



MÉTODOS ESTATÍSTICOS NÃO-PARAMÉTRICOS COMO FERRAMENTA NO MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO

Non-parametric statistical methods as a tool for rainfall monitoring

Métodos estadísticos no paramétricos como herramienta de monitoreo pluviométrico

 <https://doi.org/10.35701/rcgs.v23.770>

Estevão Conceição Gomes Junior¹

Deise Fabiana Ely²

Histórico do Artigo:

Recebido em 22 de Janeiro de 2021

Aceito em 19 de Abril de 2021

Publicado em 12 de Maio de 2021

RESUMO

A precipitação desempenha um papel importante no ciclo global de energia e água. Seu monitoramento é de especial importância para a avaliação e gestão de água doce relacionada com o uso da terra, agricultura e hidrologia. Com isso, o alto interesse em análises da variabilidade da precipitação a longo prazo surge da necessidade de avaliar as mudanças climáticas. Para tanto, métodos estatísticos têm sido utilizados para monitorar o comportamento das variáveis climáticas e acompanhar possíveis tendências. Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo utilizar métodos estatísticos não-paramétricos, como Mann-Kendall e Curvatura de Sen e observar tendências e intensidades das mudanças pluviométricas na Região Geográfica Intermediária de Londrina (RGIL). Foram utilizados os dados diários, mensais e anuais de chuvas em 12 estações meteorológicas localizadas na RGIL e foram aplicados os testes de Mann-Kendall e Curvatura de Sen por meio do software *Auto_MK_Sen*. Os resultados indicaram tendências de aumento de chuvas em 5 dos 11 municípios da RGIL, todos localizados à norte, além da redução das chuvas no outono sob um nível de confiança estatística de 90%.

Palavras chave: Mann-Kendall; Curvatura de Sen; Monitoramento climático; Estatística aplicada à Climatologia.

¹ Doutor em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina (UEL) e coordenador da área de Ciências Humanas no Centro Universitário Filadélfia (UniFil)/Colégio Londrinense. E-mail: tevaio.junior@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-1548-1874>

² Pós-doutora em Meteorologia pela University of Maryland at College Park (Estados Unidos), Pós-doutora em Geografia pela Université de Moncton (Canadá) e professora associada da Universidade Estadual de Londrina (UEL). E-mail: deise@uel.br

 <https://orcid.org/0000-0001-7833-8173>

ABSTRACT

Rainfall is an important role in the global energy and water cycle. Its monitoring is of special importance for the assessment and management of fresh water related to land use, agriculture and hydrology. As a result, the high interest in analyzes of long-term precipitation variability arises from the need to assess climate change. For this purpose, statistical methods have been used to monitor the behavior of climatic variables and to monitor possible trends. Given the above, this study aims to use non-parametric statistical methods, such as Mann-Kendall and Sen's Curvature and observe trends and intensities of rainfall changes in the Região Geográfica Intermediária de Londrina (RGIL) - Brazil. Daily, monthly and annual rainfall data from 12 meteorological stations located at RGIL were used and Mann-Kendall and Sen Curvature tests were applied using the *Auto_MK_Sen* software. The results indicated trends of increased rainfall in 5 of RGIL's 11 municipalities, all located to the north, in addition to a reduction in rainfall in the fall under a 90% statistical confidence level.

Keywords: Mann-Kendall; Sen's Curvature; Climate monitoring; Statistics applied to Climatology.

RESUMEN

La precipitación juega un papel importante en el ciclo global de la energía y el agua. Su seguimiento es de especial importancia para la evaluación y gestión del agua dulce relacionada con el uso del suelo, la agricultura y la hidrología. Como resultado, el gran interés en los análisis de la variabilidad de las precipitaciones a largo plazo surge de la necesidad de evaluar el cambio climático. Para ello, se han utilizado métodos estadísticos para monitorear el comportamiento de las variables climáticas y monitorear posibles tendencias. Dado lo anterior, este estudio tiene como objetivo utilizar métodos estadísticos no paramétricos, como Mann-Kendall y Curvatura de Sen y observar las tendencias e intensidades de los cambios de lluvia en la Região Geográfica Intermediária de Londrina (RGIL) – Brasil. Se utilizaron datos de precipitación diaria, mensual y anual de 12 estaciones meteorológicas ubicadas en RGIL y se aplicaron pruebas de Mann-Kendall y Curvatura de Sen utilizando el software *Auto_MK_Sen*. Los resultados indicaron tendencias en el aumento de las precipitaciones en 5 de los 11 municipios de RGIL, todos ubicados en el norte, además de la reducción de las precipitaciones en el otoño bajo un nivel de confianza estadística del 90%.

Palabras clave: Mann-Kendall; Curvatura de Sen; Vigilancia climática; Estadística aplicada a la climatología.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas tendem a afetar a demanda de água no planeta, influenciando diretamente o ciclo hidrológico, seja nas áreas de captação de água subterrânea ou na recarga dos aquíferos livres e semi-confinados, alterando a dinâmica econômica, social e cultural da água no planeta.

O ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação da Terra (SILVEIRA, 2004). Assim, a água circula constantemente da atmosfera em direção ao solo e aos oceanos, em uma relação cíclica.

