



TENDÊNCIAS E ANOMALIAS DAS PRECIPITAÇÕES EXTREMAS NA REGIÃO METROPOLITANA DA BAIXADA SANTISTA

Matheus Gomes Tavares ¹; José Antonio Marengo ²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, CPTEC, Cachoeira Paulista, SP, Brasil.

matheus.tavares@inpe.br

<https://orcid.org/0000-0002-5693-5484>

² Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, CEMADEN, São José dos Campos, SP, Brasil.

jose.marengo@cemaden.gov.br

<https://orcid.org/0000-0001-8578-7639>

RESUMEN. Este estudio investigó las tendencias y anomalías de las precipitaciones extremas en el Región Metropolitana de la Baixada Santista (RMBS) desde 1981 hasta 2021, utilizando datos de precipitación diaria de *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS). Para el cálculo de las anomalías se utilizaron los datos diarios del Reanálisis ERA5 (Quinta Generación de Reanálisis Atmosférica) y se aplicó la prueba de Mann-Kendall para analizar las tendencias de los extremos, con un nivel de significancia del 95%. Los índices climáticos ayudaron a evaluar la intensidad y frecuencia de estos eventos. Se analizaron las anomalías en los períodos seco y lluvioso, comparando el presente con el pasado. Las regiones central y septentrional de la RMBS se identificaron como las más vulnerables, con aumentos significativos en días consecutivos con y sin precipitaciones, y tendencias positivas en las acumulaciones de 5 días de precipitación máxima. Las anomalías indicaron un aumento de la temperatura superficial del mar y una mayor ocurrencia de sistemas de baja presión, especialmente en la estación lluviosa, lo que sugiere una propensión a precipitaciones más extremas. Estos resultados son esenciales para entender el comportamiento meteorológico de la región y contribuir a las medidas preventivas y de adaptación al cambio climático y a los desastres naturales.

Palabras-clave: Índices Climáticos; Período Lluvioso; Período seco; Anomalías.

RESUMO. Este estudo investigou tendências e anomalias das precipitações extremas na Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS) de 1981 a 2021, utilizando dados diários de precipitação do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS). Para calcular as anomalias, foram usados dados diários da Reanálise do ERA5 (Quinta Geração de Reanálise Atmosférica), e o Teste de Mann-Kendall foi aplicado para analisar as tendências dos extremos, com um nível de significância de 95%. Índices climáticos ajudaram a avaliar a intensidade e frequência desses eventos. Analisaram-se as anomalias nos períodos seco e chuvoso, comparando o presente com o passado. A região central e norte da RMBS foram identificadas como as mais vulneráveis, apresentando aumentos significativos em dias consecutivos com e sem precipitação, e tendências positivas em acumulados de 5 dias de precipitações máximas. As anomalias indicaram um aumento na temperatura da superfície do mar e maior ocorrência de sistemas de baixa pressão, principalmente no período chuvoso, sugerindo uma propensão a mais precipitações extremas. Esses resultados são essenciais para entender o comportamento meteorológico da região e contribuir para medidas preventivas e de adaptação às mudanças climáticas e desastres naturais.

Palavras-chave: Índices Climáticos; Período Chuvoso; Período Seco; Anomalias.

ABSTRACT. This study investigated trends and anomalies of extreme rainfall in the Baixada Santista Metropolitan Region (BSMR) from 1981 to 2021, using daily precipitation data from Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS). To calculate the anomalies, daily data from the ERA5 Reanalysis (Fifth Generation of Atmospheric Reanalysis) were used, and the Mann-Kendall test was applied to analyze the trends of the extremes, with a significance level of 95%. Climate indices helped assess the intensity and frequency of these events. Anomalies in the dry and rainy periods were analyzed, comparing the present with the past. The central and northern regions of the BSMR were identified as the most vulnerable, with significant increases in consecutive days with and without precipitation, and positive trends in 5-day accumulations of maximum precipitation. The anomalies indicated an increase in sea surface temperature and a greater occurrence of low-



pressure systems, especially in the rainy season, suggesting a propensity for more extreme precipitation. These results are essential to understand the meteorological behavior of the region and contribute to preventive measures and adaptation to climate change and natural disasters.

Keywords: Climate Indices; Rainy Period; Dry Period; Anomalies.

