Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>

Análises de tendências e de periodicidades de séries pluviométricas da Zona Costeira Sul do Estado da Paraíba

Marie Eugénie Malzac¹, Bruno Lima de Oliveira², Maria Caroline Vitoriano Barros³ Tarciso Cabral da Silva⁴

¹Doutora em Engenharia Civil e Ambiental, Técnica em Recursos Hídricos da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, marieeugenie01@hotmail.com. ²Engenheiro Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, limabruno100@hotmail.com. ³Engenheira Ambiental, Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, caroline.eng25@gmail.com. ⁴Professor Titular, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, Campus I, CEP 58051-900, João Pessoa, Paraíba. (83) 3216-7355. tarcisocabral@gmail.com (autor correspondente).

Artigo recebido em 30/04/2021 e aceito em 16/11/2021

RESUMO

Na Zona Costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB) ocorrem os maiores índices pluviométricos do estado. As bacias hidrográficas na região apresentam rios perenes e, por conseguinte, há diversas captações de água para alguns usos. Ademais, há preocupação com a vulnerabilidade ambiental, referida à perda de solos, decorrente do uso e ocupação. A existência de informações divergentes acerca das tendências de séries de precipitações na região, anuais e das quadras chuvosas (QC), motivou a elaboração deste trabalho relativo a uma investigação sobre a existência de tendências. Foram realizadas verificações sobre a aleatoriedade dos valores das precipitações componentes das séries pluviométricas, o que poderia indicar oscilações e tendências. Os métodos utilizados foram os não paramétricos de Mann-Kendall, para verificar se há tendências positivas e negativas das séries pluviométricas, e o teste de frequência de fases de Wallis e Moore, buscando examinar se a sequência dos elementos da série é aleatória, considerando o nível de significância de 5%. Os resultados não revelaram haver tendências estatisticamente significativas nas séries temporais de precipitação dos postos estudados. Similarmente, o exame dos arranjos dos valores das séries indicou aleatoriedade nas séries de precipitação, do que se presume não haver tendências ou periodicidades. Palavras-chave: séries temporais de precipitação, mudanças climáticas, análises de tendências.

Trend and periodicity analysis of pluviometric series in the South Coastal Zone of the State of Paraíba

ABSTRACT

The highest rainfall indexes in the state of Paraíba occur in the Southern Coastal Zone (ZC-Sul/PB). In the watersheds of the region several perennial rivers occur and there are several abstractions of water for diversified uses. Furthermore, there is the concern with environmental vulnerability, referring to soil loss, arises mainly from use and occupation. The existence of divergent information about the rainfall series trends in the region, annual and rainy season (QC), led to the elaboration of this work concerning an investigation in the ZC-Sul/PB about the existence of trends. Thus, checks are made on the randomness of rainfall values component of rainfall series, which could indicate oscillations, as well as trends. The Mann-Kendall nonparametric method was used to check for the existence of positive and negative rainfall trends and the Wallis and Moore phase frequency test to examine whether the sequence of the series elements is random, taking into account the significance level of 5%. The results did not reveal statistically significant trends in the rainfall series of the studied stations. Similarly, examination of the arrangement of the series values indicated randomness in the precipitation series, and it is assumed that there are no trends or periodicities.

Keywords: precipitation time series, climate change, trend analysis.

Introdução

As chuvas são as responsáveis pela manutenção dos ecossistemas e são as provedoras de recursos hídricos para diversas atividades humanas, com destaque para o abastecimento d'água para a população das cidades e do campo.

Nesse contexto, deve ser destacada a erosão, com potencial de impacto negativo nos recursos hídricos, de origem natural e associado à desagregação das porções mais superficiais do solo a partir da ação de agentes exógenos diversos,

sendo a chuva um dos principais desses agentes (Pavani, 2018). Os modelos quantitativos para avaliação da disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas (Montaño e Souza, 2016; Gasque et al., 2018) e da vulnerabilidade ambiental referida à perda de solos, levam em conta, via de regra, as condições e análises relativas às características físicas como geologia, geomorfologia, climatologia, vegetação, tipos de solos, e seu uso e ocupação (Ross, 1994; Crepani et al., 2001). É evidente que os temas uso e ocupação do solo e climatologia são os únicos passíveis de mudanças ao longo do tempo, um pelo acelerado processo de ocupação do território que tem ocorrido, principalmente nas áreas costeiras, outro pelas possíveis mudanças do clima.