Cabe ressaltar que o ciclo da água é dinâmico e naturalmente variável e as sociedades e ecossistemas estão acostumados a funcionar com essa variabilidade (ELY e DUBREUIL, 2017). Entretanto, como descrito por Georgakakos et al. (2014), a mudança climática está alterando o

ciclo da água de diversas maneiras, em diferentes escalas temporais e áreas geográficas, apresentando riscos e eventos inoportunos.

Com o advento da tecnologia e seus subprodutos, o monitoramento climático ganhou uma nova roupagem, permitindo o armazenamento dos dados em ambiente digital e a aplicação de modelos e métodos estatístico-matemáticos de forma menos onerosa, agilizando a geração de dados e permitindo a aplicação de modelos de tendências climáticas globais (GOMES JUNIOR, 2021).

Nesse contexto insere-se o teste não-paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) possibilita a observação das tendências dos dados a Curvatura de Sen (SEN, 1968) as intensidades destas alterações. Assim, o presente estudo tem como objetivo utilizar métodos estatísticos não-paramétricos, como Mann-Kendall e Curvatura de Sen e observar tendências e intensidades das mudanças pluviométricas na Região Geográfica Intermediária de Londrina (RGIL), uma área de transição entre o clima tropical e subtropical.

Estatística aplicada ao monitoramento climático

A partir da difusão global de modelos qualitativos e quantitativos de monitoramento climático, observou-se um aumento nos *outputs data*, gerando a necessidade de propor metodologias de análise de dados que favorecessem a comparação dos dados observados em todo mundo. Portanto, usando métodos estatísticos tradicionais e inovadores, os climatologistas são capazes de detectar e quantificar a intensidade da variabilidade climática e revelar incertezas em nossa compreensão atual dos processos e modelos climáticos (ROBESON, 2005).

O teste estatístico de Mann-Kendall, por exemplo, foi formulado por Mann (1945) como um teste não paramétrico para detecção de tendência, e a distribuição estatística do teste foi dada por Kendall (1975) para avaliação de tendência não linear e o ponto de mudança. Como abordado por Xavier Junior et al. 2020, o teste tem sido amplamente utilizado para detectar tendências e variações espaciais em séries históricas de chuvas, o que contribui sob o ponto de vista do monitoramento das variabilidades climáticas.

A dimensão da variabilidade climática engloba fenômenos de magnitude regional (centenas ou milhares de km²), relacionados principalmente ao dipolo atmosfera terrestre-oceano. Para Blain (2010), os oceanos têm papel fundamental na variabilidade climática devido à alteração da temperatura das águas superficiais, como observado em anos de ocorrência de El-Niño na América do Sul e da Oscilação Decadal do Pacífico. Em áreas continentais, a variabilidade climática pode ser observada pela influência da continentalidade nas variações diárias e sazonais

e das influências dos grandes conjuntos vegetacionais ou antrópicos (como as grandes áreas de monocultura ou pecuária) (SANT'ANNA NETO, 2001).

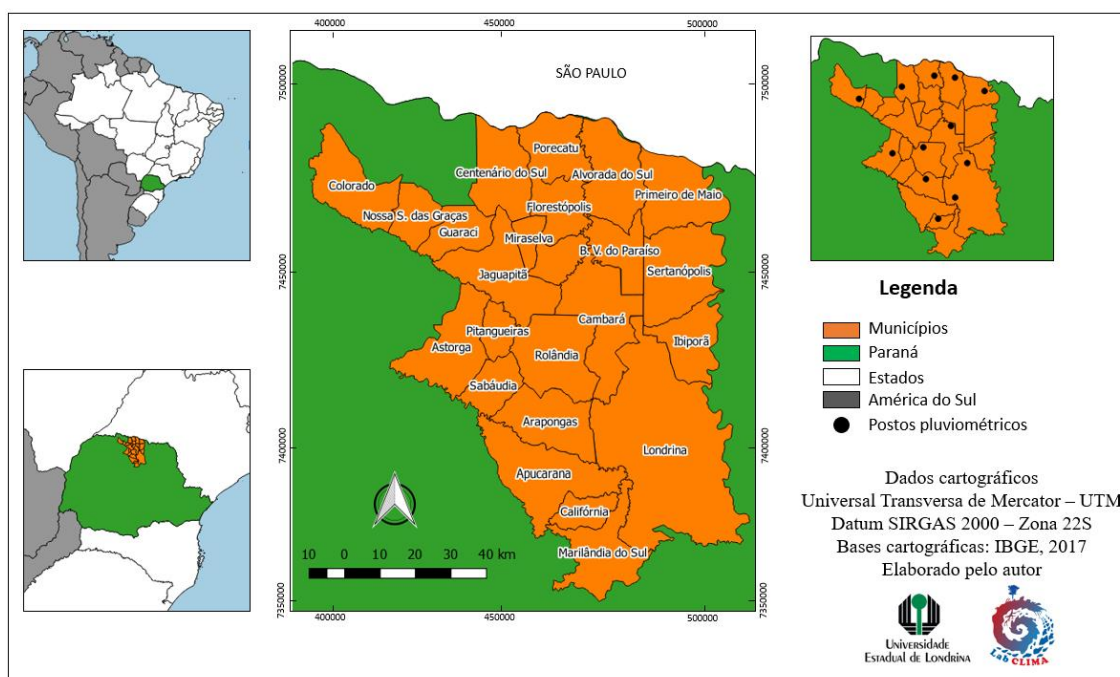
MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A Região Geográfica Intermediária de Londrina (RGIL) insere-se no novo recorte das Regiões Geográficas, proposto pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), entendendo as mudanças ocorridas no território brasileiro ao longo das três últimas décadas. Ademais, essa região faz divisa ao norte com o estado de São Paulo, pelo rio Paranapanema e possui como principais cursos hídricos o rio Tibagi, a leste e o rio Ivaí, a oeste.

