Spatialization of precipitation and analyzes of trends obtained through the GPCC satellite for the state of Acre

David F. Ferreira Filho^{*}, Diego L. Crispim^{**}, Francisco C. L. Pessoa^{***}, Lindember L. Fernandes^{****}

^{*}Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil –PPGEC/UFPA. E-mail: davydferreira@gmail.com (autor correspondente)

^{**}Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil –PPGEC/UFPA. E-mail: dlimacrispim@gmail.com

^{***}Prof. Dr. no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil –PPGEC/UFPA. E-mail: linlinfer@gmail.com

^{****}Prof. Dr. no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil –PPGEC/UFPA. E-mail: fclpessoa@ufpa.br

Received 28 April 2019; accepted 13 May 2019

Abstract

This study aimed to analyze the spatial distribution, behavior and trend of monthly and annual precipitation in the state of Acre, Brazil. Thus, the annual and monthly total precipitation data obtained by the Global Precipitation Climatology Center (GPCC) in the period of 36 years (1982 - 2018) served as the basis for this research. The pluviometric variation was studied with emphasis on the definition of precipitation classes in the annual and monthly scales. A descriptive statistical analysis of the rainfall time series data was performed, as well as the non-parametric significance tests of Mann-Kendall and Spearman. In the analysis regarding the monthly scale, the results indicated that there is seasonality in the precipitation, there are two well defined climatic seasons, one less rainy that occurs from May to October, and one rainy season that starts in the month of November and goes until April. Still, in relation to the monthly analysis, it was found that the month with the highest rainfall is March and the month with the lowest is July. The nonparametric tests showed an increase in the volume of precipitation in the annual scale, thus, still needing in-depth studies on the subject.

Keywords: Amazon, spatial distribution, non-parametric tests.

Espacialização da precipitação e análises de tendências obtidas através do satélite GPCC PARA o estado do Acre

Resumo

Este estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial, o comportamento e a tendência da precipitação mensal e anual no estado do Acre, Brasil. Assim, os dados de precipitações totais anuais e mensais obtidos pelo Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) no período de 36 anos (1982 – 2018) serviram de base para esta pesquisa. A variação pluviométrica foi estudada com ênfase na definição das classes de precipitação nas escalas anuais e mensais. Foi realizado uma análise estatística descritiva dos dados das séries temporais de precipitação, assim como foi empregado os testes de significância não-paramétricos de Mann-Kendall e Spearman. Na análise no tocante a escala mensal, os resultados indicaram que ocorre sazonalidade na precipitação, existindo duas estações climáticas bem definidas, uma menos chuvosa que ocorre de maio a outubro, e uma estação chuvosa que inicia no mês de novembro e vai até abril. Ainda, em relação à análise mensal, constatou-se que o mês com maior precipitação é março e o com menor é julho. Os testes não paramétricos evidenciaram um aumento no volume de precipitação na escala anual, sendo assim, ainda precisando de estudos mais profundos acerca do assunto.

Palavras-chave: Amazônia, distribuição espacial, testes não-paramétricos.

1. Introdução

A precipitação é um importante componente do ciclo hidrológico, ela consiste de uma variável de entrada, essencial para dinâmica do meio físico e ambiental (Silveira et al., 2017a). Assim, é amplamente reconhecida através de muitos estudos como a variável climatológica mais importante da

região Tropical (Delgado e Souza, 2014; Oliveira Júnior et al., 2014), sendo determinante em estudos hidrológicos.

A precipitação na região amazônica é uma composição da evapotranspiração local adicionada a uma contribuição do Oceano Atlântico, assim 50% do vapor d'água que precipita pelas nuvens é gerado localmente, sendo o restante importado para a região

pelo fluxo atmosférico proveniente do Oceano Atlântico (Salati, 2006). Alguns autores destacam que as mudanças climáticas na região amazônica são decorrentes das alterações da cobertura da terra e uso do solo (Nobre et al., 2009), contribuindo para o aquecimento global.

Assim diversos estudos têm sido realizados a fim de analisar a variabilidade espacial e temporal da precipitação na Amazônia (Figueroa e Nobre, 1990; Delgado e Souza, 2014; Menezes et al., 2015; Silveira et al., 2017b), porém na região em específico vale destacar que ainda são poucos os estudos à análise da distribuição da precipitação.