As mudanças de tendência no clima referem-se ao tópico mais importante nas pesquisas climáticas das últimas décadas e representam ainda um dos principais desafios da atualidade. O aquecimento global e as consequentes mudanças na precipitação anual têm atraído a atenção de pesquisadores em diferentes regiões do mundo (Silva et al., 2015; Gomes et al., 2021). Mudanças nas séries de precipitação anual foram identificadas em muitos estudos conduzidos em escala local, regional e global (Gocic e Trajkovic, 2013; Hamlaoui-Moulai, Mohammed Mesbah e Less, 2013; Silva et al., 2015; Almeida et al., (2020); Carvalho et al., (2020).

Segundo o estudo Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMCM, 2016), em relação à costa leste do Nordeste brasileiro e suas cidades, há convivência com eventos extremos desde o início da civilização. O aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de chuva, e os riscos de movimentos de massa, enchentes e enxurradas nas cidades costeiras brasileiras e seu entorno, implicam em demandas relativas a investimentos e medidas de adaptação frente às mudanças climáticas, com foco na redução de riscos e minimização dos impactos ocasionados pelos eventos climáticos extremos.

Na zona rural e em ambientes frágeis, como os característicos da zona costeira, o aumento da frequência de chuvas intensas pode implicar em danos ao ambiente, na medida em que seria potencial provocador de alterações no solo, como a evolução de processos erosivos e o consequente aumento da perda de solos férteis, assoreamento

das coleções d'água e alterações nos ecossistemas aquáticos.

Evidentemente, quanto maior a precipitação pluviométrica em um menor número de dias, maior será a intensidade pluviométrica e consequentemente maior será a vulnerabilidade à perda de solos, e o inverso indica mais estabilidade. Por outro lado, a disponibilidade hídrica nos cursos d'água e nos reservatórios fluviais se torna mais robusta na medida em que as chuvas se distribuem mais ao longo do ano.

Quanto às mudanças relativas às chuvas não parece haver unanimidade entre os pesquisadores sobre a situação na zona costeira entre os estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, haja vista as conclusões nem sempre concordantes.

Pereira (2014), estudando as precipitações anuais no período chuvoso, concluiu que as tendências positivas no litoral do Nordeste brasileiro, entre os Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, não são estatisticamente significativas pelo teste de Mann-Kendall.

Na pesquisa efetuada por Salviano, Gropo e Pellegrino (2016) as séries de precipitação não apresentaram tendências significativas em mais de 70% do território brasileiro em todos os meses; com tendências não significativas variando entre 72% e 95% nos meses de março e fevereiro, respectivamente. Ademais, nas análises desses autores, as tendências mensais de precipitação em áreas costeiras do estado da Paraíba resultaram em ausência de tendência significativa.

A pesquisa empreendida por Carvalho et al., (2020) não apontou tendências significativas nas séries pluviométricas anuais para os postos da zona costeira Leste do Nordeste brasileiro, que abrange a zona costeira do estado da Paraíba.

Em sentido contrário, a pesquisa efetuada por Limeira et al., (2012) concluiu haver tendências positivas das séries de precipitações anuais na microrregião do Litoral Sul paraibano. Os autores fizeram ainda prognósticos de maiores precipitações para os anos de 2050 e 2100 em 9,4% e 19,9% respectivamente, em relação à média dos valores das séries por eles estudadas.

