

Tendências das séries temporais de precipitação no estado do Paraná

Beatriz Siqueira

Universidade Estadual de Campinas

beatriz.siqueira09@hotmail.com

 0000-0001-8331-4512

Jonas Teixeira Nery

Universidade Estadual de Campinas

jtn102040@hotmail.com

 0000-0003-0577-8228

p. 616-633

revista

Geo 
USP
espaço e tempo

Volume 24 • nº 3 (2020)

ISSN 2179-0892

Como citar este artigo:

SIQUEIRA, B.; NERY, J. T. Tendências das séries temporais de precipitação no estado do Paraná. **Geosp – Espaço e Tempo** (On-line), v. 24, n. 3, p. 616-633, dez. 2020. ISSN 2179-0892.

Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/160434>. doi: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2020.160434>.



Este artigo está licenciado sob a Creative Commons Attribution 4.0 Licence

Tendências das séries temporais de precipitação no estado do Paraná

Resumo

O objetivo deste trabalho é avaliar a presença de tendências nas séries temporais de precipitação no estado do Paraná. Foram analisadas séries do índice de concentração (IC) e do índice de concentração da precipitação (IPC) e os totais anuais, além do período úmido e do período seco de 38 séries pluviométricas. Para tanto, aplicou-se o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall. Os resultados obtidos apresentaram tendências significativas em todas as análises, podendo-se destacar que, das 38 séries pluviométricas, 18 apresentaram tendências, correspondendo a 47% do total.

Palavras chave: Precipitação. Índices. Tendências pluviométricas. Período úmido. Período seco.

Trends in precipitation time series in the state of Paraná

Abstract

The objective of this work was to evaluate the presence of trends in the rainfall time series in the state of Paraná. The concentration index (CI) and precipitation concentration index (CPI) series were analyzed, the annual totals, as well as the wet season and dry period of 38 rainfall series. For this, the non-parametric Mann-Kendall statistical test was used. The results obtained presented significant trends in all analyzes, and it is possible to highlight that of the total of 38 pluviometric series, 18 series presented trends, corresponding to 47% of the 38 series analyzed.

Keywords: Precipitation. Indexes. Rainfall trends. Wet period. Dry period.

Tendencias en series temporales de precipitación en el estado de Paraná

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar la presencia de tendencias en las series temporales de precipitación en el estado de Paraná. Se analizaron series del índice de concentración (IC) y del índice de concentración de la precipitación (IPC), los totales anuales, además del período húmedo y del período seco de 38 series pluviométricas. Para ello se utilizó el test estadístico no paramétrico de Mann-Kendall. Los resultados obtenidos presentaron tendencias significativas en todos los análisis realizados, pudiéndose destacar que del total de 38 series pluviométricas, 18 series presentaron tendencias, correspondiendo al 47% de las 38 series analizadas.

Palabras clave: Precipitación. Índices. Tendencias pluviométricas. Período húmedo. Período seco.

Introdução

No Brasil, eventos extremos de chuvas intensas destacam-se com episódios de enchentes, inundações e alagamentos, além de situações como deslizamento de encostas e estiagens. Todas essas situações têm graves consequências na geração de energia elétrica e no abastecimento de água. Nesse sentido, ganham importância os estudos de tendências e variabilidade climática.

Essas tendências e variabilidades são medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas como a temperatura do ar e a precipitação pluvial. Back (2001) discute a aplicação de análises estatísticas para identificar mudanças climáticas apresentando alguns testes estatísticos que podem ser aplicados com esse propósito.

Numerosos estudos de variabilidade da precipitação têm sido realizados em todo o mundo usando vários procedimentos estatísticos, a maioria dos estudos são focados em análise de tendência dos extremos de precipitação. Zhang et al. (2007) analisaram a mudança das características de máximos de precipitação usando o teste de tendência de Mann-Kendall e exploraram as possíveis causas para as alterações usando o conjunto de dados de reanálise do NCEP/NCAR dataset.

Extremos de precipitação podem ser quantificados pela frequência das análises de séries de chuvas e heterogeneidade de índices de precipitação. Para quantificar a heterogeneidade da precipitação diária em um ano, Martin-Vide (2004) desenvolveu um índice de concentração (IC) para determinar o impacto relativo das diferentes classes de precipitação diária e avaliar o peso do maior evento diário no valor total da precipitação.

Para quantificar a heterogeneidade mensal de precipitação em um ano, Oliver (1980) e De Luis et al. (1997) desenvolveram um índice de concentração de precipitação (IPC), com base em séries mensais de precipitação. Gallant, Hennessy e Ribsey (2007), investigando tendências nas séries de precipitação da Austrália para dois períodos (1910-2005 e 1950-2005), encontraram tendências lineares em todos os índices de precipitação em cada estação analisada.

A tendência para o aumento da concentração de chuvas em dias, por exemplo, resulta no aumento na frequência de fortes chuvas diárias, desde que o total anual permaneça o mesmo (ou aumente) com o tempo. Se houver uma tendência para baixo no total de precipitação anual, a frequência das chuvas diárias extremas pode diminuir, apesar de haver uma tendência a maior concentração do total anual em poucos dias.

Mueller e Pfister (2011) indicaram que o aumento de tempestades ao longo dos últimos 35 anos foi mais pronunciado na temporada de verão (julho/setembro), na Europa. Coscarelli e Caloiero (2012) verificaram que o lado oriental da região sul da Itália teve maiores valores dos índices IC e IPC.

Na América do Sul, Haylock et al. (2006) investigaram tendências na distribuição de valores extremos nas séries de precipitação na região sudeste entre 1960 e 2000 e encontraram tendências a condições mais úmidas no sul do Brasil, no Paraguai, no Uruguai e no norte e no centro da Argentina.

Segundo Minuzzi e Caramori (2011), desde meados do século XX, o estado do Paraná vem apresentando uma tendência ao aumento do volume pluviométrico, principalmente nos meses de verão e de primavera. No verão, o total de chuva teve um acréscimo de 17 a 37 mm por década, enquanto na primavera essa tendência foi de 16 a 42 mm, sendo que algumas estações hidrológicas apresentaram essa tendência significativa em ambos os períodos sazonais.

A chuva no Paraná pode ser explicada por diferentes dinâmicas climáticas. A orografia tem um papel importante, assim como as frentes frias ao longo do ano e a Zona de Convergência de Umidade (Zcou) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (Zcas), na primavera e verão. As brisas marítimas na costa leste do Paraná também são dinâmicas importantes que podem ser explicadas pelo aquecimento local no verão.

