

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### ESTUDO DE ESTACIONARIEDADE NA SÉRIE HISTÓRICA DE PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO TIBAGI, PARANÁ

*Bruno Henrique Toná Juliani<sup>1</sup>; Isabela Arantes Ferreira<sup>2</sup>; Cristhiane Michiko Passos Okawa<sup>3</sup> &  
Antonio Carlos Zuffo<sup>4</sup>*

**RESUMO** – Séries temporais de variáveis hidrológicas podem apresentar comportamentos estacionários ou não estacionários. Este trabalho analisa a condição de estacionariedade da série histórica de precipitação da estação Tibagi, no Paraná, por meio da aplicação dos testes não-paramétricos de Mann-Kendall e Pettitt. Para o teste de Mann-Kendall, a estação apresentou uma estatística  $Z = 3,224$ , e um p-valor do teste de  $0,001264$ , rejeitando assim a hipótese nula de estacionariedade e 1% de significância, apresentando tendência positiva. Já para o teste de Pettitt, obteve-se uma estatística de 925, com p-valor de  $1 \times 10^{-4}$ , rejeitando também a hipótese nula a 1% de significância, e apontando uma mudança abrupta para o ano de 1971. Concluiu-se, então, que a série hidrológica de precipitação da estação Tibagi é uma série não estacionária.

**ABSTRACT** – Hydrologic time series may present stationary or non stationary behavior. This paper analyses the stationarity condition of a historical series of precipitation in the station of Tibagi, State of Paraná, through the application of the non parametric tests of Mann-Kendall and Pettitt. For the Mann-Kendall test, the station presented statistics of  $Z = 3,224$  and a p-value of  $0,001264$ , therefore rejecting the null hypothesis at 1% level of significance and presenting positive tendency. As for the Pettitt test, a statistic of 925 and a p-value of  $1 \times 10^{-4}$  were obtained, also rejecting the null hypothesis also at 1% level of significance, pointing to an abrupt change in the year of 1971. In conclusion, the historical series of precipitation in the station of Tibagi is a non stationary series.

**Palavras-Chave** – Estacionariedade de séries pluviométricas. Teste de Mann-Kendall. Teste de Pettitt.

### INTRODUÇÃO

Uma série temporal de uma variável hidrológica, tal como precipitação, reúne as observações e medidas desta variável, organizadas de forma sequencial de sua ocorrência no tempo. Tais séries apresentam variações contínuas, com registros separados por intervalos de igual tempo. A noção de estacionariedade vem de uma série cujas propriedades estatísticas não se alteram ao longo do

1) Mestrando em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, UFPR. Graduado em Engenharia Civil, UEM. Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba/PR. (044) 997042234. brunotjuliani@gmail.com

2) Graduanda em Engenharia Civil, UEM. Av. Colombo, 5790, Maringá/PR. (044) 999859889. isarantes10@gmail.com

3) Universidade Estadual de Maringá, UEM. Doutora em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Av. Colombo, 5790, Maringá/PR. (044) 30115183. cmpokawa@uem.br.

4) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, FEC – UNICAMP. Av. Albert Einstein, 951, Campinas/SP. (019) 35212357. zuffo@fec.unicamp.br.

tempo. Já as séries que apresentam tendências ou saltos, como resultados de variações naturais do clima, ou então alterações induzidas pela ação do homem, são ditas não estacionárias (Naghetini e Pinto, 2007).

Comportamentos não-estacionários de uma série pluviométrica histórica podem estar conectados às variações climáticas naturais. Desta forma, a detecção de um padrão de mudança ou da estacionariedade em séries hidrológicas se faz relevante por ser uma ferramenta para o estudo do impacto das variações climáticas nos fenômenos hidrológicos globais. De acordo com Uliana *et al.* (2015), identificar tendências em séries hidrológicas contribui para a compreensão das mudanças climáticas e para o desenvolvimento de modelos e previsões hidrológicas e para a gestão de recursos hídricos. Contudo, os padrões de mudanças regionais são complexos, o que gera incertezas sobre quais fatores contribuem de fato com estas alterações (SANTOS *et al.*, 2016).

Santos *et al.* (2016) citam os testes de Mann-Kendall e Pettitt como os principais testes não-paramétricos utilizados, sendo o primeiro de caracterização de tendências monótonas de longo prazo e o segundo de determinação do ponto de mudança abrupto na série. Ambos são amplamente utilizados no estudo de séries hidrometeorológicas, como também comentam Tan *et al.* (2017).

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo o estudo da estacionariedade para a série histórica de precipitação da estação Tibagi, localizada na cidade de mesmo nome, no estado do Paraná. A análise será feita por meio dos testes estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall e de Pettitt.