Nos estudos efetuados por Medeiros et al., (2015), sobre os 223 municípios do estado da Paraíba, foi apontado nos seus resultados que houve tendências de redução dos índices

pluviométricos, mesmo com oscilações das precipitações ao longo da série amostral, que compreendeu de 52 a 102 anos de dados observados. Foram também observadas anomalias negativas nos postos representativos do litoral paraibano. Os estudos também apontaram que o litoral paraibano é o setor onde ocorrem os maiores índices pluviométricos do Estado e que durante todos os meses do ano os totais pluviométricos mais elevados ocorrem no litoral Sul da Paraíba.

No Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2016) são relatados resultados de *downscaling* de modelos globais que projetam acumulados anuais de chuva bem abaixo da média do clima presente nas cidades costeiras de Recife, João Pessoa e Natal. Ademais, as chuvas intensas representadas apresentam pequena tendência de aumento nessas cidades.

Para se considerar os estudos de vulnerabilidade ambiental e de disponibilidade hídrica na Zona Costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB), como dependentes apenas da ocorrência de mudanças do uso e ocupação do solo e de obras hidráulicas nas bacias hidrográficas, deve-se assegurar a inexistência de tendências das séries de precipitações anuais da região, apesar dos resultados nesse sentido apontados por Pereira (2014) e por Salviano, Groppo e Pellegrino (2016).

A metodologia de Crepani et al., (2001), para a avaliação da vulnerabilidade à perda de solos, tem sido adotada por diversos pesquisadores da zona costeira (Nascimento e Dominguez, 2009; Gomes, 2013; Machado et al., 2017; Costa, 2018) por motivos diversos, entre eles a facilidade de aplicação e praticidade com o uso de geotecnologias. Nessa metodologia, a duração do período chuvoso permite a quantificação empírica do grau de risco à erosão a que está submetida uma unidade de paisagem. Assim, também foram consideradas, para avaliação neste trabalho, as séries temporais correspondentes às chuvas ocorrentes nas quadras chuvosas (QC), que correspondem aos meses de abril, maio, junho e julho.

A ZC-Sul/PB foi a área objeto deste estudo, que teve sua delimitação realizada por Malzac e Cabral da Silva (2019), compreendendo diversos critérios, tendo sido considerado o geográfico como o mais adequado (Figura 1).

Este trabalho tem como objetivo relatar uma investigação feita sobre as tendências significativas de séries pluviométricas de totais

anuais e das médias das Quadras Chuvosas em cinco postos pluviométricos de municípios da ZC-Sul/PB. Assim, tendo em vista os resultados de estudos dispares existentes sobre as tendências de séries pluviométricas, as hipóteses consideradas são de ausência de tendências e oscilações significativas nas séries.

Para isso, foram feitos testes não paramétricos de avaliação de tendências, devido a Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) e o teste de frequência de fases de Wallis e Moore (1941), que busca verificar a aleatoriedade da sequência dos elementos da série e a decorrente ausência de tendências e periodicidade.

Material e métodos

Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo está situada na região geográfica Intermediária de João Pessoa, na região Imediata de João Pessoa, segundo a classificação do IBGE (IBGE, 2017), no estado da Paraíba, Nordeste do Brasil (Figura 1). A área corresponde a uma parte da área de atuação do Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul (CERH, 2003), que por sua vez é composta pelas bacias hidrográficas litorâneas dos rios Gramame, Abiaí e parte do rio Goiana, entre outras de menor porte de rios que afluem ao Oceano Atlântico, tais como as dos riachos Gurugi, Graú, Bucatu e Engenho Velho.

Os municípios totalmente inseridos nas áreas das bacias hidrográficas litorâneas Sul são: Alhandra, Caaporã, Conde, Pitimbu, e Pedras de Fogo. E os que são parcialmente inseridos são os municípios de João Pessoa, Santa Rita, Cruz do Espírito Santo e São Miguel de Taipu.

A ZC-Sul/PB localiza-se entre as latitudes 07° 11' e 07° 50' Sul, e longitude 34° 59' e 35° 53' Oeste. A sua área corresponde a 599,87 km², compreendendo cinco municípios, sendo Caaporã e Pitimbu em sua totalidade e os municípios de Conde e Alhandra em sua maior parte, além de pequena parcela do município de João Pessoa.