É constituída por 94 municípios, dos quais se destacam Londrina, Arapongas e Cornélio Procópio, em função de suas dimensões populacionais e projeção econômica. A caracterização climática regional do presente estudo abrangerá os municípios localizados, em sua maioria, na Região Geográfica Intermediária de Londrina e dois municípios próximos a RGIL, localizados na Região Geográfica Intermediária de Maringá, a citar Astorga e Colorado. Em termos climáticos, tal região foi delimitada por tratar-se de uma área com os menores acumulados pluviométricos do estado e maiores médias térmicas, constituindo uma região basicamente homogênea. (Figura 1).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Gomes Junior, 2021.

A Região Geográfica Intermediária de Londrina é cortada pelo Trópico de Capricórnio, o que lhe coloca como área de transição da Zona Intertropical para Zona Temperada Sul. Porém, predominam as características típicas do clima tropical, com verões chuvosos e invernos com redução na precipitação. No verão prevalecem os sistemas atmosféricos de baixa pressão e no inverno, de alta (BORSATO e MENDONÇA, 2013). Como destacado por Ely e Fortin (2019), predomina no norte do estado do Paraná o clima *Cfa*, caracterizado pela ausência de uma estação seca e verões quentes e *Cfb* caracterizado pela ausência de uma estação seca e verões amenos, além da precipitação média entre 1000 e 1500mm.

Banco de dados

Foram analisados os dados de chuva disponíveis para a série histórica de 1987 a 2018 (31 anos) em escala temporal diária, mensal e anual de 12 postos pluviométricos localizados em 11 municípios da Região Geográfica Intermediária de Londrina e Maringá (Tabela 1).

Tabela 1: Localização das estações meteorológicas utilizadas na área de estudo.

Município	Estação	Código	Latitude	Longitude	Altitude
Alvorada do Sul	Alvorada do Sul	2251038	22° 46' 00"	51° 13' 59"	373m
Arapongas	Arapongas	2351048	23° 24' 00"	51° 25' 59"	793m
Astorga	Astorga	2351051	23° 14' 14"	51° 39' 41"	572m
Califórnia	Califórnia	2351037	23° 39' 00"	51° 21' 00"	790m
Cambé	Prata	2351031	23° 03' 58"	51° 15' 40"	438m
Centenário do Sul	Centenário do Sul	2251069	22° 49' 22"	51° 35' 44"	500m
Colorado	Alto Alegre	2251033	22° 53' 53"	51° 53' 17"	487m
Londrina	Agroclimatologia	2351003	23° 18' 00"	51° 09' 00"	585m
Londrina	São Luiz	2351035	23° 31' 00"	51° 13' 59"	740m
Porecatu	Porecatu	2251023	22° 45' 17"	51° 22' 26"	425m
Primeiro de Maio	Primeiro de Maio	2251039	22° 51' 06"	51° 01' 55"	370m
Rolândia	Rolândia	2351053	23° 12' 00"	51° 27' 00"	653m

Fonte: Gomes Junior, 2021.

Os dados pluviométricos foram obtidos por meio do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), Instituto das Águas do Paraná (ÁGUASPARANA) e Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). O presente estudo baseia-se na avaliação pluviométrica a partir do ano hidrológico (iniciado em outubro) (MARCUIZZO e GOULARTE, 2013; SANTOS et al. 2017) e adotou o seguinte recorte temporal: outubro, novembro e dezembro (primavera), janeiro, fevereiro e março (verão), abril, maio e junho (outono) e julho, agosto e setembro (inverno).

A seleção dos postos pluviométricos visou contemplar dois parâmetros: i) espacialização regional dos postos pluviométricos e ii) consistência nos dados pluviométricos diários, com falhas

inferiores a 5% na série histórica. O preenchimento dos dados faltantes de chuva, que foi de 3,4%, seguiu a metodologia de ponderação regional proposta por Bertoni e Tucci (2007), onde:

$$D_{x=\frac{1}{n}} = \sum_{i=1}^n \frac{Mx}{Mi} D_i \quad (1)$$

sendo D_x o dado mensal faltante a ser estimado para a estação teste, D_i o dado ocorrido na estação vizinha de ordem "i" no mês de ocorrência da falha na estação teste, Mx o dado médio mensal da estação teste, Mi o dado médio mensal da estação vizinha de ordem "i" e n o número de estações vizinhas utilizadas no cálculo.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O teste não paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975), baseado em rankings, foi aplicado aos dados de precipitação anual das estações de estudo para detectar tendências estatisticamente significativas. Nesse teste, a hipótese nula (H_0) indica que não houve tendência na precipitação ao longo do tempo; a hipótese alternativa (H_1) indica uma tendência (aumentando ou diminuindo) ao longo do tempo.