A Agência Nacional de Águas – ANA disponibiliza séries pluviométricas através de informações hidrológicas HidroWeb, porém, em muitos dados fornecidos contém falhas diárias, mensais e anuais, ocasionando em alguns casos a inviabilização em estudos. Em hidrologia, estas séries históricas são de suma importância para o entendimento do regime hidrológico (Mello e Silva, 2005), porém, devido a estas falhas outros estudos são desenvolvidos utilizando outras ferramentas como modelagem climática (Silveira et al., 2017a) e geoprocessamento através de imagens de satélites (Joyce et al., 2004; Trenberth et al., 2007)

O uso da chuva estimada por satélite como dado de entrada de modelos hidrológicos pode ser uma alternativa para fornecer previsões de precipitação em unidades com poucos dados ou quase nenhum, facilitando o gerenciamento dos recursos hídricos e estudos acerca da previsão de impactos ambientais (Hrachowitz et al., 2013). Desde então é mais comum o uso de ferramentas como o Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), que é um Centro de Climatologia Global de Precipitação como contribuição alemã para o Programa Mundial de Pesquisa Climática (WCRP), operando para análise global de precipitação mensal na superfície do solo com base em dados *in situ* do pluviômetro (Schneider et al., 2011).

Por estes motivos que estudos envolvendo análises de tendências de precipitação em bacias

hidrográficas, estão sendo amplamente desenvolvidos +nos últimos anos (Silveira *et al.*, 2017a). Testes como MannKendall, Spearman e Sen's são utilizados para estudos de previsão de tendências de precipitações, com objetivo de melhor entender o comportamento da Bacia Hidrográfica.

Em face do exposto, observa-se que o conhecimento a respeito da variabilidade e distribuição da chuva ao longo do tempo é essencial para monitorar os impactos resultantes de sua escassez ou excesso em determinado local. Assim, este estudo tem como objetivo analisar a tendência, o comportamento e a distribuição da precipitação anual e mensal no estado do Acre, no período de 1982 a 2018, por testes estatísticos não paramétricos e pela ferramenta denominada GPCC, diferenciando de análises feitas de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) ou do Instituto Meteorológico (INMET).

2. Material e métodos

Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado no estado do Acre situado na região Norte do país (Figura 1). Este estado é constituído por um conjunto de 22 municípios, arranjados em duas mesorregiões, a saber: Vale do Acre e Vale do Juruá (Cunningham et al., 2017).

O estado do Acre tem uma extensão territorial de 164.123,7 km², representando cerca de 4% da área territorial do Amazônia brasileira e 1,9% do território do país (IBGE, 2010). Além disto, tem uma população de 733.559 e uma densidade demográfica de 4,47 hab./km² (IBGE, 2010).

De acordo com a classificação de Köppen o clima no estado do Acre é do tipo equatorial, quente e úmido (Lessa et al., 2016). Este estado tem uma precipitação média anual entre 1.600 mm a 2.750 mm/ano, com uma umidade relativa do ar alcançando 90%, apresentando temperaturas médias anuais entre 24,5 °C a 32 °C, sendo homogênea em toda sua área (Lessa et al., 2016; ACRE, 2010).

Figura 1 - Mapa de localização do estado do Acre.

Obtenção dos dados Pluviométricos

O Serviço meteorológico Alemão é responsável pelos dados de precipitação disponibilizados pelo GPCC. Este utiliza o método de Shepard para interpolar os dados das estações meteorológicas em pontos de grade, esses pontos regulares são então calculados para fornecer a precipitação total mensal acumulada anual. O produto de precipitação Versão-2 é baseado em cerca de 6500-7000 estações pluviométricas em todo o mundo (Adler et al., 2003). Os dados utilizados pelo GPCC são de pluviômetros provenientes dos Serviços

Meteorológico e Hidrológicos Nacionais, no caso do Brasil o GPCC utiliza os dados dos pluviômetros da ANA, INPE, INMET e etc. (Gomes, 2008).

Para a análise da precipitação do estado do Acre foram utilizados os dados de precipitação do GPCC disponibilizados gratuitamente em: <https://kunden.dwd.de/GPC> C/Visualizer com resolução de 1° x 1°. Foram adquiridos os dados mensais de 1987 a 2016 referentes ao quadrante que cobre todo o limite do Acre, o qual compreende as latitudes entre 12°S a 6°S e as longitudes entre 75°W a 66°W (Figura 2).

Figura 2 – Localização dos pontos do Global Precipitation Climatology Centre (GPCC).

Método de Interpolação Krigagem (Kriging)

Para o estudo temporal da precipitação no Acre foram produzidos gráficos com as médias das precipitações mensais e anuais para o período em estudo. A fim de analisar a distribuição espacial da precipitação foram construídos mapas utilizando a técnica de interpolação a partir da ferramenta Kriging do software Arcmap versão 10.5.