O EL Niño-Oscilação Sul (Enos: fase quente e fase fria) tem um papel importantíssimo na explicação da chuva ou do *deficit* de chuva nesse estado. Na fase quente do evento Enos tem-se chuvas marcadas nessa região, como o evento de 1982/83, e na fase fria do Enos tem-se *deficit* hídrico na área de estudo.

O objetivo do presente é analisar a tendência de séries pluviométricas anuais longas (mais de 40 anos) do Paraná por meio de dois índices de quantificação da precipitação: o IC, elaborado por Martin-Vide (2004) e o IPC, por Oliver (1980).

Material e métodos

A área de estudo deste trabalho é o estado do Paraná, onde foram selecionadas séries pluviométricas com dados diários disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) no *site* Hidroweb. Foram selecionadas 38 séries pluviométricas, e o critério para essa seleção baseou-se em séries com mais de 40 anos para análise das tendências.

Na Tabela 1 e nas Figura 1, apresentam-se as séries selecionadas. Pode-se observar na Tabela 1 que as séries não têm o mesmo início e o mesmo fim. O objetivo de trabalhar com períodos diferentes foi aproveitar o máximo período de cada série. Por exemplo, há séries que começam em 1968 (é uma região onde todas as séries são curtas), assim como há outras que terminam em 2017. Buscou-se contemplar as séries que tivessem mais de 40 anos entre o início e o fim.

Figura 1 – Distribuição espacial das séries pluviométricas adotadas neste trabalho

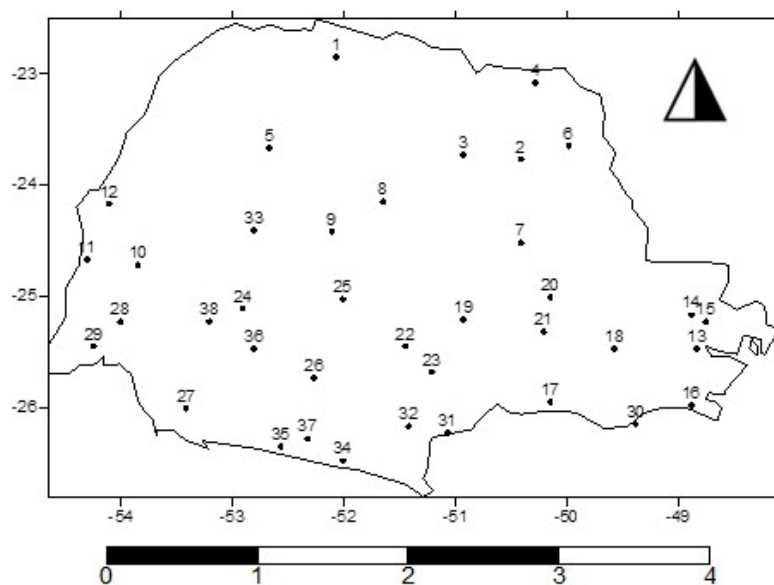


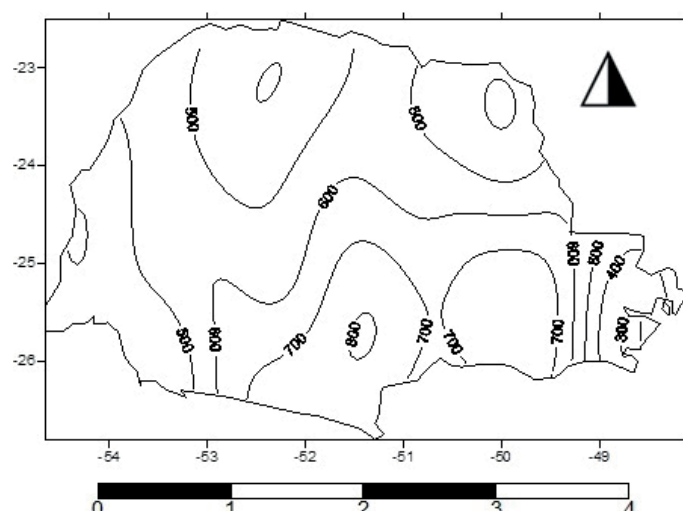
Tabela 1 – Localização das séries pluviométricas do Paraná

n	código	nome	altitude			período	
			latitude	longitude	(m)	início	fim
1	2252010	Paranacity	22°51'	52°04'	250	1968	2017
2	2349033	Tomazina	23°46'	49°57'	483	1937	2015
3	2350015	Tamarana	23°44'	50°56'	450	1949	2015
4	2350002	Andirá	23°05'	50°17'	375	1946	2015
5	2352000	P. Norte	23°40'	52°40'	250	1954	2014
6	2449000	Adrianópolis	24°39'	48°59'	180	1939	2015
7	2450002	Tibagi	24°31'	50°24'	640	1939	2017
8	2451014	Ivaiporã	24°15'	51°39'	650	1956	2016
9	2452008	Iretama	24°25'	52°06'	580	1966	2015
10	2453017	Toledo	24°43'	53°51'	500	1965	2015
11	2454003	M. C. Rondon	24°40'	54°18'	250	1964	2014
12	2454006	T. R. Oeste	24°10'	54°06'	360	1967	2015
13	2548000	Morretes	25°28'	48°50'	0	1940	2014
14	2548001	Praia Grande	25°10'	48°53'	750	1939	2014
15	2548003	Antonina	25°14'	48°45'	80	1947	2014
16	2548020	Guaratuba	25°59'	48°53'	150	1963	2014
17	2549003	Quitandinha	25°57'	49°23'	810	1941	2014

n	código	nome	altitude			período	
			latitude	longitude	(m)	início	fim
18	2549019	Campo Largo	25°28'	49° 34'	956	1965	2015
19	2550000	Prudentópolis	25°12'	50°56'	690	1938	2014
20	2550003	Ponta Grossa	25°12'	50°09'	790	1946	2017
21	2550015	Palmeira	25°19'	50°00'	870	1956	2014
22	2551000	Guarapuava	25°27'	51°27'	950	1956	2014
23	2551001	Inácio Martins	25°41'	51°12'	960	1958	2014
24	2552000	Q. Iguaçu	25°28'	52°54'	550	1950	2014
25	2553004	Jacutinga	25°02'	52°00'	600	1964	2014
26	2553005	Chopinzinho	25°44'	52°16'	470	1964	2014
27	2554002	F. Iguaçu	25°41'	54°25'	152	1950	2016
28	2554005	Matelândia	26°14'	54°00'	535	1966	2015
29	2554006	S. M. Iguaçu	26°21'	54°15'	307	1962	2014
30	2649018	Frasoso	26°09'	49° 23'	790	1968	2014
31	2651000	U. Vitória	26°14'	51°04'	736	1938	2014
32	2651004	P. Vitória	26°10'	51°13'	790	1946	2014
33	2652009	Pato Branco	26°03'	52°48'	550	1958	2014
34	2652010	Palmas	26°29'	52°00'	1.060	1965	2014
35	2652011	Mariópolis	26°21'	52°34'	850	1965	2014
36	2652012	Vitorino	26°16'	52°48'	710	1965	2014
37	2652015	Clevelândia	26°17'	52°20'	800	1965	2014
38	2653009	Marmeleiro	26°14'	53° 12'	700	1965	2014

A altitude dessas séries varia de 0 a praticamente 1.100 m, indicando um relevo sinuoso. Na Figura 2, pode-se observar essa distribuição espacial da altitude.