Os valores dos dados são avaliados como uma série temporal ordenada. Cada valor é comparado com todos os dados dos subsequentes valores. Se um valor de dados de um período posterior é maior que um valor de dados de um período anterior, a estatística de Mann-Kendall (valor S) é incrementada em 1. Por outro lado, se o valor dos dados de um período posterior é inferior a um valor de dados amostrado anteriormente, S é subtraído em 1, podendo ser demonstrado pelas equações a seguir:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{if } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{if } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (3)$$

onde: x_j e x_k são os valores anuais; anos j e k , $j > k$, respectivamente.

A estatística S é normalmente distribuída com a média e variância conforme:

$$E(S) = 0 \quad (4)$$

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (5)$$

onde: q é o número de grupos de mesmo valor e t_p é o número de valores de dados no p^{th} grupo.

A estatística de Mann-Kendall (S) pode ser padronizada (Z), como:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{Se } S > 0 \\ 0 & \text{Se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{Se } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Valores “ Z ” positivos indicam uma tendência ascendente na série temporal hidrológica; valores “ Z ” negativos indicam uma tendência negativa. Se $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$, H_0 é rejeitada e existe uma tendência estatisticamente significativa na série temporal pluviométrica. O valor crítico de $Z_{1-\alpha/2}$ para o valor p de 0,05 na tabela de distribuição normal padrão (Z) é 1,96 (GUPTA *et al.*, 2018). Em geral, o valor de $p < 0,05$ ou menor significa que há uma probabilidade de apenas 5% de que a diferença encontrada na variação temporal da precipitação não seja verdadeira, apesar de, estatisticamente, ter sido assim demonstrada.

O método de Curvatura de Sen (SEN, 1968) consiste em uma estatística não-paramétrica utilizada para ajustar de forma robusta uma linha aos pontos de amostra no plano (regressão linear simples), escolhendo a mediana das inclinações de todas as linhas por meio de pares de pontos, calculada como:

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad \text{Para } i = 1, \dots, n \quad (7)$$

onde X_j e X_k são os valores dos dados nos tempos j e k ($j > k$), respectivamente. Se houver apenas um dado em cada período de tempo, então $N = n(n-1)/2$, onde n é o número de períodos de tempo. E se existem várias observações em um ou mais períodos de tempo, então $N < n(n-1)/2$. Os n valores de Q_i são classificados do menor para o maior e a mediana da inclinação é calculada como:

$$Q_{\text{med}} = \begin{cases} Q_{[(n+1)/2]}, & \text{Se } n \text{ é ímpar} \\ \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}, & \text{Se } n \text{ é par} \end{cases} \quad (8)$$

O sinal Q_{med} reflete a tendência dos dados, enquanto seu valor indica a inclinação da tendência. Para determinar se a inclinação mediana é estatisticamente diferente de zero, deve-se obter o intervalo de confiança de Q_{med} com probabilidade específica (PATINO e FERREIRA, 2015). O intervalo de confiança sobre a inclinação do tempo (GILBERT, 1987) pode ser calculada da seguinte forma:

$$C_{\alpha} = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{Var(S)} \quad (9)$$

onde $Var(S)$ é definido na Eq. 7 e $Z_{1-\alpha/2}$ é obtido da tabela de distribuição normal padrão.

Neste estudo, o intervalo de confiança foi calculado com níveis de significância de $p = 0,05$; a inclinação Q_{med} é estatisticamente diferente de zero se os dois limites (Q_{min} e Q_{max}) tiverem sinais similares (PATINO e FERREIRA, 2015). Ressalta-se que, o teste de Mann-Kendall e Curvatura de Sen foram calculados a partir do software Auto_MK_Sen (SONALI e KUMAR, 2013), tendo como *input* a precipitação mensal anual.

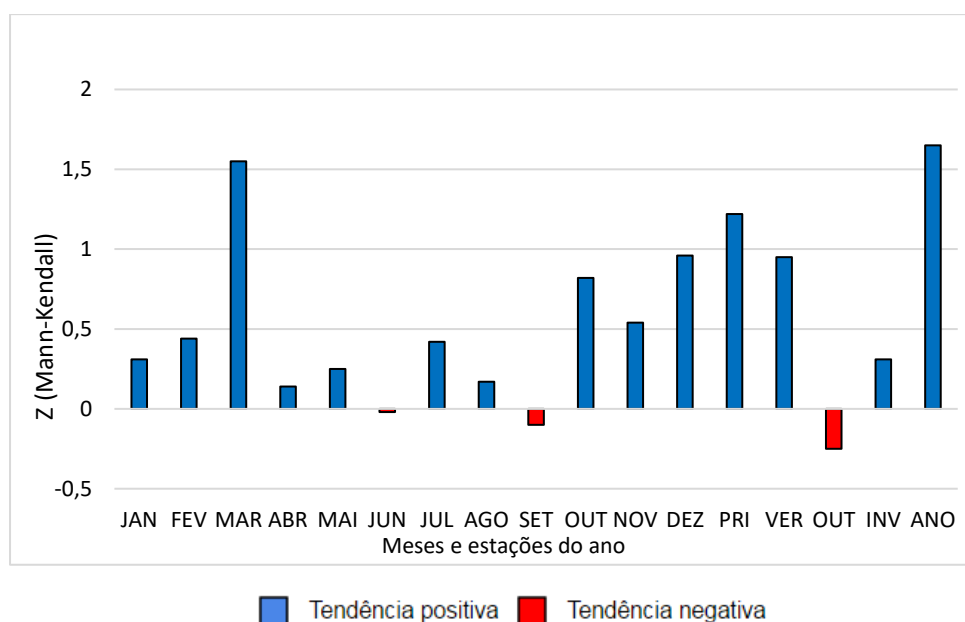
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de tendências é usada para investigar se a tendência é ascendente, descendente ou inexistente em uma série de dados temporais. Assim, os resultados a seguir trarão as tendências observadas após a aplicação do teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK) e o estimador de intensidade de tendência Curvatura de Sen (SEN) para os dados da precipitação mensal, anual e sazonal das doze estações meteorológicas localizadas na RGIL.