1. INTRODUÇÃO

Na Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS) a ocorrência de precipitações extremas está relacionada geralmente a eventos de meso e grande escala, em especial a dois tipos de perturbações atmosféricas: as Frentes Frias e a Zona de Convergência do Atlântico Sul. Esses sistemas, influenciados pelo fluxo de umidade da Amazônia, manifestam-se predominantemente durante o verão austral na região, deflagrando inundações e deslizamentos de terra e sendo responsáveis pela maior taxa de mortalidade na Baixada (Seluchi; Chou, 2009). Esta região tem uma grande importância estratégica e econômica para o Brasil, e para o estado de São Paulo, sendo necessários estudos mais aprofundados sobre sua dinâmica pluvial. Diante disso, o presente trabalho visou investigar as tendências e anomalias das precipitações extremas na Baixada Santista e fornecer informações detalhadas sobre os eventos pluviométricos totais e extremos que se deflagram sobre a região.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados de precipitação diária para realização deste estudo foram obtidos do projeto *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS) entre os anos de 1981 e 2021, com resoluções espaciais de 5 km (disponíveis em: <https://cds.climate.copernicus.eu>). Para validar os dados estimados pelo CHIRPS, procedeu-se da mesma forma que em trabalhos anteriores, como em Nogueira, Moreira e Volpato (2018), utilizando médias mensais de precipitação, neste caso, fornecidas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (disponíveis em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb>), onde foram selecionados 10 estações pluviométricas entre 1981 e 2014 com no máximo 10% de falhas. As informações dos dados do CHIRPS foram extraídas com auxílio do QGIS (Quantum GIS), e posteriormente foram tratadas no programa *RStudio*, onde foram calculados os erros e feitas as análises dos índices extremos.

Para análise das anomalias foram utilizados dados diários/horários de Reanálise do ERA5 (Quinta Geração de Reanálise Atmosférica) do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), obtidas entre os anos de 1981 e 2021 (Hersbach; Dee, 2016), sendo estes extraídos, tratados e analisados por meio do programa *Python*. Foram calculadas anomalias para o período seco e chuvoso, nas variáveis de TSM (Temperatura da Superfície do Mar), PT (Precipitação Total), PNM (Pressão ao Nível do Mar) e Temperatura do Ar em 2 metros (TA2), buscando compreender o comportamento dos dados no presente (2001-2021) em comparação ao passado (1981-2000) dentro do conjunto de dados (1981-2021). Adotou-se o percentil 95%, para valores extremos superiores, tornando-se mais representativo para eventos extremos de precipitação. A estimativa dos percentis foi baseada nos registros de precipitação que excediam 0 mm, excluindo, assim, os dias sem registro. Foram definidos índices climáticos como: CWD (dias consecutivos com precipitação), CDD (dias consecutivos sem precipitação), Rx1dia (precipitação máxima em 1 dia), Rx5dias (precipitação máxima acumulada em 5 dias consecutivos), R95P (percentil 95), PRCPTOT (precipitação total anual acumulada), no qual, foram detectadas as tendências estatisticamente significativas (ao nível de 5%) por meio da utilização do Teste de Mann-Kendall (Frich *et al.*, 2002). A área de estudo e distribuição dos

pontos de grade do CHIRPS são apresentados na Figura 1. O sinal da estatística de Mann-Kendall indicou se a tendência é crescente (maior que zero) ou decrescente (menor que zero). Para estimar a magnitude das tendências, foi utilizado o Estimador de Sen.

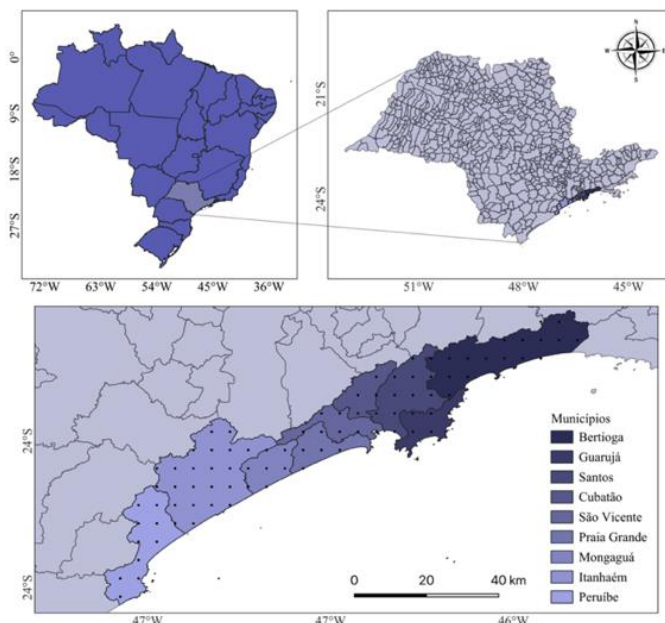


Figura 1. Mapa da Região Metropolitana da Baixada Santista e a distribuição dos 86 pontos de grade do CHIRPS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 (a), observa-se uma tendência positiva significativa (TPS) em toda a RMBS para o CDD (<1 mm/dia). Para o CWD (Figura 2 (b)), observa-se um grande contingente de TPS e tendências positivas não significativas (PNS) de aumento (Bertioga, Guarujá, Santos, Cubatão, São Vicente e Praia Grande) e negativas significativas (TNS) e não significativas (NNS) de redução (Praia Grande, Mongaguá e Itanhaém), com destaque para Guarujá e Santos que estão completamente preenchidas com TPS (ao nível de significância de 5%).

