

VARIABILIDADE E EXTREMOS CLIMÁTICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA PARAITINGA-PARAIBUNA: IMPACTOS NA VAZÃO DA REPRESA DE PARAIBUNA

ODS 6

João Guilherme Soares Calil (Universidade de Taubaté)

Rodrigo César da Silva (Universidade de Taubaté)

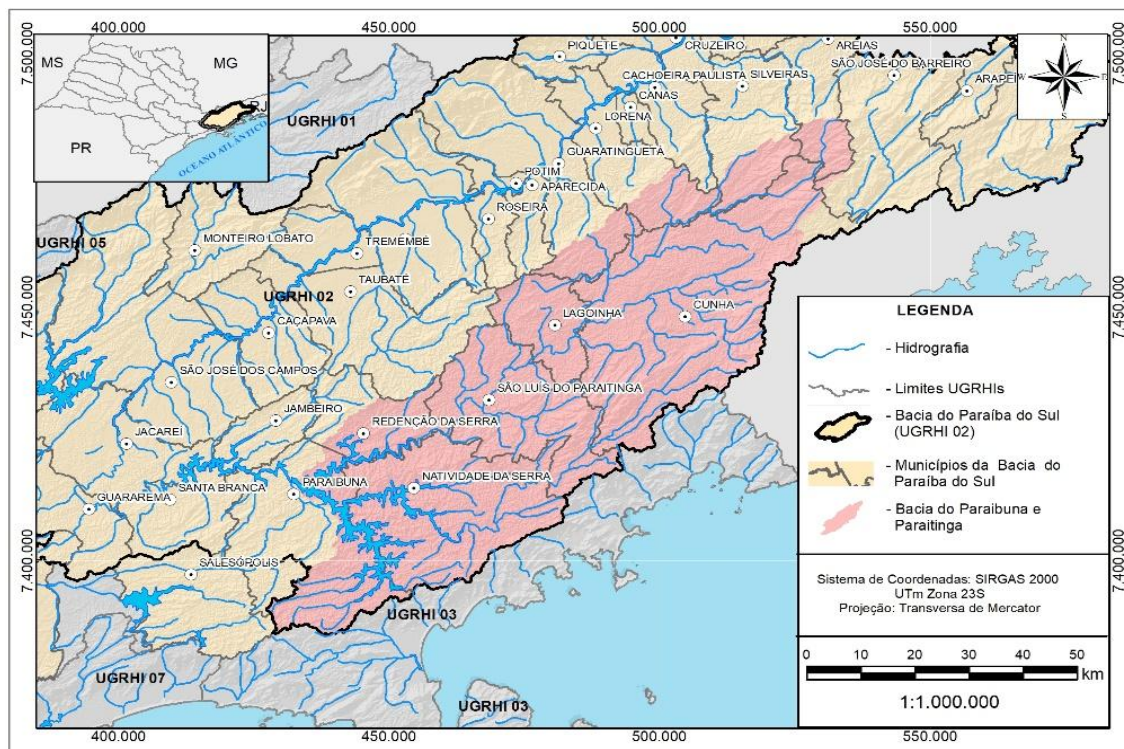
Introdução

As mudanças climáticas globais vêm alterando o ciclo hidrológico, intensificando a ocorrência de eventos extremos como secas prolongadas e chuvas intensas, com reflexos diretos na disponibilidade hídrica e na geração de energia. Tais alterações são particularmente críticas em regiões estratégicas para o abastecimento de água e produção de energia, como a bacia hidrográfica dos Rios Paraitinga-Paraibuna (Figura 1), que alimenta a represa de Paraibuna, localizada na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN). Eventos como as crises hídricas de 2001-2002 e 2014-2015 evidenciam a vulnerabilidade regional e a necessidade de compreender a relação entre variabilidade climática e recursos hídricos. Desta maneira, formula-se a seguinte pergunta de pesquisa: Qual é a correlação entre os eventos de seca de longo prazo e a redução da vazão afluente e defluente da represa de Paraibuna? Este estudo tem como objetivo geral analisar a correlação entre eventos de secas e ondas de calor e a vazão dos rios Paraitinga e Paraibuna na confluência com a represa de Paraibuna.

Revisão da Literatura

Estudos anteriores demonstram que as mudanças climáticas afetam diretamente a disponibilidade hídrica e a geração de energia (Marengo, 2008; IPCC, 2014). Na região Sudeste do Brasil, projeções indicam aumento de temperatura e alteração no regime de chuvas, com potencial para elevar a frequência de extremos climáticos (Santos; Fisch, 2016; Silva, 2019). A bacia em estudo já foi alvo de pesquisas que alertam para possíveis cenários de escassez hídrica a partir de 2030, reforçando a relevância de monitoramento contínuo e análise estatística de séries históricas. Trabalhos como os de McKee *et al.* (1993) e Costa *et al.* (2024) embasam o uso do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) como ferramenta eficaz para a quantificação de secas meteorológicas e hidrológicas.