Figura 2 – Distribuição espacial da altimetria (metros) na área de estudo



A heterogeneidade da precipitação mensal foi estimada usando série de índices de concentração diária e mensal da precipitação. Os índices foram calculados no ambiente R, ou programa R, gratuito e de código aberto, excelente para análises estatísticas e com recursos

gráficos de alta qualidade. Há outros detalhes sobre o projeto, colaboradores, documentação e diversas outras informações em The R Project for Statistical Computing ([s.d.]).

Neste trabalho os dados foram analisados dentro desse ambiente, resultando nos cálculos dos totais anuais, IPC e IC, por meio do pacote Precintcon desenvolvido por Povia e Nery (2016).

O IPC consiste na estimativa da concentração diária da precipitação. Seu coeficiente e variabilidade foram elaborados originalmente por Oliver (1980) e modificados por De Luis et al. (1997). Os cálculos para a estimativa do índice estão expressos abaixo:

$$IPC = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} p_i)^2}$$

Onde P_i é a quantidade de chuva do mês ith calculada para cada uma das séries e para cada ano dentro do período de estudos. Como descreveu Oliver (1980), valores abaixo de 10 indicam uma distribuição mensal de precipitação uniforme no ano, enquanto os valores entre 11 e 20 denotam sazonalidade na distribuição das chuvas. Valores acima de 20 correspondem a climas com variabilidade mensal na quantidade de chuva.

O IC sugerido por Martin-Vide (2004) foi usado para determinar o relativo impacto de diferentes classes de precipitação, por exemplo, assim como na heterogeneidade da precipitação diária (Martin-Vide, 2004; Zhang et al., 2009; Li et al., 2011; Coscarelli; Caloiero, 2012).

Num dado período e lugar, a probabilidade de pequenas quantidades diárias de precipitação é maior do que a de grande quantidade. Em outras palavras: ao começar com menor classe de precipitação diária, as frequências absolutas de precipitação diária diminuirão exponencialmente (Brooks; Carruthers, 1953; Martin-Vide, 2004), ao longo das frequências.

O uso de IC para avaliar a contribuição dos dias de maior pluviosidade no total de precipitação baseia-se no fato de que a distribuição de frequências de precipitação segue uma distribuição exponencial negativa (Martin-Vide, 2004; Li et al., 2011; Wang et al., 2012).

No entanto, poucas dessas grandes quantidades diárias podem contribuir com uma significativa percentagem no total (Martin-Vide, 2004; Wang et al., 2012). De acordo com Li et al. (2011) e Coscarelli e Caloiero (2012), uma curva exponencial mostra a relação entre a percentagem acumulada de precipitação (Y) que contribuiu para as percentagens acumuladas do dia (X):

$$Y = aX \exp(bx)$$

Onde a e b são constantes. Essa equação produz uma linha poligonal. Assim, o IC pode ser calculado por:

$$IC = \frac{S}{5.000}$$

Onde S é a área delimitada pela bissetriz do quadrante, e a linha poligonal pode ser calculada como segue:

$$S = 5.000 - \int_0^{100} ax \exp(bx) dx$$

O teste de Mann Kendall é um teste não paramétrico que tem sido amplamente aplicado à detecção de tendências monotônicas em séries, sem especificar se essas tendências são lineares ou não lineares. O teste foi utilizado inicialmente por Mann (1945) e mais tarde alterado por Kendall (1975), que criou a correspondente estatística.

Segundo Goossens e Berger (1986) esse método é o mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas e permite a detecção e localização apropriada do ponto inicial de determinada tendência. Seu uso é recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), principalmente para identificar tendências em séries hidrológicas.

A tendência temporal dos dois índices (IPC e IC) foi detectada pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall (Kendall, 1948; Mann, 1945):

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

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = +1 \quad \text{if } (x_j - x_k) > 0$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = 0 \quad \text{if } (x_j - x_k) = 0$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = -1 \quad \text{if } (x_j - x_k) < 0$$

$$\text{Var}(s) = \frac{\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i i(i-1)(2i+5) \right]}{18}$$

Onde n é o número de pontos de dados, t_i é o número de laços de medida i . Nos casos em que o tamanho da amostra $n > 10$, o estatístico normalizado (Z) para um teste de cauda é formulado como:

$$Z = \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad S > 0$$

$$Z = 0 \quad S = 0$$

$$Z = \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad S < 0$$

O teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) foi usado para alcançar os resultados coerentes quando aplicado a área de estudo. Os cálculos são efetuados na planilha Makesens versão 1.0, desenvolvida por Tino Salmi, do Instituto Meteorológico da Finlândia (Salmi et al., 2002), por meio da ferramenta Microsoft Excel 2010 e a macro do Microsoft Visual Basic.

Resultados e discussão

Primeiramente, foi realizado o teste do total anual das séries do IP e do IPC; em seguida, dos totais anuais e dos totais sazonais, ou seja, período úmido (outubro a março) e período seco (abril a setembro).

Na Tabela 2, têm-se os testes Z para os valores anuais dos cálculos do IC e do IPC. Das 38 séries pluviométricas analisadas (para os valores de IC), 25 séries apresentaram algum tipo de tendência, ou seja, 66% das séries apresentaram tendências. As tendências negativas ocorreram em 12 séries de IC, ou seja, em 32% das séries de IC ocorreram tendências negativa. Como IC mede a concentração de chuva, pode-se afirmar que não houve concentração de chuva em 32% das séries anuais.