Na Figura 2 (c) observa-se que os maiores valores do P95 são concentrados na porção central da RMBS, em torno de 74 mm até >90 mm. Detecta-se também uma predominância de TNS, presente em pelo menos 1 ponto dentro de todos os municípios. Na Figura 2 (d) pode-se perceber uma TPS principalmente nos municípios de Bertioga, Guarujá, Santos, Cubatão, São Vicente e Praia Grande, com o município de Santos apresentando em toda sua extensão uma TPS na PRCPTOT. Observa-se valores acima de 2800 mm de precipitação acumulada em pontos no município de Bertioga. Na Figura 2 (e), para o Rx1dia, pode-se observar o grande número de pontos com TNS de pelo menos $-1,0$ mm/dia em alguns pontos podendo chegar a $-2,0$ mm/dia, com destaque para a região central e norte da RMBS. Para o Rx5dias na Figura 2 (f) há uma TNS persistente nos municípios mais ao sul da região (como Praia Grande, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe), porém há uma TPS para certos pontos nos municípios de Bertioga, Guarujá, Santos e Cubatão. Percebe-se que tanto no período chuvoso Figura 3 (d) quanto no período seco Figura 3 (a) há uma elevada anomalia de TSM. Elevando a quantidade de energia liberada na atmosfera, contribuindo diretamente para mais registros de precipitações extremas e constantes.

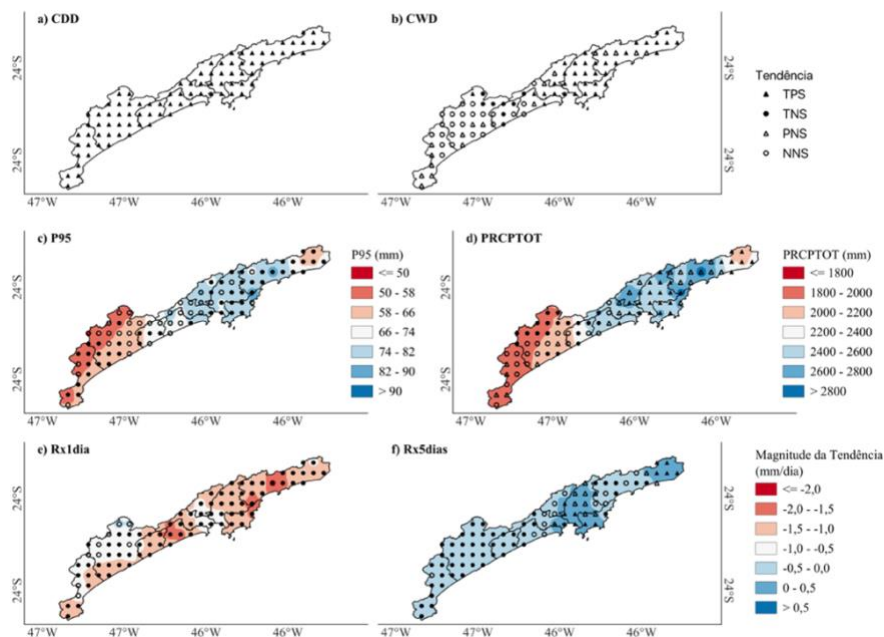


Figura 2. Tendências estatisticamente significativas (ao nível de significância de 5%) para os índices: CDD (a) e CWD (b), valores médios do P95 (c) e PRCPTOT (d), e magnitude das tendências para o índice de precipitação Rx1dia (e) e Rx5dias (f).