Na região litorânea são bem definidas duas estações climáticas. A estação quente, que permanece por 4 meses, de 22 de dezembro a 21 de abril, com temperaturas máximas médias diárias acima de 31 °C; o dia mais quente do ano ocorre no mês de março, tendo atingido valores de até 33,7 °C; a mínima média é de 26 °C. A estação fresca ou amena permanece por 2,8 meses, de 18 de junho a 12 de setembro, com temperaturas máximas

diárias médias abaixo de 29 °C. O dia mais ameno do ano ocorre entre o final de julho e início de agosto, com uma temperatura mínima média de 23

°C, e uma temperatura máxima média de 28 °C (Weatherspark, 2018; INMET, 2019).

Figura 1. Área de localização da ZC-Sul/PB e postos pluviométricos.

A ZC-Sul/PB apresenta precipitações médias anuais que varia entre 1.500 e 1.900 mm, sendo os meses de abril, maio, junho e julho os mais chuvosos.

A classificação climática de Köppen refere-se a tropical chuvoso, tipos Aw e Am (Medeiros, et al., 2015). No cartograma de pluviosidade média anual, mostrado na Fig. 2, pode ser observado o alto gradiente pluviométrico no sentido Leste – Oeste e os maiores valores de pluviometria média anual do estado na ZC-Sul/PB. Por outro lado, no sentido Norte-Sul as variações são discretas.

As elevações do terreno variam de 5 metros na planície costeira a aproximadamente 40 metros no tabuleiro costeiro (Cabral da Silva et al., 2008).

A vegetação nativa da ZC-Sul/PB é a Mata Atlântica, em aproximadamente 20% do seu território. Essa vegetação natural tem sido substituída pela cultura da cana de açúcar, culturas diversas (abacaxi, macaxeira, inhame, bambu) e pela urbanização.

Figura 2. Pluviosidade média anual no estado da Paraíba, com destaque para a ZC-Sul/PB

Fonte: Adaptado de Francisco e Santos, (2017).

Os testes de tendência e de periodicidade

Os testes detalhados a seguir foram aplicados aos valores de totais pluviométricos anuais e das médias da quadra chuvosa.

O teste de Mann-Kendall (MK)

O teste não-paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) tem sido utilizado por diversos pesquisadores para avaliação da significância de tendências de séries hidrometeorológicas sequencial (Salviano, Groppo e Pellegrino, 2016; Junqueira et al., 2020; Siqueira e Nery, 2020; Gomes et al., 2021). Esse teste considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples). Em outras palavras, consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial (Limeira et al., 2012). É contado o número de vezes que os termos restantes são maiores do que o valor analisado.

Salviano et al. (2016) descrevem que o método se baseia em rejeitar ou não a hipótese nula H_0 , de que não existe tendência na série de dados, adotando-se um nível de significância (α). O nível de significância pode ser interpretado como a probabilidade de se cometer o erro de rejeitar H_0 quando esta for verdadeira.

A variável estatística S , para uma série de n dados do teste de Mann-Kendall (MK) é calculada a partir da somatória dos sinais (sgn) da diferença, par a par, de todos os valores da série (x_i) em relação aos valores que a eles são futuros (x_j), expressa nas Eqs. 1 e 2.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (1)$$

Onde:

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & \text{se } x_j > x_i \\ 0; & \text{se } x_j = x_i \\ -1; & \text{se } x_j < x_i \end{cases}$$

Quando $n \geq 10$, a variável S pode ser comparada com uma distribuição normal, na qual a sua variância, $Var(S)$, pode ser obtida através da Eq. 2 na qual t_i representa a quantidade de repetições de uma extensão i (Por exemplo, uma

série histórica com três valores iguais entre si teria 1 repetição de extensão igual a 3, ou $t_i = 1$ e $i = 3$).