Tabela 2 – Teste de tendência do IC e do IPC e sua respectiva significância (sign.)

n	código	nome	anos	IC		IPC	
				teste Z	sign.	teste Z	sign.
1	2252010	Paranacity	50	-1,99	*	-0,27	
2	2349033	Tomazina	79	6,64	***	-1,84	+
3	2350062	Sapopema	50	-3,51	***	-0,92	
4	2350002	Andirá	70	0,84		-0,15	
5	2352000	P. Norte	61	-3,02	**	1,42	
6	2449000	Adrianópolis	77	0,69		0,42	
7	2450002	Tibagi	79	2,38	*	-0,81	
8	2451014	Ivaiporã	61	4,26	***	0,69	
9	2452008	Iretama	50	2,28	*	-0,21	
10	2453017	Toledo	51	0,37		0,62	
11	2454003	M. C. Rondon	52	-1,24		-1,24	
12	2454006	T. R. Oeste	49	-3,06	**	1,87	+
13	2548000	Morretes	76	4,82	***	1,58	
14	2548001	Praia Grande	75	-3,52	***	0,56	
15	2548003	Antonina	68	2,78	**	-0,93	
16	2548020	Guaratuba	52	1,94	+	1,11	
17	2549003	Quitandinha	74	1,32		-0,65	
18	2549019	Campo Largo	50	-5,04	***	1,49	
19	2550000	Prudentópolis	77	-2,53	*	1,91	+
20	2550003	Ponta Grossa	69	3,35	***	0,41	
21	2550015	Palmeira	59	-2,23	*	0,82	
22	2551000	Guarapuava	61	0,72		2,64	**
23	2551001	Inácio Martins	57	-0,48		0,71	
24	2552000	Q. Iguaçu	57	-0,48		0,49	
25	2553004	Jacutinga	51	-4,37	***	1,99	*
26	2553005	Chopinzinho	50	-2,77	**	2,26	*
27	2554002	F. Iguaçu	67	2,03	*	0,23	
28	2554005	Matelândia	49	0,84		1,33	
29	2554006	S. M. Iguaçu	53	0,68		0,47	
30	2649018	Fragoso	47	2,23	**	0,94	

n	código	nome	anos	IC		IPC	
				teste Z	sign.	teste Z	sign.
31	2651000	U. Vitória	77	-0,33		2,53	*
32	2651004	P. Vitória	69	2,59	**	2,04	*
33	2652009	Pato Branco	58	-3,46	***	1,46	
34	2652010	Palmas	51	-1,14		1,49	
35	2652011	Mariópolis	51	1,75	+	1,64	
36	2652012	Vitorino	50	1,21		1,25	
37	2652015	Clevelândia	50	1,01		0,31	
38	2653009	Marmeleiro	50	-1,87	+	2,96	**

Pode-se observar, pela tendência analisada neste trabalho, que não há uma resposta clara sobre concentração de precipitação na área de estudo, pois, das 38 séries analisadas, 11 apresentaram tendência negativa, ou seja, diminuição da concentração de chuva na área de estado, além de 24% das séries terem apresentado tendências positivas ou negativas, sendo uma tendência negativa e oito séries de IPC com tendências positivas.

Os resultados que surgem da aplicação do teste de Mann-Kendall aos valores anuais de IPC de cada estação evidenciam que 95% das séries pluviométricas apresentam uma tendência negativa significativa com um nível de confiança superior a 90%, o que revela tendência para uma distribuição de precipitação mensal mais uniforme durante o ano.

Na Figura 3, pode-se observar que o IC apresentou tendências positivas ou negativas em todo o estado, e a norte e a centro-oeste predominou a tendência negativa, isto é, não aumentou a concentração de chuvas.

Nas demais regiões há uma tendência ao aumento de concentração da chuva. Isso implica aumento da distribuição desigual de chuvas, podendo levar a dificuldades na prevenção de enchentes no estado.

Na Figura 4, tem-se a localização das tendências positivas (+) e negativas (-) dos valores do IPC. Na distribuição espacial das tendências do IPC, é possível observar que tendências positivas e localizadas ocorreram mais a centro-oeste do estado, sendo apenas uma tendência positiva a oeste da área de estudo. Nas séries do IPC, o Paraná denotou tendência a aumentar, indicando ocorrência de chuvas com distribuição sazonal.

Na Figura 5, tem-se a distribuição espacial das tendências das precipitações pluviais na área de estudo. Pode-se observar que as tendências positivas estão presentes sobretudo entre oeste e leste, denotando aumento de precipitação nessas regiões. A Figura 6 permite observar que as tendências foram positivas, preponderantemente, apresentando um padrão de distribuição muito parecido nos períodos, ou seja, ocorre um aumento de chuva, tanto no período úmido (com chuvas mais irregulares), quanto no período seco, com chuvas mais regulares.

Figura 3 – Distribuição espacial de todas as séries de IC com tendência a alguma significância (90%, 95%, 99% e 99,9%). (+) significa tendência positiva; (-) significa tendência negativa

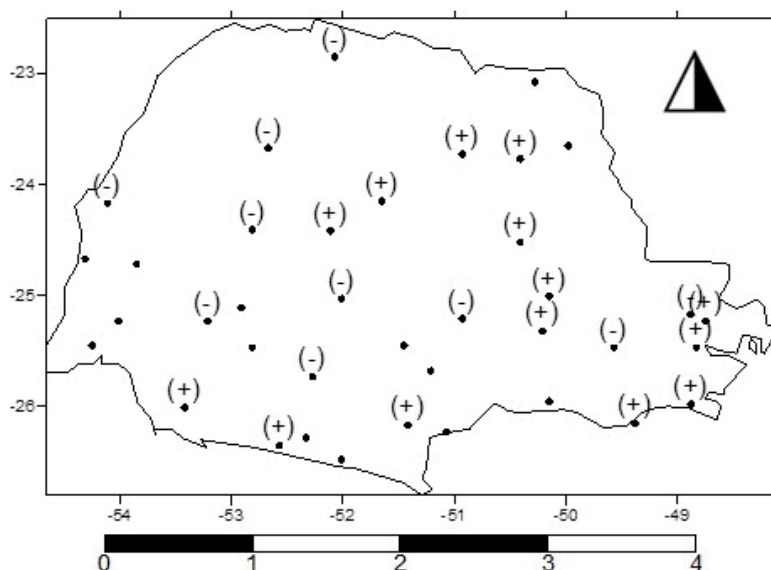


Figura 4 – Distribuição espacial de todas as séries de IPC com tendência a alguma significância (90%, 95%, 99% e 99,9%). (+) significa tendência positiva; (-) significa tendência negativa