## METODOLOGIA

A estação pluviométrica Tibagi, código 2450002, localiza-se no município de mesmo nome, situado no terceiro planalto paranaense. A estação está situada na região do Alto Tibagi, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi, terceira maior bacia hidrográfica do estado do Paraná. Na região da cidade de Tibagi, a principal atividade econômica desenvolvida é a agropecuária, com pastagens e culturas de soja, milho, feijão e trigo (SEMA, 2017). A localização da estação Tibagi pode ser visualizada na Figura 1.

Os dados de precipitação para a estação pluviométrica Tibagi foram obtidos por consulta ao Sistema de Informações Hidrológicas do Instituto das Águas do Paraná (2019). A estação possui registros históricos mensais consistidos desde abril de 1938. Para este estudo, é determinada uma série anual de precipitação, e desta forma, a série de dados diários utilizada foi de 1939 até 2018, totalizando 80 anos de dados.

Com os dados obtidos da série anual de precipitação, os testes estatísticos não-paramétricos de Pettitt e de Mann-Kendall serão então aplicados, com o auxílio do pacote “*trend*”, para testes

não paramétricos de tendência e detecção de pontos de mudança, para a linguagem de programação R (Pohlert, 2018). Os testes aplicados são detalhados a seguir.

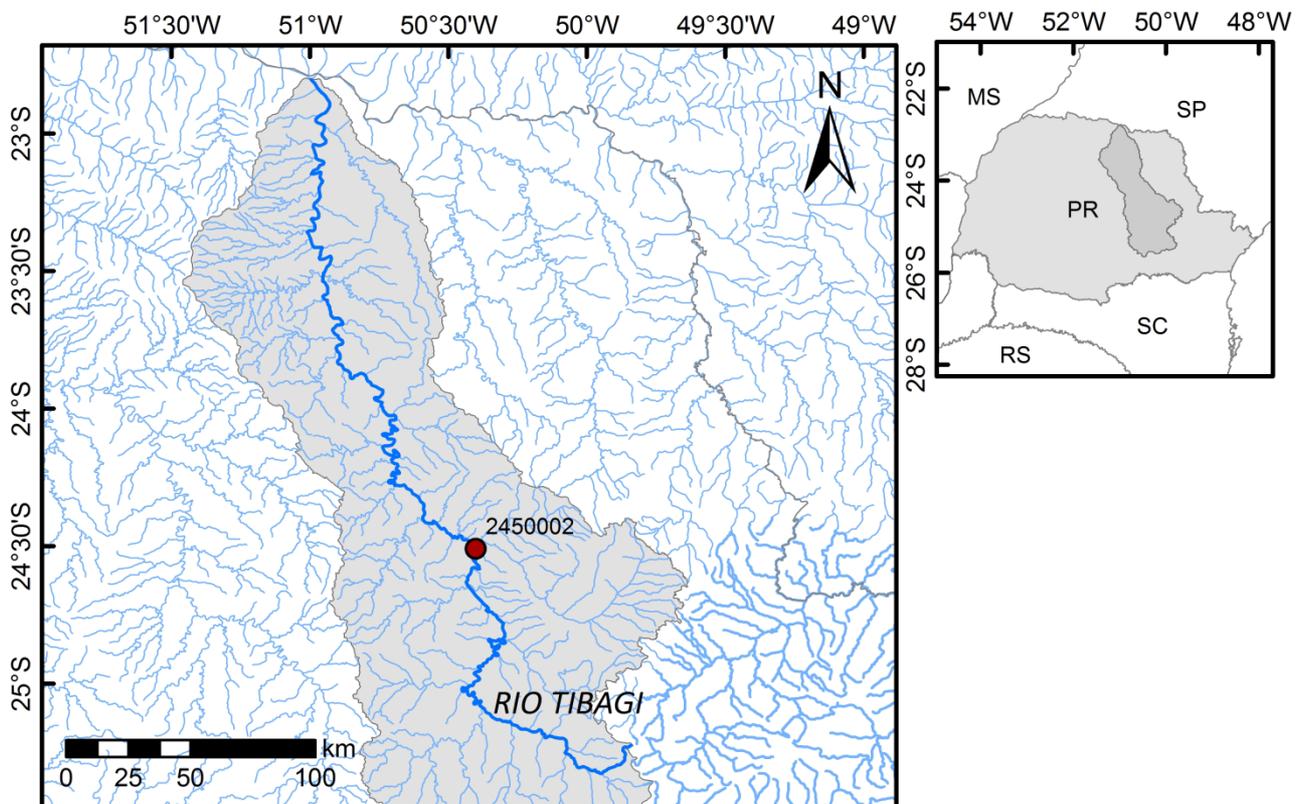


Figura 1 – Localização da estação pluviométrica Tibagi.

### Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall foi inicialmente concebido por Mann (1945) como um teste não paramétrico para detecção de tendências monótonas, sendo complementado por Kendall (1975) como uma distribuição estatística para o teste visando identificar também variações não-lineares e pontos de inflexão. De acordo com Tan *et al.* (2017), o teste tem sido vastamente recomendado para a identificação de tendências estatísticas significativas para séries temporais de variáveis hidroclimáticas, sendo robusto para dados que possam conter outliers e tendências não lineares.

A hipótese nula do teste indica uma série independente e com variáveis aleatoriamente distribuídas, sem a existência de tendência. Já a hipótese alternativa é de uma série que apresenta tendência monótona positiva ou negativa.

### Teste de Pettitt

O teste de Pettitt (1979) se baseia na divisão da amostra em duas partes, testando as tendências estatísticas para ambas as partes, e comparando-as. Sendo assim, o teste identifica pontos estatisticamente significativos em que ocorrem mudança na tendência. Tan *et al.* (2017) afirma que

este teste também é vastamente utilizado em séries hidroclimáticas, por também ser robusto a *outliers* e aplicável a dados de diferentes distribuições de probabilidade.

O teste considera então uma série com  $N$  dados agrupando-os em duas sub amostras representadas por  $x_1, \dots, x_t$  e  $x_{t+1}, \dots, x_N$ . A estatística do teste conta o número de vezes em que o valor da primeira amostra excede o valor da segunda. Esta estatística representa o ponto de mudança  $t$  significativo, associado a um nível de significância, sendo para este estudo um nível de 5% de significância.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aplicado o teste de Mann-Kendall, a estação Tibagi apresentou uma estatística  $Z = 3,224$ , e  $p$ -valor do teste de 0,001264. Desta forma, pode-se dizer que a hipótese nula de estacionariedade foi rejeitada, e que a série apresenta uma tendência positiva, devido ao valor positivo da estatística  $Z$ . Com relação ao  $p$ -valor, pode-se dizer que a amostra se enquadraria também em uma hipótese alternativa de significância de 1%, sendo portanto, também válida para 5% de significância.

A Figura 2 apresenta a plotagem da série histórica de precipitação anual, com o traçado de uma linha de tendência linear.

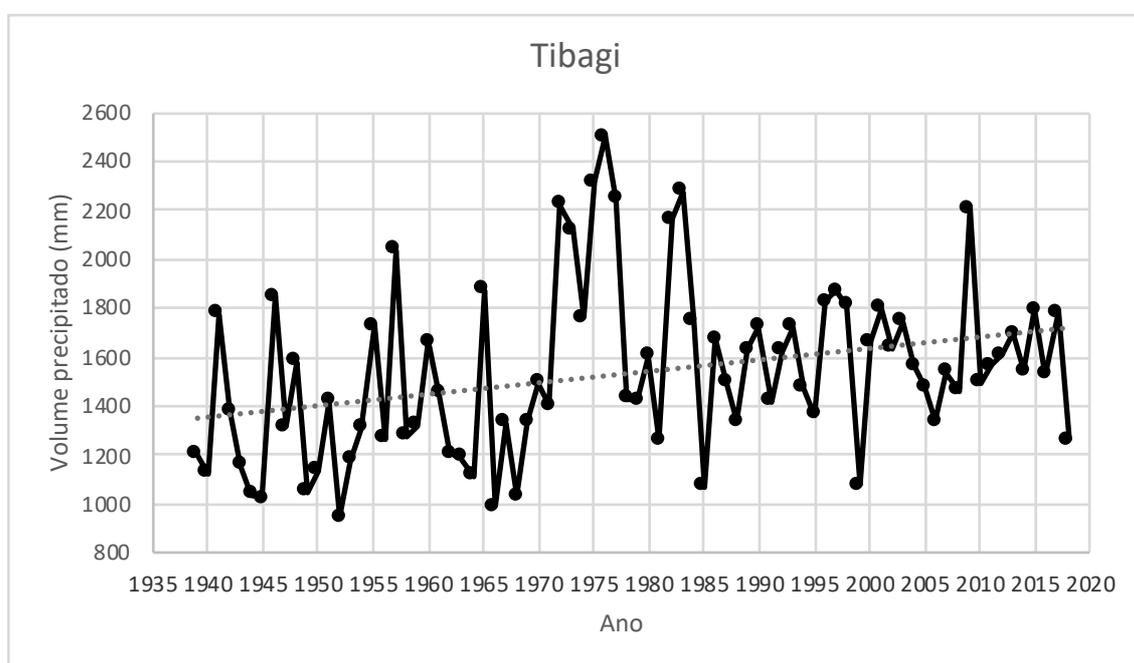


Figura 2 – Precipitação Total Anual para a estação Tibagi

Como visto na Figura 2, a tendência positiva é de fácil visualização, e pode ser comprovada pelo resultado do teste de Mann-Kendall aplicado. É válido salientar a variação da série histórica apresentada, com flutuações não uniformes, porém, ao se analisar a série a longo prazo, a tendência é dita significativa.