Os resultados indicaram tendências positivas (aumento das chuvas) no recorte temporal da média histórica, para Alvorada do Sul, Cambé, Centenário do Sul, Colorado e Rolândia em diferentes meses e estações do ano, como já observado anteriormente pela aplicação dos índices climáticos. Ressalta-se que, visando o rigor da análise das tendências, foram enquadrados dentro do panorama de tendências climáticas apenas os dados que estavam dentro do intervalo de confiança de 90% e 95.

O município de Alvorada do Sul apresentou aumento das chuvas médias anuais (Figura 2), levando em consideração a série histórica (1987-2018), apresentando tendência significativa estatisticamente no intervalo de confiança de 90%. Apenas os meses de junho, setembro e o outono apresentaram tendência negativa (redução da precipitação), indicando o prolongamento do período seco.

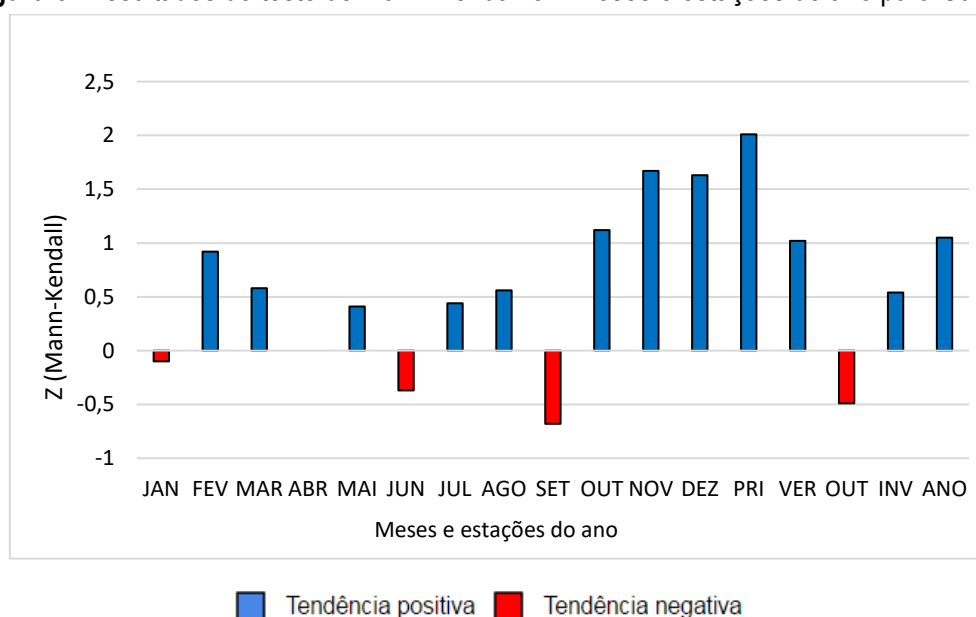
Figura 2: Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Alvorada do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Cambé apresentou aumento das chuvas médias para o mês de novembro, com tendência significativa estatisticamente no intervalo de confiança de 90% e para a primavera com tendência significativa estatisticamente no intervalo de 95% (Figura 3), levando em consideração a série histórica (1987-2018). Os meses de janeiro, junho, setembro e para o outono houve tendência negativa; o mês de abril não apresentou tendência ($Z=0$).