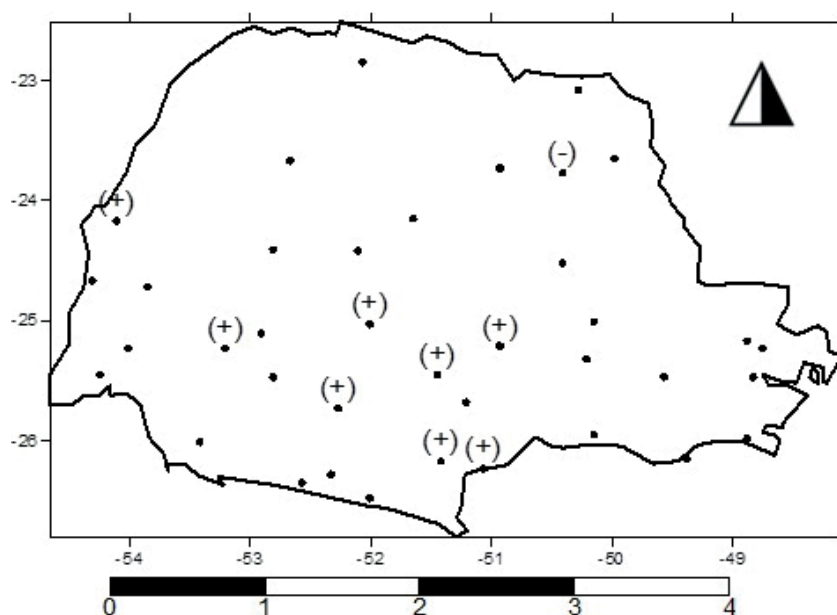


Figura 5 – Distribuição espacial da tendência da precipitação total anual no Paraná. (+) tendência positiva; (-) tendência negativa

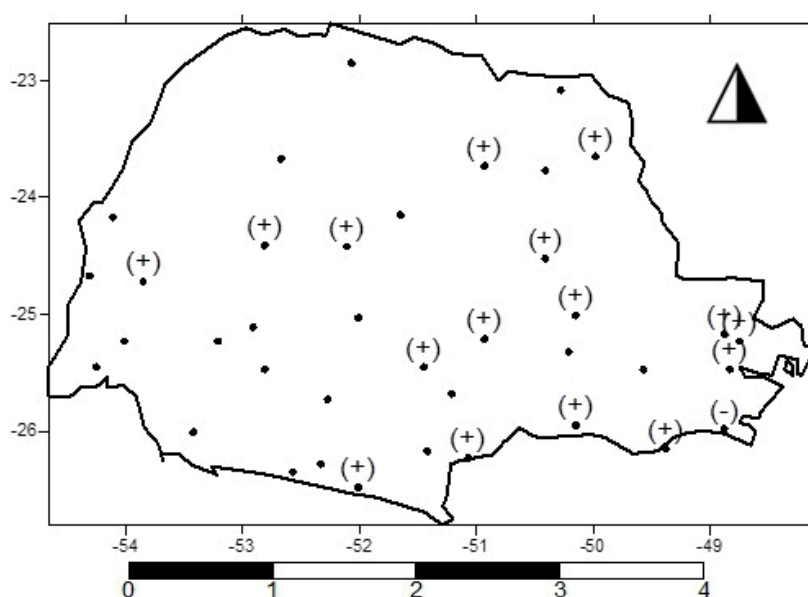
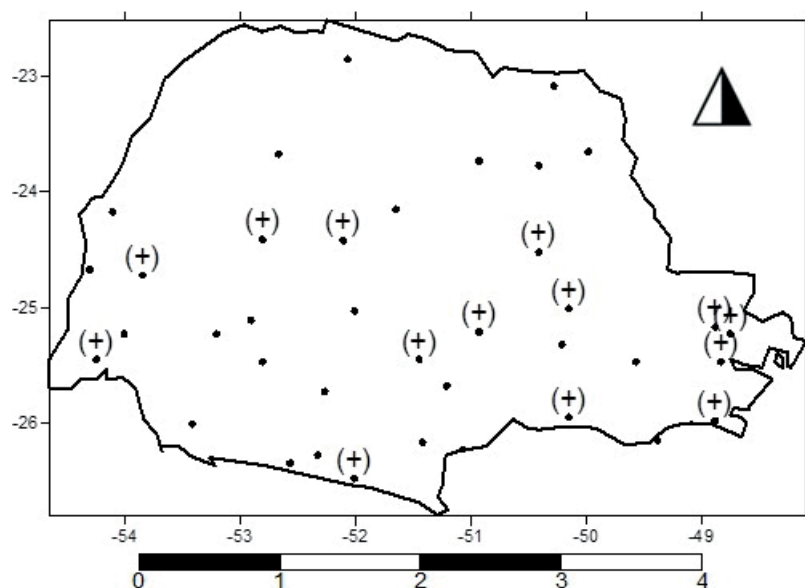


Figura 6 – Distribuição espacial da tendência da precipitação no período úmido no Paraná. (+) tendência positiva; (-) tendência negativa



Nas tendências pluviométricas do IPC, as variações espaciais do período úmido devem-se à atuação de mecanismos responsáveis pela formação das chuvas na região Sul do Brasil, visto que essa região, segundo Grimm (2009), apresenta grandes contrastes no regime de precipitação, com transição bem clara: no Norte, domina o típico regime de monção, com a estação chuvosa começando na primavera e terminando no início do outono, resultando em grandes diferenças entre o verão e outono.

Já no sul do estado, há distribuição aproximadamente uniforme de chuvas ao longo do ano. No período úmido, ocorre aquecimento da superfície e condução de umidade para o

interior do continente, o que tende a instabilizar a atmosfera, aumentando os processos convectivos, resultando em chuvas intensas na área de estudo.

No período úmido, os complexos convectivos de mesoescala (CCM), aquecimento local e ZCAS são frequentes e responsáveis por grande parte da precipitação total. No período seco, ocorre maior penetração de frentes no Paraná, provocando chuvas estratiformes e mais homogêneas na área de estudo.

A Figura 7 também apresentou tendências positivas e um padrão distribuição muito parecido com o da Figura 6, indicando, mais uma vez, aumento de chuva tanto no período úmido (com chuvas mais irregulares), quanto no período seco, com chuvas mais regulares.

As Figuras 8 a 13 apresentam as tendências positivas ou negativas do IC e do IPC de algumas séries analisadas.