Com a rejeição da hipótese nula pelo teste de Mann-Kendall, a série é dita então não-estacionária, tendo suas estatísticas não constantes ao decorrer do tempo, necessitando assim, uma maior atenção quanto a aplicações e projeções.

Com relação ao teste de Pettitt, ele foi empregado visando identificar uma mudança abrupta nos dados de precipitação anual, e como resultado do teste, o ano de ocorrência desta mudança. Aplicado o teste, o mesmo retornou uma estatística de 925, um p-valor de  $1 \times 10^{-4}$ . Desta forma, é dito que a hipótese nula é rejeitada a 5% de significância. O teste apontou uma mudança abrupta para o ano de número 33, sendo este o ano 1971 na série histórica. Observa-se que a série, apesar de contar com 79 anos, ainda é muito pequena para definir um padrão cíclico natural ascensional permanente ou, quanto tempo dura esta tendência ascensional ou, até quando dura esta ascensão antes de uma inversão desta tendência.

Hajani e Rahman (2018) colocam que a direção da mudança abrupta pelo teste de Pettitt é determinada pela comparação da subsérie anterior à mudança com a posterior. Desta forma, para uma melhor visualização, foram traçadas as médias diferenciadas pelo ponto de mudança encontrado pelo teste, demonstrado na Figura 3.

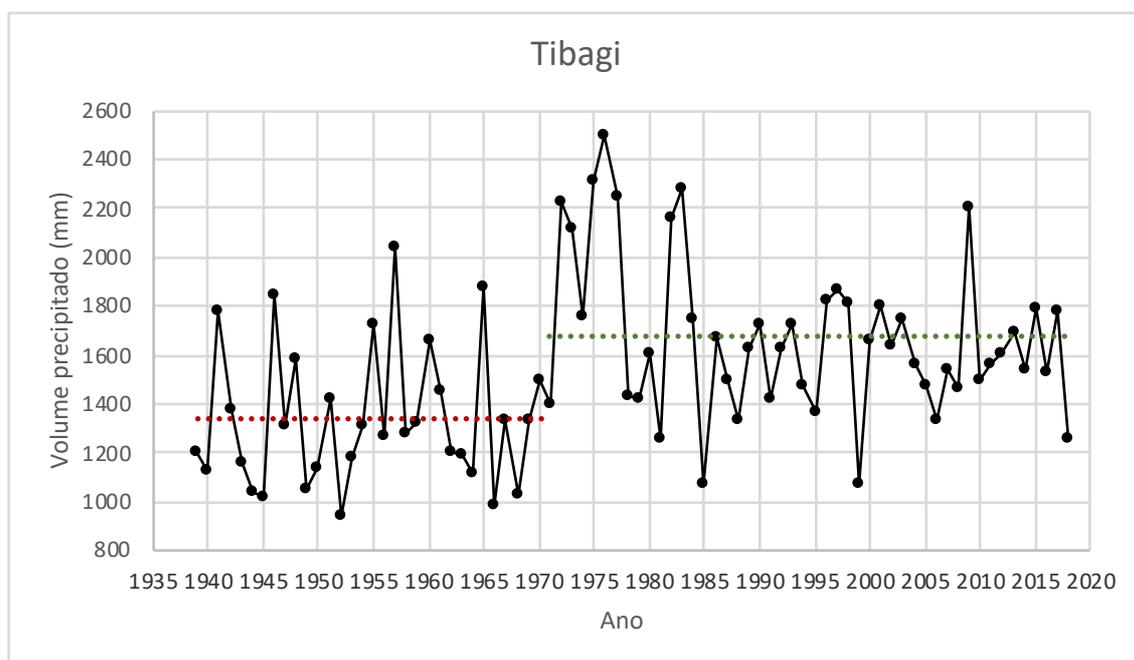


Figura 3 – Identificação de mudança abrupta para estação Tibagi

Como observado na Figura 3, o ponto de mudança identificado para o ano de 1971 pode ser levado como uma divisão para duas séries diferentes de precipitação. Fica evidente a diferença para as médias traçadas para os períodos anterior e posterior ao ano identificados. Assim, pode-se dizer que para a rejeição da hipótese nula do teste de Pettitt, há uma mudança nos padrões de precipitação não uniforme entre os períodos.