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (2)$$

O índice Z_{MK} segue a distribuição normal, na qual a sua média é igual a zero, valores positivos indicam uma tendência crescente e negativos tendências decrescentes. De acordo com o sinal de S , o índice Z_{MK} da distribuição normal é calculado a partir da Eq. 3:

$$Z_{MK} = \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}; \text{ para } S > 0$$

$$Z_{MK} = 0; \text{ para } S = 0 \quad (3)$$

$$Z_{MK} = \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}; \text{ para } S < 0$$

Por se tratar de um teste bi-caudal, para rejeitar a H_0 é preciso que o valor absoluto de Z_{MK} seja superior a $Z_{\alpha/2}$. Por exemplo, para $\alpha = 5\%$, $Z_{0,05/2} = Z_{0,025} = 1,96$ e, portanto, será considerada que a série tenha uma tendência significativa ao nível de 5% caso $Z_{MK} > 1,96$.

O teste de fases de Wallis e Moore (WM)

O teste de fases WM examina a sequência aleatória dos valores na ordem cronológica. Quando o arranjo dos dados não é aleatório, podem existir tendências ou oscilações (Koch & Rêgo, 1986).

Uma fase é definida por uma sequência de sinais iguais da série (pelo menos um sinal) das diferenças entre valores consecutivos:

Valores: $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \dots$

Diferenças: $(x_2-x_1), (x_3-x_2), (x_4-x_3), (x_5-x_4), (x_6-x_5), (x_7-x_6)$

Sinais: $+, -, +, -$

Fases: $1, 2, 3$

O número de fases é usado para calcular a variável de teste, sendo negligenciadas a primeira e a última fase.

Uma interpretação do número de fases mostra que um número pequeno de fases significa uma mudança contínua dos valores (Ex. oscilação com frequência pequena ou tendência), enquanto um número muito grande de fases significa influências com frequência grande (oscilação de

grande frequência). Uma série aleatória estará entre esses estados extremos.

A hipótese nula H_0 é definida como: o arranjo dos valores dentro da série investigada é aleatório, ou, detalhadamente, os sinais das diferenças dos valores consecutivos são arranjados aleatoriamente.

- Esquema do Teste WM

Definir o número de fases

Calcular o valor da variável de teste z por meio das Equações 4 ou 5:

$$\text{Para } N \geq 30: \quad z = \frac{\left| H - \frac{2N-7}{3} \right|}{\sqrt{\frac{16N-29}{90}}} \quad (4)$$

$$\text{Para } 10 < N < 30: \quad z = \frac{\left| H - \frac{2N-7}{3} \right| - 0,5}{\sqrt{\frac{16N-29}{90}}} \quad (5)$$

Onde:

H é o número de fases; N é o número de dados da série.

Escolher o nível de confiança $S = 1 - \alpha$

Definir z_α (a variável padronizada de distribuição normal, tabelada).

Decisão do teste:

$z \geq z_\alpha$: H_0 rejeitada

$z < z_\alpha$: H_0 não rejeitada

As séries de dados pluviométricos utilizadas

Os dados de pluviometria mensais foram obtidos da Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). As estações pluviométricas selecionadas seguiram o critério de que a série temporal deveria ser longa, com comprimento superior a 50 anos.

Todas as séries, após o preenchimento das falhas, referem-se aos dados relativos aos anos entre 1960 e 2017, compreendendo, portanto, séries de 58 anos de comprimento, sendo um posto para cada um dos municípios integrantes da ZC/Sul/PB.

As falhas de dados mensais nas séries foram preenchidas através dos métodos de Ponderação Regional e técnicas de Regressão Linear. Para cada falha detectada em determinada estação pluviométrica, procurou-se no conjunto de estações disponíveis da AESA, três localizadas o mais próximo possível daquela a ser preenchida, para possibilitar a aplicação dos métodos.