Figura 7 – Distribuição espacial da tendência da precipitação no período seco no Paraná. (+) tendência positiva; (-) tendência negativa

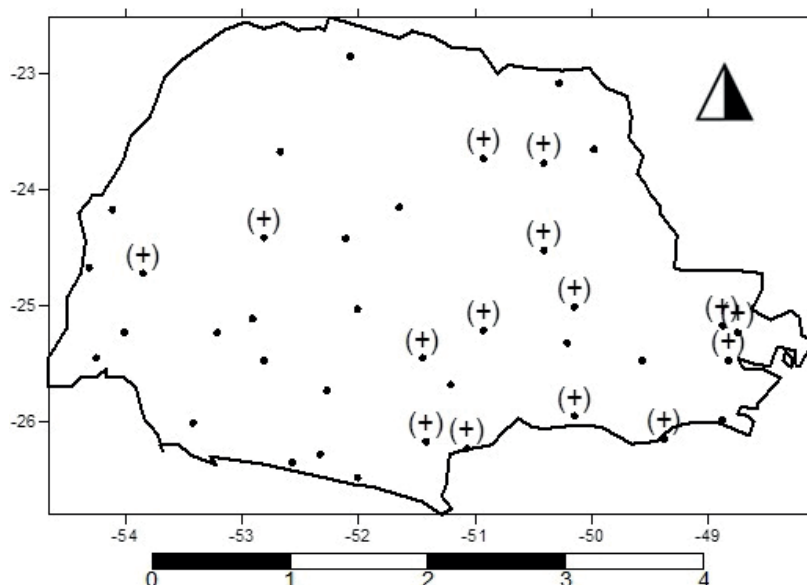


Figura 8 – IC em função do ano na estação 2553004

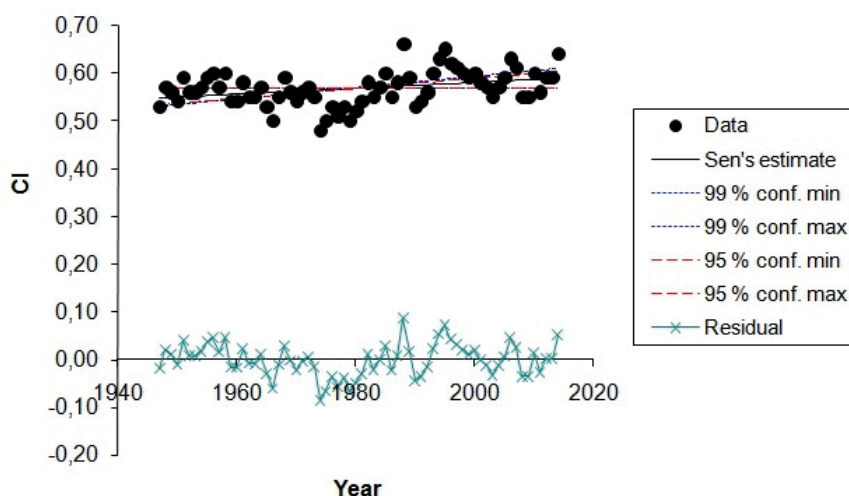


Figura 9 – IC em função do ano na estação 2653009

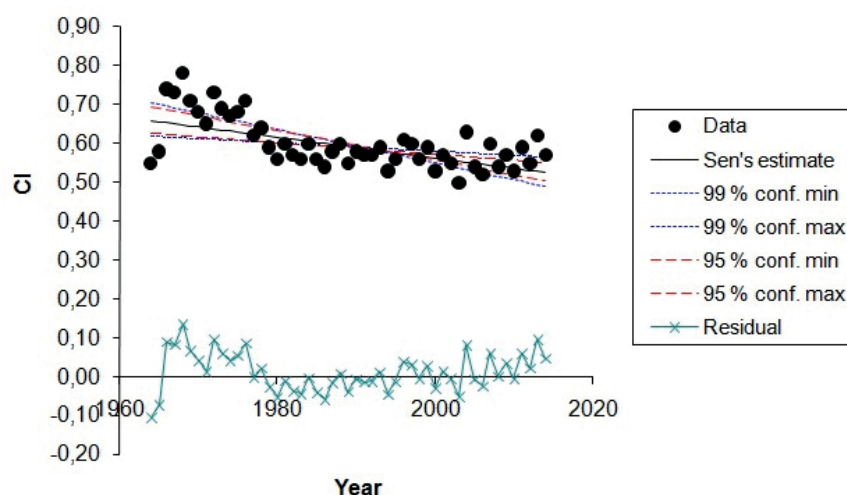


Figura 10 – IC em função do ano na estação 2548003

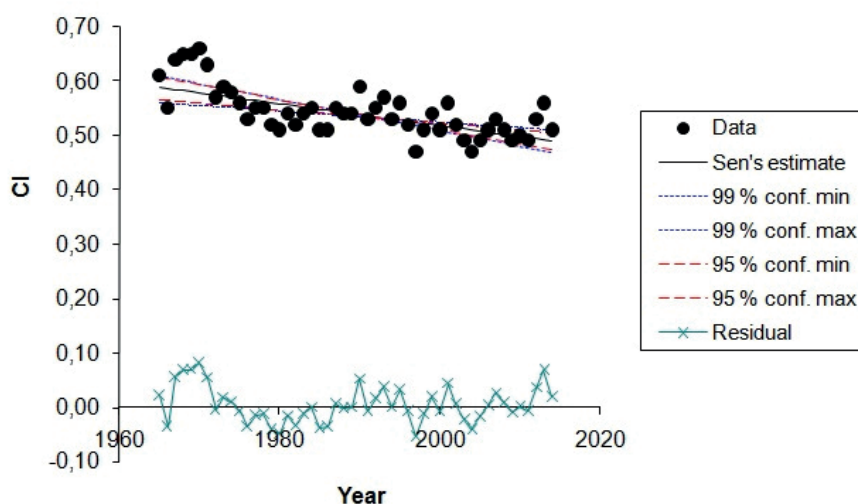


Figura 11 – IPC em função do ano na estação 2548001

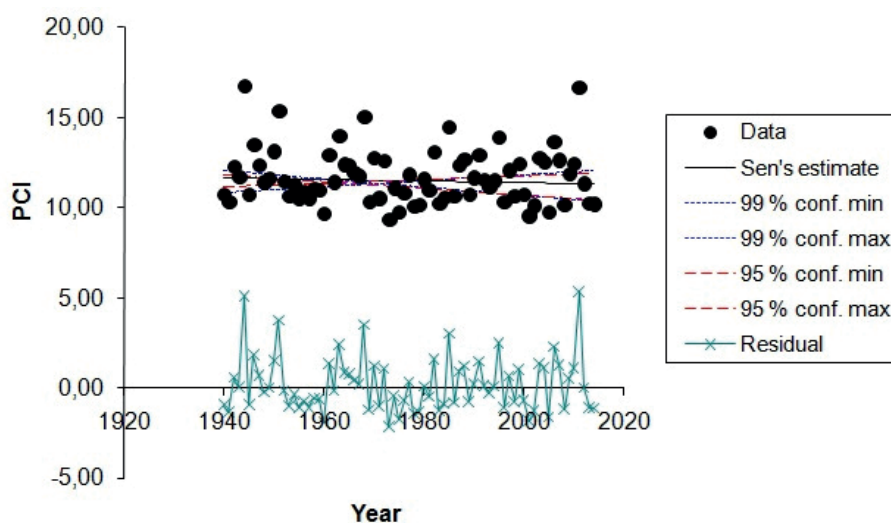


Figura 12 – IPC em função do ano na estação 2549000

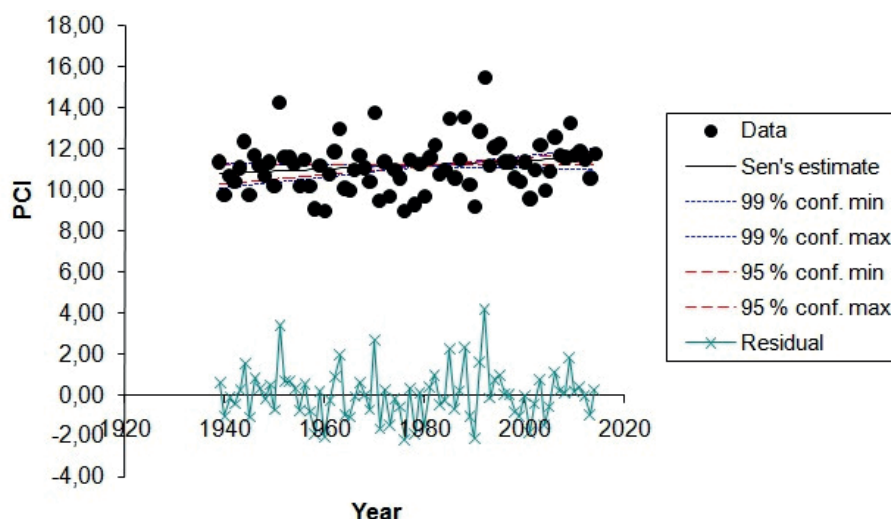
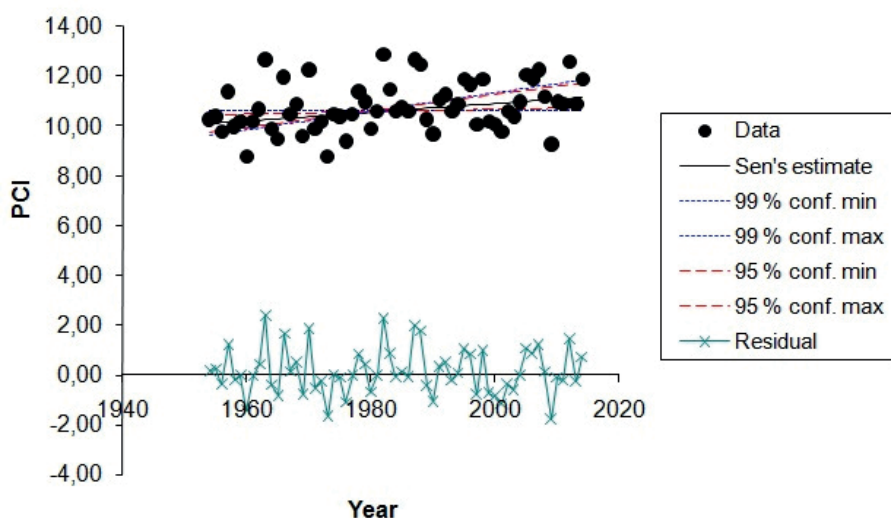


Figura 13 – IC em função do ano na estação 2551000



No contexto da variabilidade climática, a análise sazonal é fundamental para compreender a dinâmica em escala regional, que, em muitos casos, diverge e nem sempre acompanha a tendência global. Na Tabela 3, são apresentados os cálculos de tendência do total anual, período úmido e período seco, tomando como base Mann-Kendall, para verificar se há tendência estatisticamente significativa nas séries analisadas.

No cálculo da tendência central do total anual (PP_TOTAL), das 38 séries pluviométricas analisadas, 18 apresentaram algum tipo de tendência (positiva ou negativa), correspondendo a 47% relativo a número de séries analisadas, sendo 17 séries apresentando tendência positiva, como exposto na Tabela 3.

O valor de Z (teste Z) para o período úmido (PP_PU), das 38 séries pluviométricas analisadas, 37% apresentaram tendências positivas (11 séries pluviométricas de períodos úmidos, com valor de Z positivos). Para o período seco (PP_PS), das 38 séries analisadas, 16 apresentaram tendências positivas, ou seja, Z com valores positivos, Tabela 3.