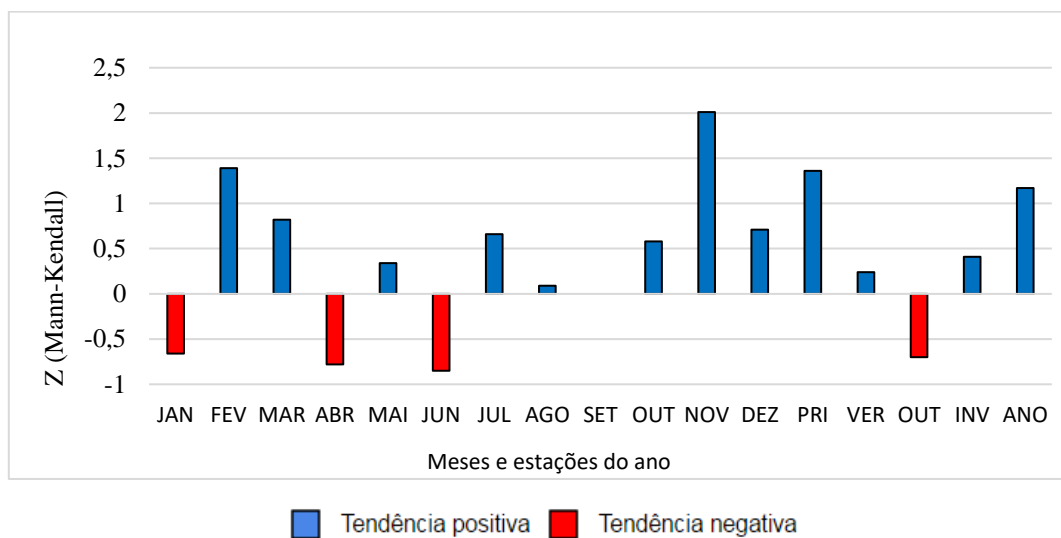
Figura 3: Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Cambé.



Fonte: Elaborado pelos autores.

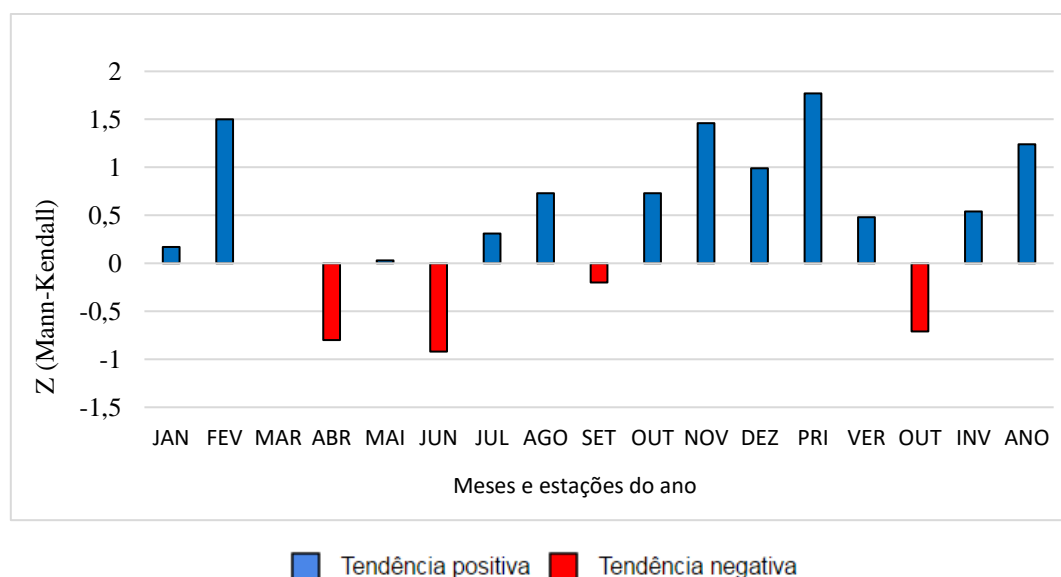
Em Centenário do Sul houve tendência positiva para o aumento das chuvas no mês de novembro, com significância estatística no intervalo de confiança de 95% (Figura 4). Assim como em Cambé, três meses do ano apresentaram tendência negativa, a citar janeiro, abril e junho; o outono também apresentou tendência negativa (redução das chuvas) e o mês de setembro não apresentou tendência. O município de Colorado apresentou aumento das chuvas para a primavera – outubro, novembro e dezembro - (Figura 5), levando em consideração a série histórica (1987-2018), apresentando tendência significativa estatisticamente no intervalo de confiança de 90%.

Figura 4: Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Centenário do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores.

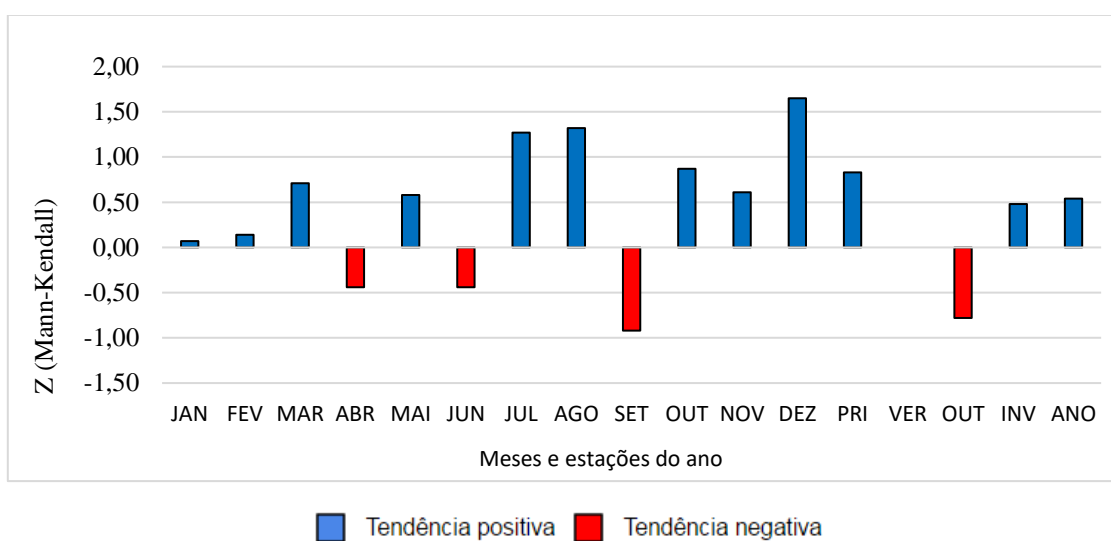
Figura 5: Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Colorado.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Apenas os meses de abril, junho e setembro apresentaram tendência negativa (redução da precipitação), além do outono – abril, maio e junho. Rolândia apresentou tendência positiva para o mês de dezembro, com tendência significativa estatisticamente no intervalo de confiança de 90% (Figura 6). Assim como Centenário do Sul e Colorado, Rolândia também apresentou tendência negativa para o mês de abril; os meses de junho e setembro também apresentaram tendência negativa.