Resultados e discussão

A análise de consistência dos dados pluviométricos utilizados está sintetizada nos gráficos de Dupla Massa, onde pode ser visto que coeficientes de determinação R^2 variaram de 0,9988, da estação do Conde a 0,9999, e de Pitimbu (Figura 3).

Figura 3. Curvas das duplas massas para verificação da consistência das séries históricas: Conde (a) e Pitimbu (b).

As séries das precipitações anuais, dos valores da média da QC e das linhas de tendência estão mostradas na Figura 4. Os cinco postos estudados dos municípios integrantes da ZC-Sul/PB, e as suas

características referentes à localização, precipitações médias anuais, elevação e distância ao Oceano Atlântico (OA) constam na Tabela 1

Tabela 1. Características dos postos pluviométricos utilizados

Posto	Latitude (S)	Longitude (E)	Precipitações médias anuais (mm)	Elevação (m)	Distância ao OA (km)
João Pessoa	-7,20	-34,82	1.922,9	29	2,33
Alhandra	-7,43	-34,91	1.932,0	46	11,39
Conde	-7,25	-34,93	1.618,8	62	12,93
Pitimbu	-7,46	-34,84	1.846,4	12	2,94
Caaporã	-7,52	-34,92	1.883,9	67	19,98

A Figura 4 se refere às séries referentes aos totais pluviométricos anuais e dos valores médios da QC no período estudado.

Pode ser observado na Figura 4 que há tendências positivas de crescimento nas séries pluviométricas dos postos localizados mais ao sul da ZC-Sul/PB, quais sejam, Alhandra, Caaporã e

Pitimbu, enquanto que para as outras dos postos ao Norte, do Conde e João Pessoa, houve tendências negativas.

Para os as análises de tendências, relativas às séries de precipitações anuais e das médias da QC observadas nos postos pluviométricos considerados, adotou-se o nível de significância $\alpha = 0,05$.

Figura 4. Séries de valores pluviométricos anuais e das médias da QC.

Na Tabela 2 são exibidos os resultados das estatísticas do teste MK para as séries de precipitações anuais e da QC sendo o valor de VarS igual a 2,22E+04 para todas as séries. A análise da Tabela 2 deixa claro que todas as tendências não são consideradas estatisticamente significativas. Estes resultados se mostraram em concordância com os dos trabalhos realizados por Salviano et al., (2016), Pereira (2014), bem como os de Carvalho et al., (2020) para as séries de precipitações anuais.

As estatísticas resultantes da aplicação do teste de frequências de fases de WM são mostradas

Tabela 2. Estatísticas do teste MK para as séries de precipitações

Posto	Séries anuais		Quadra Chuvosa	
	S	Z _{MK}	S	Z _{MK}
João Pessoa	-0,48297	0,6291	-7,30e+01	0,48297
Conde	-0,32198	0,7475	-4,90e+1	0,32198
Alhandra	1,2343	0,2171	1,85e+02	1,2343
Caaporã	0,46956	0,6387	7,10e+01	0,46956
Pitimbu	0,10733	0,9145	1,70e+01	0,10733

Tabela 3. Estatísticas do teste WM para as séries de precipitações

Posto	Séries anuais		Quadra Chuvosa	
	H	z	H	z
João Pessoa	38	0,527	40	0,844
Alhandra	35	0,422	34	1,371
Conde	36	0,105	37	0,422
Caaporã	39	0,844	35	1,055
Pitimbu	37	0,211	36	0,413

Conclusões

A Zona Costeira Sul do estado da Paraíba apresenta os maiores valores de precipitação média anual no estado, o que leva a se esperar maior potencial de erosividade dos solos decorrente das chuvas e maiores disponibilidades hídricas nas bacias hidrográficas.

Essa região se caracteriza pelo alto gradiente pluviométrico negativo no sentido Leste-Oeste. Por outro lado, no sentido Norte-Sul as variações são discretas, porém com valores ainda maiores ao Sul. Foi possível observar que as tendências negativas das séries são verificadas ao

na Tabela 3 para as séries de totais anuais e das médias da QC. Conforme pode ser interpretado, o total de fases H resultaram em valores de cerca de 64% do comprimento das séries, o que pode ser considerado um número grande de fases e oscilações. Os valores das variáveis z indicaram que a hipótese H₀ não deve ser rejeitada, o que indica ausência de tendências e oscilações ao nível de significância de 5%.