Tabela 3 – Teste de tendência do total anual de precipitação (PP_TOT), do período úmido (PP_PU) e do período seco (PP_PS) e sua respectiva significância (sign.)

			N	PP_TOT		PP_PU		PP_PS	
n	código	nome	anos	teste Z	sign.	teste Z	sign.	teste Z	sign.
1	2252010	Paranacity	50	0,39		-0,16		0,33	
2	2349033	Tomazina	79	1,19		0,61		1,83	+
3	2350002	Andirá	70	2,67	**	1,59		2,79	**
4	2350015	Tamarana	67	0,43		0,49		0,37	
5	2352000	P. Norte	62	1,01		1,59		0,49	
6	2449000	Adrianópolis	77	2,02	*	1,24		1,61	
7	2450002	Tibagi	79	3,53	***	2,23	*	3,26	**
8	2451014	Ivaiporã	61	1,24		1,55		0,68	
9	2452008	Iretama	50	2,51	*	1,99	*	1,42	
10	2453017	Toledo	51	4,56	***	3,56	***	2,49	*
11	2454003	M. C. Rondon	52	0,45		-0,27		1,52	
12	2454006	Terra Roxa	51	0,49		0,29		0,31	
13	2548000	Morretes	76	5,51	***	4,81	***	4,01	***
14	2548001	Praia Grande	75	3,52	***	1,65	+	3,26	**
15	2548003	Antonina	68	4,32	***	3,39	**	3,36	**
16	2548020	Guaratuba	52	-2,27	*	-2,12	(+)	-1,33	
17	2549003	Quitandinha	74	4,19	***	2,63	**	3,04	**
18	2549019	Campo Largo	50	1,47		0,47		1,58	
19	2550000	Prudentópolis	77	4,21	***	2,14	*	2,58	*
20	2550003	Ponta Grossa	69	3,63	***	3,07	**	2,41	*
21	2550015	Palmeira	59	-1,03		-1,45		-0,57	
22	2551000	Guarapuava	61	3,26	**	3,22	**	1,86	+
23	2551001	I. Martins	57	1,38		0,51		1,74	+
24	2552000	Q. Iguaçu	57	1,42		0,47		1,35	
25	2553004	Jacutinga	51	-0,06		-0,54		0,47	
26	2553005	Chopinzinho	50	1,11		0,31		1,14	
27	2554002	F. Iguaçu	67	0,74		1,06		0,74	
28	2554005	Matelândia	49	1,12		0,21		1,01	
29	2554006	S. M. Iguaçu	53	-1,27		-1,74	+	0,22	
30	2649018	Fragoso	47	1,81	+	1,04		1,81	+
31	2651000	U. Vitória	77	3,45	***	0,78		3,23	***
32	2651004	P. Vitória	69	1,61		0,64		1,74	+
33	2652009	Pato Branco	58	2,72	**	1,82	+	1,77	+
34	2652010	Palmas	51	1,66	+	1,67	+		
35	2652011	Mariópolis	51	1,36		0,33		1,17	
36	2652012	Vitorino	50	0,93		0,55		0,88	
37	2652015	Clevelândia	50	-0,79		-0,25		-0,57	
38	2653009	Marmeleiro	50	0,32		0,64		1,21	