Figura 1 - Localização das bacias do Paraibuna e Paraitinga



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Método

A pesquisa utilizará dados de precipitação, temperatura e umidade da RMVPLN, além outras variáveis climatológicas que se apresentarem necessárias aos resultados, utilizando séries de reanálise ERA5-Land, produzidos pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), disponível pelo portal do *Copernicus Climate Data Store* (CDS) (Munõz Sabater *et al.*, 2019). Em adicional, serão analisados de pluviometria e fluviometria, disponibilizados pelo Portal de Hidrologia do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE).

A análise estatística das séries temporais tem o objetivo de caracterizar o comportamento hidrológico do sistema. Será calculado o Índice de Precipitação Padronizada de 12 meses (SPI-12) para identificar secas hidrológicas de longo prazo, a partir da comparação dos resultados com a classificação de secas da *U.S. Drought Monitor* (USDM), conforme Tabela 1. Valores de SPI superiores a 1,0 indicam condições úmidas; valores entre 0,99 e -0,99 são considerados normais; entre -1,0 e -1,49 caracterizam seca

moderada; entre -1,5 e -1,99 indicam seca severa; e valores iguais ou inferiores a -2,0 correspondem a seca extrema.

Tabela 1 - Categorias de valores de SPI baseados no *U.S. Drought Monitor* (USDM)

Categoria	Valores SPI
Úmido	> 1
Sem seca	1 a -0,49
Anormalmente seco	-0,5 a -0,79
Seca moderada	-0,8 a -1,29
Seca severa	-1,3 a -1,59
Seca extrema	-1,6 a -1,99
Seca excepcional	≤ -2,0

Fonte: Adaptado de Costa *et al.* (2024, p. 666)

Posteriormente, o Coeficiente de Correlação de Pearson será aplicado para quantificar a força e a direção da relação linear entre o SPI-12 e as séries de vazão e nível do reservatório, para estabelecer a conexão entre condição climática de longo prazo e a resposta hidrológica do sistema. Em seguida, o teste de Mann-Kendall será utilizado para investigar a presença de tendências crescentes ou decrescentes significativas nas séries hidrológicas, indicado para análise de dados que não seguem necessariamente uma distribuição normal, já que se trata de um teste não paramétrico. Por fim, o teste de Pettitt, também não paramétrico, será implementado para detectar a ocorrência e localizar temporalmente pontos de mudança abrupta nas séries, caso exista uma tendência estatisticamente relevante, crucial para discriminar alterações graduais e instantâneas de regime.

A aplicação integrada destes três métodos permitirá uma análise abrangendo a relação entre os dados de nível do reservatório de Paraibuna e o indicador de seca SPI-12 (Correlação de Pearson), o teste de Mann-Kendall identificará a existência de uma tendência subjacente, e o teste de Pettitt determinará se essa tendência é gradual ou resultante de uma mudança de regime pontual, identificando seu momento exato.

Resultados Esperados

Espera-se identificar correlações significativas entre eventos de seca (SPI-12) e redução na vazão e no nível do reservatório. A detecção de tendências de longo prazo e

pontos de mudança na série histórica permitirá compreender melhor a resposta hidrológica da bacia aos extremos climáticos. Os resultados serão apresentados por meio de gráficos e tabelas, contribuindo para a gestão integrada de recursos hídricos na região.

Considerações Finais

A pesquisa fornecerá evidências científicas sobre os impactos da variabilidade climática na dinâmica hídrica da bacia Paraitinga-Paraibuna, subsidiando ações de adaptação e gestão sustentável dos recursos hídricos em um contexto de mudanças climáticas. Os resultados poderão auxiliar no planejamento energético e hídrico regional, aumentando a resiliência frente a eventos extremos, além de embasar medidas a serem implementadas visando o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, principalmente em relação a uso eficiente da água e gestão integrada de recursos hídricos.

Referências

- COSTA, Mabel Calim; MARENGO, José Antonio; ALVES, Lincoln Muniz; CUNHA, Ana Paula. Multiscale analysis of drought, heatwaves, and compound events in the Brazilian Pantanal in 2019–2021. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 155, n. 1, p. 661-677, 2024.
- IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press, 2014.
- MARENGO, José Antonio. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 83–96, 2008.
- MCKEE, Thomas B.; DOESKEN, Nolan J.; KLEIST, John. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: **Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology**, 1993. p. 179-183.
- MUÑOZ SABATER, Joaquin. **ERA5-Land hourly data from 1950 to present**. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2019. DOI: 10.24381/cds.e2161bac
- SANTOS, Thiago Adriano dos; FISCH, Gilberto. Temperatura e precipitação: futuros cenários do município de Taubaté, SP, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, 2016.
- SILVA, Rodrigo César da; FISH, Gilberto. Cenários hidroclimáticos futuros (2011-2040) para a represa de Paraibuna, SP, Brasil. **Geociências**, v. 38, n. 2, p. 587-597, 2019.