Verifica-se então a não estacionariedade da série de precipitação para a estação Tibagi pelos dois testes não paramétricos aplicados. Pode-se dizer que a série apresenta um ponto de mudança abrupto, com um aumento no padrão de precipitação após o ano de 1971, baseado no teste de Pettitt. E também pode-se dizer que a série apresenta uma tendência monótona positiva, com um aumento gradual, baseado no teste de Mann-Kendall.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas definições de estacionariedade apresentadas, e por fundamentação nos testes estatísticos não paramétricos aqui avaliados, diz-se que a série hidrológica de precipitação da estação Tibagi é uma série não estacionária. Desta forma, conclui-se que a série não mantém suas estatísticas constantes ao longo do tempo, o que a classificaria como estacionária.

O teste de Mann-Kendall apresenta o resultado de uma tendência monótona positiva para a série. Já o teste de Mann-Kendall apresenta uma mudança abrupta nos padrões. Tais mudanças podem estar relacionadas a diversos fatores, tais como mudanças climáticas, mudanças na cobertura vegetal e uso e ocupação do solo. De acordo com Zuffo (2015), padrões com diferentes características encontrados em séries históricas podem ser atribuídos a ciclos naturais de incidência de luz solar e precipitação. Destacou o autor, quatro ciclo solares como possíveis responsáveis pelo comportamento não estacionário hidrológico, tais como os ciclos de Schwabe (11 anos), Hallstattzeit (2.300 anos), Suess (150 a 200 anos) Gleinssberg (70 a 100 anos), que se misturam.

Para estudos futuros, recomenda-se um estudo mais aprofundado das mudanças ocorridas, abrangendo uma área maior de estudo, podendo-se analisar também padrões regionais para tais características de não estacionariedade. Recomenda-se também um estudo focado na identificação das causas das mudanças, tais como as implicações de mudanças climáticas de origem natural.

Enquanto isso, compete aos órgãos públicos a continuidade do monitoramento dos dados pluviométricos, a fim de gerar séries mais longas e possibilitar análises mais amplas.

## REFERÊNCIAS

- AGUASPARANA. (2019). *Sistema de Informações Hidrológicas*. Instituto das Águas do Paraná. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=264>>. Acesso em 01 de abril de 2019.
- HAJANI, E.; RAHMAN, A. (2018). “*Characterizing changes in rainfall: a case study for New South Wales, Australia*”. *International Journal of Climatology* 38, pp. 1452 – 1462.
- KENDALL, M. G. (1975). *Rank correlation measures*. Charles Griffin, London, 736 p.
- MANN, H. B. (1945). “*Non-parametric tests against trend*”. *Econometrica* 13, pp. 245 – 259.

- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. (2007). *Hidrologia Estatística*. CPRM, Belo Horizonte, 552 p.
- PETTITT, A. N. (1979). “A Non-parametric approach to the change-point problem”. *Applied Statistics* 28, pp. 126 – 135.
- POHLERT, T. *Package ‘trend’*. CRAN Repository. Disponível em <<https://cran.r-project.org/web/packages/trend/trend.pdf>>. Acesso em 12 de abril de 2019.
- SANTOS, C. A.; LIMA, A. M. M.; FARIAS, M. H. C. S.; AIRES, U. R. V.; SERRAO, E. A. O. (2016). “Análise estatística da não estacionariedade de séries temporais de vazão máxima anual diária na bacia hidrográfica do Rio Pardo”. *HOLOS* 7, pp. 179 – 193.
- SEMA. (2017). *Bacias Hidrográficas do Paraná: Uma série histórica*. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. Disponível em <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=38>>. Acesso em 12 de abril de 2019.
- TAN, X.; GAN, T. Y.; SHAO, D. (2017). “Effects of persistence and large-scale climate anomalies on trends and change points in extreme precipitation of Canada”. *Journal of Hydrology* 550, pp. 453 – 465.
- ULIANA, E. M.; SILVA, D. D.; ULIANA, E. M.; RODRIGUES, B. S.; CORREDO, L. P. (2015). “Análise da tendência de séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico”. *Ambiente e Água* 10 (1), pp. 82 – 88.
- ZUFFO, A. C. (2015) “O Sol, o motor das variabilidades climáticas”. *Revista DAE* 63, pp. 6 – 24.