Considerações finais

A análise do grau de concentração de precipitação ao longo do ano é extremamente importante por seu alto impacto em fenômenos ambientais como inundações, secas, erosão do solo e estabilidade de taludes, mas também na gestão da água. Neste estudo, analisaram-se a distribuição de chuvas no dia a dia e escalas mensais. O IPC foi usado para avaliar a sazonalidade da precipitação e o IC, para avaliar o peso do maior evento no valor total da precipitação.

Tendências positivas no IPC e IC foram encontradas na maioria das estações e, em grande parte, estatisticamente significativas em muitas das séries analisadas. Das 38 séries pluviométricas analisadas (para os valores IC), 25 (66%) apresentaram algum tipo de tendência, positiva ou negativa.

As tendências negativas ocorreram em 12 séries de IC. Como esse índice mede a concentração de chuva, pode-se afirmar que não houve concentração de chuva em 32% das séries anuais.

Sobre os valores anuais de IPC de cada estação, 95% das séries pluviométricas apresentaram tendências negativas significativas, com nível de confiança superior a 90%, o que revela tendência a uma distribuição de precipitação mensal mais uniforme durante o ano.

Quanto ao total anual, houve tendências positivas em 47% das séries analisadas, especialmente mais a oeste e leste do estado, e o mesmo se verificou nos períodos úmidos e secos.

Referências

- BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.
- BROOKS, C. E. P.; CARRUTHERS, N. **Handbook of Statistical Methods in Meteorology**. London: Meteorological Office, 1953.
- COSCARELLI, R.; CALOIERO, T. Analysis of daily and monthly rainfall concentration in Southern Italy. **Journal of Hydrology**, v. 416-417, p. 145-156, 2012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.047>.
- DE LUIS, M.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; RAVENTÓS, J.; SÁNCHEZ, J. R.; CORTINA, J. Distribución espacial de la concentración y agresividad de la lluvia en el territorio de la comunidad valenciana. **Cuaternario y Geomorfología**, v. 11, n. 3-4, p. 33-44, 1997.
- GALLANT, A. J. E.; HENNESSY, K. J.; RISBEY, J. Trends in rainfall indices for six Australian regions: 1910-2005. **Australian Meteorological Magazine**, v. 56, p. 223-239, 2007.
- GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Berlin, v. 4, n. 4, p. 385-400, 1986.

- GRIMM, A. M. Clima na região Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. (Ed.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 259-275.
- HAYLOCK, M. R. et al. Trends in total and extreme South America rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v. 19, n. 8, p. 1490-1512, 2006. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI3695.1>.
- KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4th ed. London: Charles Griffin, 1975.
- KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. London: Grifliin, 1948.
- LI, J. S.; WANG, A. S.; CHEN, J. T. Spatial and temporal variation of precipitation leads to the serious flood and drought in Yangtze River Valley. **Disaster Reduction in China**, v. 9, p. 27-40 (in Chinese), 2010.
- LI, X.; JIANG, F.; LI, L.; WANG, G. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 11, p. 1679-1693, 2011. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.2181>.
- MANN, H. B. Nonparametric test against trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945. doi: <https://www.jstor.org/stable/1907187>.
- MARTIN-VIDE, J. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in -peninsular Spain. **International Journal of Climatology**, v. 24, n. 8, p. 959-971, 2004. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.1030>.
- MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H. Variabilidade climática sazonal e anual da chuva e veranicos no estado do Paraná. **Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 593-602, 2011. doi: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000500009>.
- MUELLER, E. N.; PFISTER, A. Increasing occurrence of high-intensity rainstorm events relevant for the generation of soil erosion in a temperate lowland region in Central Europe. **Journal of Hydrology**, v. 411, n. 3-4, p. 266-278, 2011. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.005>.
- OLIVER, J. E. Monthly precipitation distribution: a comparative index. **The Professional Geographer**, v. 32, n. 3, p. 300-309, 1980. doi: <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x>.
- POVOA, L. V.; NERY, J. T. Precipitation intensity, concentration and anomaly analysis. Contém funções para analisar a intensidade, a concentração e a anomalia da precipitação. **Precintcon**, 2016. Disponível em: <https://rdrr.io/cran/precintcon/man/precintcon.html>. Acesso em: 2 out. 2020.
- SALMI, T.; MÄÄTÄ, A.; ANTILLA, P.; RUOHO-AIROLA, T.; AMNELL, T. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates: the Excel template application Makesens. **Science Open**, Henslike, FI: Finnish Meteorological Institute, n. 35, 2002.

THE R PROJECT FOR STATISTICAL COMPUTING. Disponível em: <http://www.r-project.org>. Acesso em: 23 jul. 2019.

WANG, W.; XING, W.; YANG, T.; SHAO, Q.; PENG, S.; YU, Z.; YONG, B. Characterizing the changing behaviours of precipitation concentration in the Yangtze River Basin, China. **Hydrological Processes**, v. 27, n. 24, p. 3375-3393, 2012. doi: <https://doi.org/10.1002/hyp.9430>.

ZHANG, Q.; XU, C. Y.; MARCO, G.; CHEN, Y. P.; LIU, C. L. Changing properties of precipitation concentration in the Pearl River Basin, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v. 23, p. 377-385, 2009. doi: <https://doi.org/10.1007/s00477-008-0225-7>.

ZHANG, Q.; XU, C.-Y.; ZHANG, Z.; CHEN, Y. D.; LIU, C.-L.; LIN, H. Spatial and temporal variability of precipitation maxima during 1960-2005 in the Yangtze River Basin and possible association with large-scale circulation. **Journal of Hydrology**, v. 353, n. 3-4, p. 215-227, 2007. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.023>.