Norte da ZC-Sul/PB, onde ocorrem valores menores de totais anuais de precipitação.

A aplicação do teste de Mann-Kendall às séries pluviométricas anuais e das médias da quadra chuvosa de 58 anos dos municípios da Zona Costeira Sul do estado da Paraíba não indicaram haver tendências estatisticamente significativas ao nível de significância de 5%.

De forma similar, o exame dos arranjos dos valores das séries devido a aplicação do teste de fases de Wallis e Moore indicou aleatoriedade na sequência dos valores de precipitação anuais e das médias da quadra chuvosa, inferindo-se que não há

tendências ou periodicidades ao nível de significância de 5%.

Os resultados das aplicações realizadas com os dois testes de verificação de tendências de séries temporais de precipitações apontaram concordância com os trabalhos de Salviano et al., (2016), Pereira (2014) e os de Carvalho et al., (2020) para as séries de totais anuais.

Os resultados alcançados indicaram a possibilidade da aplicação de metodologias de avaliação ambiental para cenários futuros sem a necessidade de levar em conta variações temporais dos índices pluviométricos. Semelhantemente, estudos de avaliação da disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas da região também podem ser realizados sem a preocupação de se considerar mudanças significativas decorrentes de tendências das séries pluviométricas.

Referências

- Almeida, G. G. L.; Paiva, A. L. R.; Oliveira, L. M. M.; Lins Leonardo, H. R. A., 2020. Análise de índices climáticos para avaliação do efeito de mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 01-17
- Cabral da Silva, T., Carvalho, M. B. M., Gadelha, C.L.M., Silva Junior, W.R., 2002. Diagnóstico e Hierarquização de Problemas de Drenagem Urbana da Zona Costeira Sul do Estado da Paraíba. *Engenharia Sanitária Ambiental* 13, 2, 144-152. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000200004>
- Carvalho, A. A. D., Montenegro, A. A. D. A., Silva, H. P. D., Lopes, I., de Moraes, J. E., & da Silva, T. G., 2020. Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24, 15-23
- Cerh. Resolução Nº 03, de 05 de novembro de 2003 - Áreas de atuação dos Comitês, Paraíba
- Costa, F. R. D., 2018. Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN). Tese (Doutorado). Natal. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/PRODEMA
- Crepani, E.; Medeiros, J. S. de; Hernandez, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V. Barbosa, C. C. F., 2001. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial. SAE/INPE. São José dos Campos
- Gasque, A. C. F., Neves, G. L., Santos, J. D., Mauad F. F., Okawa, C. M. P., 2018, Regionalização de vazões mínimas: breve revisão teórica. *REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil* 14, 2, 60-70
- Gocic, M., Trajkovic, S., 2013. Analysis of changes in meteorological variables using Mann–Kendall and sen’s slope estimator statistical tests in Serbia. *Glob Planet Change* 100, 172–182. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>
- Gomes, F. B. R.; Vargas, I. S.; Procópio, A. S.; Castro, S. R.; Ribeiro, C. B. M., 2021. Estudo da variabilidade espaço-temporal e tendências de precipitação na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul *Revista Brasileira de Climatologia*. ISSN: 2237-8642 (Eletrônica) Ano 17 – Vol. 28 – JAN/JUN 2021 367
- Gomes, R. L., 2013. Avaliação da Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Almada-Bahia. *Boletim de Geografia*, Maringá, 31, 3, 41-53. Doi: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v31i3.18650>
- Hamlaoui-Moulai, L., Mohammed Mesbah, D. S. G., Less, A. M., 2013. Detecting hydro-climatic change using spatiotemporal analysis of rainfall time series in Western Algeria. *Natural Hazards*, 3, 65, 1293–1311. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0411-2>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., 2017. Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias. Rio de Janeiro
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia., 2019. Normal climatológica de 1981-2010. Brasília Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> Acesso: 01 jun. 2019
- Junqueira, S. H.; Almeida, L. M. F.; Souza, T. S.; Nascimento, P. S., 2020. Análise da Variação Sazonal e de Tendências na Precipitação Pluviométrica no Município de Juazeiro-BA. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 13, 06 (2020) 2641-2649
- Kendall, M. G., 1975. Rank Correlation Methods. Griffin, London
- Koch, U., Rêgo, J. C., 1985. Aplicação de testes não-paramétricos para verificar a homogeneidade de séries hidrometeorológicas. *Revista Brasileira de Engenharia* 3, 1, 47-76
- Limeira, R. C., Sousa, F. de. A. S., Silva, V. de P. R., Oliveira, P. T., 2012. Tendência das chuvas no Estado da Paraíba. *Revista Hispeci & Lema* [online] 3. Disponível: <https://www.unifafibe.com.br/revistasonline/ar>