Figura 6: Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Rolândia.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A aplicação da curvatura de Sen (SEN,1968) permite analisar a intensidade das tendências e costumeiramente aparece associada ao teste estatístico de Mann-Kendall (GOCIC e TRAJKOVIC, 2013). Assim, os maiores valores de Q indicam a intensidade de ocorrência das tendências e sua relação com o ajuste de linhas no plano – regressão linear simples. As maiores intensidades (Q) foram observadas para Rolândia e Centenário do Sul e Cambé (Tabela 2), que indicam tendências climáticas com forte intensidade.

Tabela 2: Resultados do teste de Mann-Kendall e estimador de curvatura de Sen (Q) para as estações meteorológicas na Região Geográfica Intermediária de Londrina que apresentaram tendência significativa estatisticamente com intervalo de confiança de 90%.

	Mann-Kendall		Sen	
	Z		Q	
	90%	95%	90%	95%
Alvorada do Sul	1,65	-	0,681	-
Cambé	1,67	2,01	2,208	1,633
Centenário do Sul	-	2,01	-	2,283
Colorado	1,77	-	1,350	-
Rolândia	1,65	-	2,896	-

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se que o outono apresentou tendência negativa para todos os cenários em que houve significância estatística superior ao nível de confiança de 90%. A tabela 3 ilustra todos os resultados obtidos com o teste estatístico de Mann-Kendall. Ademais, ressalta-se que os valores não destacados na tabela 3 indicam não haver tendência ao aumento ou redução das chuvas ao nível de confiança estabelecido, ou seja, igual ou superior a 90% ($z = \geq 1,645$).

	Mann-Kendall (Z)								
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Alvorada do Sul	0,31	0,44	1,55	0,14	0,25	-0,02	0,42	0,17	-0,1
Arapongas	0,17	0,37	-0,34	-0,8	0,34	-0,65	0,97	1,11	-0,82
Astorga	-0,14	1,53	0,31	-0,82	0,29	-0,14	0,61	0,94	-1,29
Califórnia	-0,17	0,75	-0,2	0,37	0,31	-0,1	1,1	0,45	-0,59
Cambé	-0,1	0,92	0,58	0	0,41	-0,37	0,44	0,56	-0,68
Centenário do Sul	-0,66	1,39	0,82	-0,78	0,34	-0,85	0,66	0,09	0
Colorado	0,17	1,5	0	-0,8	0,03	-0,92	0,31	0,73	-0,2
Londrina-Agrometeorologia	0,34	0,02	0,44	-0,51	0,20	-0,61	1,09	0,58	-0,82
Londrina-São Luiz	0,41	-0,41	-0,68	-0,85	0,48	-1,16	0,83	0,80	-1,22
Porecatu	-0,65	1,22	0,10	0,07	-0,58	0,07	0,85	0,10	-0,37
Primeiro de Maio	0,20	0,68	1,09	-0,36	0,25	-0,82	0,66	0,33	-0,71
Rolândia	0,07	0,14	0,71	-0,44	0,58	-0,44	1,27	1,32	-0,92

Tabela 3: Resultados do teste de Mann-Kendall para as precipitações mensal anuais e sazonais das doze estações meteorológicas na Região Geográfica Intermediária de Londrina.

	Outubro	Novembro	Dezembro	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Anual
Alvorada do Sul	0,82	0,54	0,96	1,22	0,95	-0,25	0,31	1,65
Arapongas	0,54	0,44	-0,88	-0,75	0	-0,71	0,68	-0,02
Astorga	0,2	0,75	0,68	0,22	0,85	-0,75	-0,14	0,58
Califórnia	1,26	1,46	-0,29	1,39	0,41	-0,22	0,58	1,27
Cambé	1,12	1,67	1,63	2,01	1,02	-0,49	0,54	1,05
Centenário do Sul	0,58	2,01	0,71	1,36	0,24	-0,7	0,41	1,17
Colorado	0,73	1,46	0,99	1,77	0,48	-0,71	0,54	1,24
Londrina-Agrometeorologia	1,53	0,08	0,46	0,10	0,09	-0,44	0,14	0,53
Londrina-São Luiz	1,22	0,27	0,51	0,37	0,14	-1,12	0,41	0,02
Porecatu	0,90	1,18	-0,04	0,54	0,20	-0,88	0,34	0,31
Primeiro de Maio	0,37	-0,54	-0,43	-0,54	0,36	-0,78	0,00	0,14

Rolândia	0,87	0,61	1,65	0,83	0,00	-0,78	0,48	0,54
----------	------	------	-------------	------	------	-------	------	------

■ Tendência significativa estatisticamente ao intervalo de confiança de 95% ($z \geq 1,96$).