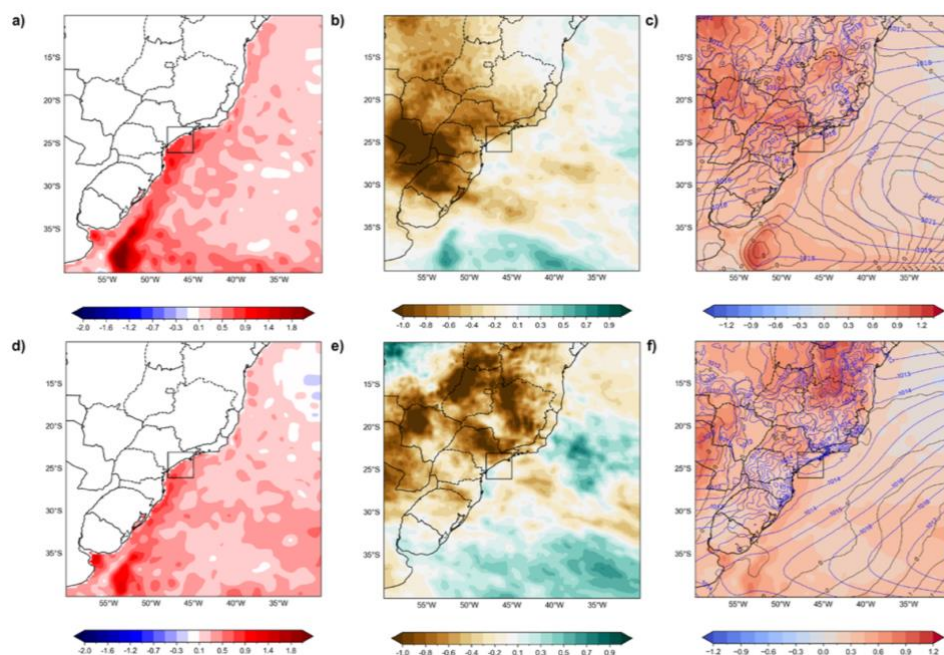


Figura 3. Anomalia da TSM (°C) para o período seco (a) e chuvoso (d), anomalia da PT para o período seco (b) e chuvoso (e) e anomalia da PNM (hPa, linhas pretas), TA2 (°C, sombreado) e PNM (hPa, linhas azuis) para o período seco (c) e chuvoso (f).

Percebe-se que, para a condição do período seco (Figura 3 (b)), são observadas anomalias negativas da PT, com uma redução em torno de -0,2 e -0,6 mm, o que pode ser entendido como um período pré-chuvoso significativamente deficiente em comparação a condições normais, assim como na Figura 3 (e) que apresenta uma anomalia de precipitação entre +0,1 e -0,2 mm



na RMBS. A elevada TA2 possui relação direta com as anomalias positivas de TSM. Pode-se observar uma concentração anômala de mais de $+0,4^{\circ}\text{C}$ na região de estudo. No período seco (Figura 3 (c)) percebe-se linhas de PNM com valores superiores aos presentes no período chuvoso, associadas a sistemas de alta pressão, indicando uma associação com condições atmosféricas mais estáveis, responsáveis por climas mais seco e ensolarados, diferente da Figura 3 (f) indicando um sistema de baixa pressão, levando a condições de precipitações mais intensas.

4. CONCLUSÕES

Os dados CHIRPS apresentaram valores consistentes e conseguiram fornecer resultados compatíveis com a região. Constatou-se que a região central e norte são as mais vulneráveis dentro da Baixada pelos índices climáticos extremos. O CDD e CWD apresentaram valores positivamente significativos. Os valores do Rx5dias apresentaram tendências positivas (principalmente na porção central), sendo estes possíveis causadores de desastres naturais. As anomalias na região indicaram aumento na TSM e sugerem um aumento na ocorrência de sistemas de baixa pressão (principalmente no período chuvoso), indicando propensão de ocorrência de precipitações extremas na região, decorrente de ventos mais quentes que sopram em direção à costa, perpendicular à Serra do Mar como já apontado em Marengo *et al.* (2024). Esses resultados são essenciais para compreender o comportamento meteorológico da RMBS e contribuem para a tomada de medidas preventivas e de adaptação às mudanças climáticas e desastres naturais na região.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN TANK, A. M. G.; PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, v. 19, n. 3, p. 193-212, 2002. DOI: [10.3354/cr019193](https://doi.org/10.3354/cr019193)
- HERSBACH, H.; DEE, D. J. E. N. ERA5 reanalysis is in production. **ECMWF Newsletter**, v. 147, n. 7, p. 5-6, 2016. DOI: <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/147/news/era5-reanalysis-production>
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; SELUCHI, M. E.; CAMARINHA, P. I.; DOLIF, G.; SPERLING, V. B.; ET AL. Heavy rains and hydrological disasters on February 18th-19th, 2023, in the city of Sao Sebastiao, Sao Paulo, Brazil: from meteorological causes to early warnings. **Natural Hazards**, v. 120, n. 9, p. 7997-8024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06558-5>
- NOGUEIRA, S. M. C.; MOREIRA, M. A.; VOLPATO, M. M. L. Evaluating precipitation estimates from ETA, TRMM and CHIRPS data in the South-Southeast region of Minas Gerais state-Brazil. **Remote Sensing**, v. 10, n. 2, p. 313, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10020313>
- SELUCHI, M. E.; CHOU, S. C. Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 98, p. 67-77, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0101-x>