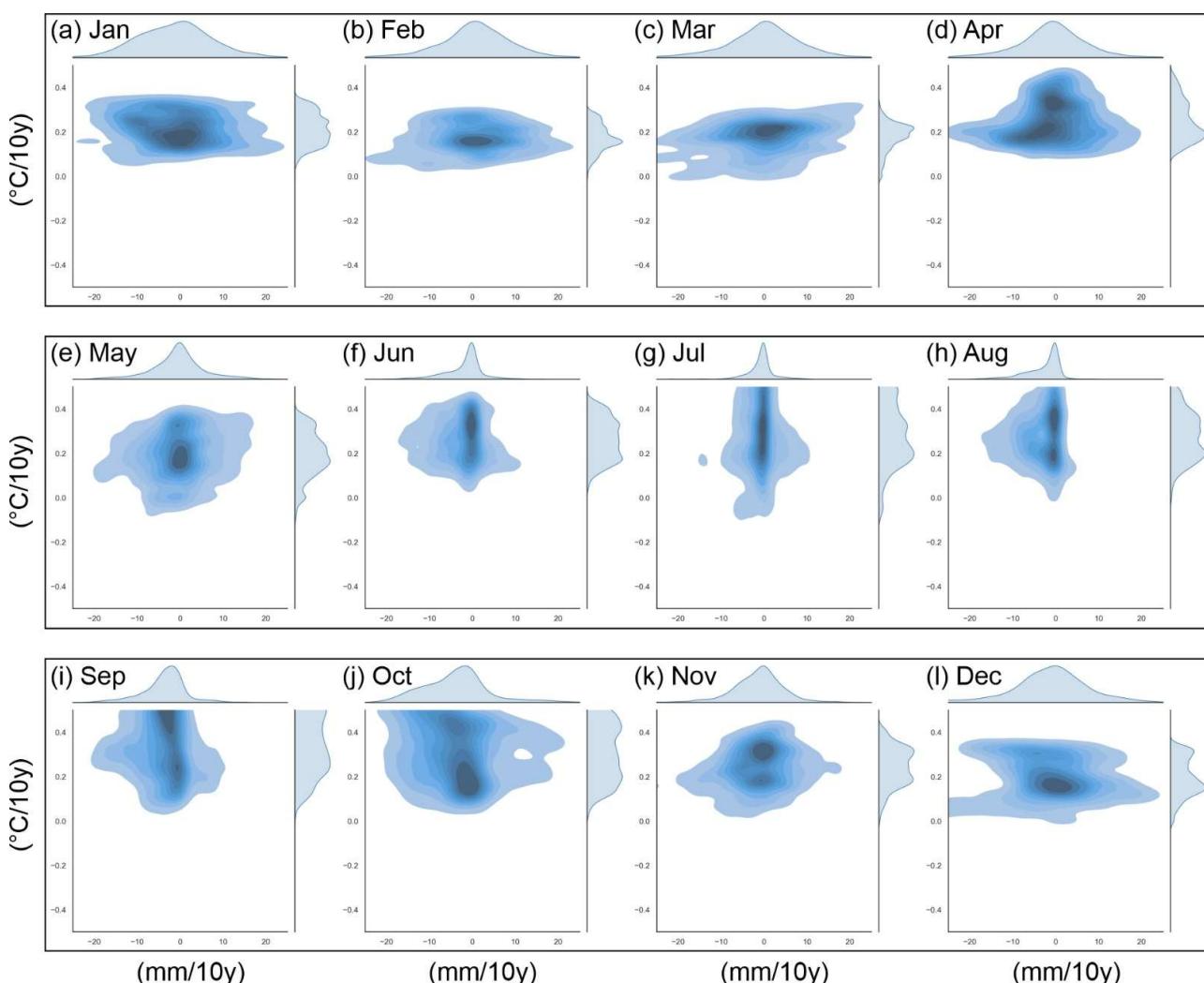


Figura 4 – Relação entre a declividade de Sen da precipitação e da temperatura sobre o Brasil (1970–2020).

Em janeiro, junho, agosto, setembro e outubro, há concentração de grids onde a precipitação tendeu a cair, e onde houve aumento da temperatura média do ar, o que caracteriza a condição mais

crítica. Crítica, neste caso, porque a situação aponta para a diminuição da precipitação, considerada a principal fonte de entrada do ciclo hidrológico, e para aumento da temperatura do ar, que de certo modo influencia a evapotranspiração potencial. Por outro lado, fevereiro, março, maio, novembro e dezembro, foram meses em que mais regiões tiveram tendências de precipitação e de temperatura do ar positivas. Em abril e julho, não foi possível identificar uma relação tão expressiva.

CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi avaliar as tendências da precipitação e da temperatura sobre o Brasil entre 1970 e 2019 utilizando dados estimados pelo GPCC e pelo CRU. Os resultados indicam que há grande variabilidade das declividades das séries de precipitação dentre os meses e dentre as regiões do Brasil, mas para as séries de temperatura do ar há uma predominância de declividades negativas em termos espaço-temporais. Rondônia foi o estado brasileiro onde a precipitação tendeu a cair mais em grande parte dos meses, enquanto na região Sul como um todo a precipitação tendeu a aumentar, especialmente nos meses de setembro e outubro.

Por outro lado, os estados do Amazonas e Tocantins foram as regiões em que a temperatura do ar mais tende a aumentar mais ao longo dos meses. No geral, entre setembro e outubro, grande parte do Brasil tenderá a apresentar maiores temperaturas. Ao realizar uma análise conjunta, nota-se que janeiro, junho, agosto, setembro e outubro foram os meses em que a precipitação tendeu a cair e a temperatura tendeu a aumentar em diversas regiões, o que faz necessário um alerta à população. Conclui-se, por fim, que os dados utilizados têm grande valor no processo de análises de tendências em regiões extensas e remotas, como é o caso do Brasil, e que estudos desse tipo devem continuar a ser estimulados para auxiliar outras aplicações relacionadas aos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem, com reconhecimento, o apoio financeiro concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Processos nº 313358/2021-4, 309330/2021-1, 409800/2022-8 e 443905/2023-1). Agradece-se também ao GPCC e ao CRU pela disponibilização dos dados utilizados neste estudo. Financiamento adicional foi fornecido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Código de Financiamento 001) e pela Universidade Federal da Paraíba, instituições que contribuíram para a realização bem-sucedida desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BRASIL NETO, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, J.F.C.B.C.; SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.C.; MISHRA, M. (2021). “Evaluation of the TRMM product for monitoring drought over Paraíba State, northeastern Brazil: A trend analysis”. *Scientific Reports* 11, pp. 1097.
- CURTARELLI, M.P.; RENNO, C.D.; ALCANTARA, E.H. (2014). “Evaluation of the Tropical Rainfall Measuring Mission 3B43 product over an inland area in Brazil and the effects of satellite boost on rainfall estimates”. *Journal of Applied Remote Sensing* 8(14), pp. 1–14.
- HARRIS, I.; OSBORN, T.J.; JONES, P.; LISTER, D. (2020). “Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset”. *Scientific Data* 7, pp. 109.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2021. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>. Acesso em: fev. de 2023.

KENDALL, M.G. (1975). *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin, London, 220 p.

MANN, H.B. (1945). “*Nonparametric Tests Against Trend*”. *Econometrica* 13(3), pp. 245–259.

PEREIRA, G.; SILVA, M.E.S.; MORAES, E.C.; CARDozo, F.S. (2013). “*Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil*”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 18(3), pp. 139–148.

ROZANTE, J.R.; VILA, D.A.; CHIQUETTO, J.B.; FERNANDES, A.A.; ALVIM, D.S. (2018). “*Evaluation of TRMM/GPM Blended Daily Products over Brazil*”. *Remote Sensing* 10(6), pp. 882–898.

SANTOS, C.A.G.; BRASIL NETO, R.M.; SILVA, R.M.; PASSOS, J.S.A. (2018). “*Integrated spatiotemporal trends using TRMM 3B42 data for the Upper São Francisco River basin, Brazil*”. *Environmental Monitoring and Assessment* 190(3), pp. 175–194.

SANTOS, C.A.G.; BRASIL NETO, R.M.; SILVA, R.M.; SANTOS, D.C. (2019). “*Innovative approach for geospatial drought severity classification: a case study of Paraíba state, Brazil*”. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 33(2), pp. 545–562.

SCHNEIDER, U.; BECKER, A.; FINGER, P.; RUSTEMEIER, E.; ZIESE, M. (2020). “*GPCC Full Data Monthly Product Version 2020 at 0.5°: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historical Data*”.

SEN, P.K. (1968). “*Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau*”. *Journal of the American Statistical Association* 63(324), pp. 1379–1389.