■ Tendência significativa estatisticamente ao intervalo de confiança de 90% ($z \geq 1,645$).

CONCLUSÕES

Os testes não-paramétricos de Mann-Kendall e Curvatura de Sen podem ser utilizados como ferramentas estatísticas de monitoramento climático, tendo em vista sua capacidade de detectar a variabilidade pluviométrica com acurácia em séries históricas superiores a 30 anos, o que contribui para a caracterização das chuvas em variadas escalas espaciais.

A Região Geográfica Intermediária de Londrina (RGIL) configura-se como uma região homogênea com relação às chuvas médias mensais, sendo o norte menos chuvoso e o sul mais chuvoso, embora as tendências climáticas observadas no presente estudo indiquem elevação na precipitação mensal ao norte.

A avaliação pluviométrica da RGIL reiterou sua predominância em áreas características de clima tropical, com redução das chuvas durante os meses de inverno. Outra tese comprovada se deu por meio da aplicação dos testes não-paramétricos de Mann-Kendall e Curvatura de Sen, identificando o outono na RGIL com tendência negativa (redução das chuvas) para todos os cenários em que houve significância estatística superior ao nível de confiança de 90%.

REFERÊNCIAS

- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. In: Tucci, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS, p.177-241, 2007.
- BLAIN, G.C. **Tendências e variações climáticas em séries anuais de precipitação pluvial do Estado de São Paulo**. Bragantia, São Paulo, v.69, p.765-770, 2010.
- BORSATO, V. A.; MENDONÇA, F.A. **A dinâmica dos sistemas atmosféricos no verão 2012- 2013 no Paraná e em Campo Mourão**. II Simpósio de Estudos Urbanos, 2013.
- ELY, D. F.; DUBREUIL, V. **Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná – Brasil**. Revista Brasileira de Climatologia, [S.l.], v. 21, dez. 2017.
- ELY, D.F.; FORTIN, G. **Trend analysis of extreme thermal indices in South Brazil (1971 to 2014)**. Theoretical and Applied Climatology, v.139. 3-4, p.1045-1056, 2019.
- GEORGAKAKOS, A.; FLEMING, P.; DETTINGER, M. **Water Resources**. In *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*. Edited by J. M. Melillo, Terese (T.C.) Richmond, and G. W. Yohe, 69–112. U.S. Global Change Research Program, 2014.
- GILBERT, R. O. **Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring**. United States: N. 231p., 1987.
- GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. **Analysis of Changes in Meteorological Variables Using Mann-Kendall and Sen's Slope Estimator Statistical Tests in Serbia**. Global and Planetary Change, 100, 172-182, 2013.

GOMES JUNIOR, E. C. **Monitoramento climático aplicado à hidrossedimentologia em megaparcels na Região Geográfica Intermediária de Londrina**. 2021. 161p. Tese de Doutorado em Geografia – Universidade Estadual de Londrina.

GUPTA, S., et al. **Quality of life, big data and the power of statistics**. Statistics and Probability Letters (2018).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias**. Coordenação de Geografia. - Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 82p.

KENDALL, M.G. **Rank Correlation Methods**. Charles Griffin, London. 1975.

MANN, H.B. **Nonparametric tests against trend**. Econometrica 13, 245-259. 1945.

MARCUZZO, F.F.N.; GOULARTE, E.R.P. **Caracterização do Ano Hidrológico e Mapeamento Espacial das Chuvas nos Períodos Úmido e Seco do Estado do Tocantins**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 6, n. 1, p.91-99, 2013.

PATINO, C.M.; FERREIRA, J.C. **Confidence intervals: a useful statistical tool to estimate effect sizes in the real world**. J Bras Pneumol, v.41(6):565–566, 2015.

ROBESON, S.M. **Statistical Climatology**. In: Oliver J.E. (eds) Encyclopedia of World Climatology. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht, 2005. 198p.

SANT'ANNA NETO, J.L. **História da climatologia no Brasil: gênese e paradigmas do clima como fenômeno geográfico**. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 169 f. 2001.

SANTOS, B.C; SOUZA, P.H.; VECCHIA, F.A.S. **A caracterização da precipitação do ano hidrológico de 2013-2014 na região de São Carlos/SP e sua repercussão no espaço geográfico**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 21, 2017.

SEN, P.K. **Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau**. J. Am. Stat. Assoc. 63, 1379–1389. 1968.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 3ª edição, Porto Alegre: Ed. da UFRGS, p. 35-51, 2004.

SONALI, P.; KUMAR, D.N. **Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India**. Journal of Hydrology, v. 476, p. 212-227, 2013.

XAVIER JUNIOR, S. F. A. et al. **Precipitation trends analysis by Mann-Kendall test: a case study of Paraíba, Brazil**. Rev. bras. meteorol., São Paulo, v. 35, n. 2, p. 187-196, 2020.