- quivos/hispecielemaonline/sumario/22/10122012205255.pdf. Acesso: 06 set. 2019
- Nascimento M. L., Loss, A., Bacic, I, L, Z., 2017. Vulnerabilidade à perda de solo na microbacia Lajeado Pessegueiro, Brasil. *Scientia Agropecuaria* 8, 2, 137-147. Doi: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.08>
- Malzac, M. E., Cabral da Silva, T., 2019. Delimitações da zona costeira Sul do estado da Paraíba, Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada* 19, 2, 123-141. Disponível: http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-n260_Malzac.pdf. Acesso: 31 jul. 2019
- Mann, H. B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259
- Medeiros, R. M. D., Francisco, P. R. M., Matos, R. M de., Santos, Djail., Saboya, L. M. F., 2015. Diagnósticos das Flutuações Pluviométricas no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 8, 4, 1017-1027. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.4.p1017-1027>
- Montaño, M., Souza, M. P., 2016. Integração entre planejamento do uso do solo e de recursos hídricos: a disponibilidade hídrica como critério para a localização de empreendimentos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. 21, 3, 489-495. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016118729>
- Nascimento, D. M. C., Dominguez, J. M. L., 2009. Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, 39, 3. Doi: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7686>
- Pavani, B. F., 2018. Pagamentos por serviços ecossistêmicos: proteção de recursos hídricos por Unidades de Conservação ambiental no Brasil. Tese (Doutorado). São José dos Campos, ITA.
- PBMC. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2016. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas. Rio de Janeiro
- Pereira, E. R. R., 2014. Índices pluviométricos na análise da intensidade e variabilidade regional das chuvas no Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado). Campina Grande, Universidade Federal de Campina Grande
- Ross, J. L. S., 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia - USP* 8, 63-74, Doi: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.
- Salviano, M. F., Groppo, J. D., Pellegrino, G. Q., 2016. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31, 1, 64-73. Doi <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786>
- Silva, R. M. D., Santos, C. A. G., Moreira, M., Corte-Real, J., Silva, V. C. L., Medeiros, I. C., 2015. Rainfall and river flow trends using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. *Natural Hazards*, 75, 1205-1221. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1644-7>
- Siqueira, B.; Nery, J. T., 2020. Tendências das séries temporais de precipitação no estado do Paraná. *Geousp – Espaço e Tempo (On-line)*, v. 24, n. 3, p. 616-633, ISSN 2179-0892
- Wallis, W. A., Moore, G. H., A Significance test for time series analysis. 1941. *Journal American Statistic Association* 36, 401 - 409. Disponível: <http://www.jstor.org/stable/2279616>. Acesso: 06 set. 2019
- WEATHERSPARK. Disponível: <https://pt.weatherspark.com/y/31438/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Jo%C3%A3o-Pessoa-Brasil-durante-o-anos>. Acesso: 26 jan. 2018.