Krigagem é um método geoestatístico utilizado para interpolação, o qual se baseia na teoria das Variáveis Regionalizadas, a qual afirma que a variação espacial de um fenômeno é estatisticamente homogênea em uma área, por tentar expressar tendências sugeridas pelos dados (Medeiros; Lucio; Silva, 2017).

Segundo Alves e Vecchia (2011), a Krigagem define o grau de dependência ou correlação espacial entre as amostras por semivariograma. De acordo com Landim; Sturaro; Corsi (2002), a realização da Krigagem ocorre pela função:

$$Z_{x_0} = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{x_i} \quad (1)$$

sendo a condição de que:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (2)$$

Em que: Z_{x_0} = Valor estimado do atributo no local x_0 , λ = peso, i = indicador da amostra, $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Análise de tendências de precipitação

Para observar a existência de tendência nas séries de precipitação pluvial foram considerados os totais anuais, estes dados foram submetidos aos testes estatísticos não-paramétricos, a saber, Mann-Kendall, Spearman e Sen Slope, neste estudo foi empregado um nível de significância α de $0,05 = 5\%$ (Tabela 1), usualmente empregado neste tipo de pesquisa (Moreira e Naghettini, 2016; Silveira et al., 2017b).

Tabela 1- Valor crítico associado ao grau de confiança na amostra.

Grau de confiança	Nível de significância α	Valor crítico Z $\alpha/2$
95%	0,05	1,960

Fonte: Levin (1987).

Teste de MannKendall

O teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) 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).

A variável estatística S, para uma série de n dados do teste de Mann-Kendall é calculada a partir da somatória dos sinais da diferença, par a par, de todos valores da série em relação aos valores que a eles são futuros, expressa nas Equações 3 e 4 abaixo:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{Sinal}(X_j - X_k) \quad (3)$$

Em que: X_k - retrata os valores da série de precipitação, geralmente tomados em períodos anuais, j e k - consistem em índices de tempo, e n - representa a quantidade de observações da série. Por fim, o termo sinal $(X_j - X_k)$ é definido por:

$$\text{Sinal}(X_j - X_k) = \begin{cases} 1, & \text{se } (X_j - X_k) > 0 \\ 0, & \text{se } (X_j - X_k) = 0 \\ -1, & \text{se } (X_j - X_k) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Quando N é maior ou igual a 10, a variável S pode ser comparada com uma distribuição normal, na qual a sua variância ($\text{Var}(S)$), pode ser obtida através da Equação 5:

$$\text{Var}_{(s)} = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (5)$$

O indicie Z_{MK} segue a distribuição normal, na qual valores positivos indicam uma tendência crescente e negativas tendências decrescentes. De acordo com o sinal de S, o indicie Z_{MK} da distribuição normal é calculado a partir da Equação 6 abaixo:

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

Por se tratar de um teste bicaudal, para rejeitar a hipótese nula (H_0) deve o valor de $|Z_{MK}|$ seja superior a $Z_{\alpha/2}$. Neste estudo foi utilizado um nível de confiança de 95%, logo, para um nível de significância $\alpha = 5\%$, o valor crítico $Z=1,96$,

portanto, será considerada que a série tenha uma tendência quando $|Z_{MK}| > 1,96$. Segundo Moreira e Naghettini (2016) e Silveira et al. (2017b) o sinal de $|Z_{MK}|$ mostra se a tendência é crescente ($|Z_{MK}| > 0$) ou decrescente ($|Z_{MK}| < 0$).

Teste de Spearman

Este teste baseia-se no cálculo do coeficiente de correlação das ordens respectivas de x e de y no conjunto de todos os pares de valores. O coeficiente de Spearman é calculado pela Equação 7 a seguir:

$$\rho_s = 1 - \frac{6}{n^3 - n} \sum_{i=1}^n (Rx_i - Ry_i)^2 \quad (7)$$

Em que: R_{xi} = Ordem do elemento Xi na série em ordem natural; R_{yi} = Ordem do elemento Xi na série na forma crescente; n = Número de elementos da amostra.

O coeficiente de Spearman é uma variável aleatória com distribuição simétrica, com média e variância mostradas na Equação 8:

$$E(\rho_s) = 0 \text{ e } var(\rho_s) = \frac{1}{n-1} \quad (8)$$

Assim, a estatística do teste é dada pela Equação 9:

$$t_{n-2} = \frac{(n-2)\rho_s^2}{\sqrt{1-\rho_s^2}} \quad (9)$$

Desta forma, compara-se a estatística T_{n-2} calculada pela Equação 9 com o valor de T da tabela de T-Student, para nível de significância de 5%. Se o valor calculado T_{n-2} for maior que o valor de tabela $T_{n-2,\alpha}$ rejeita-se a hipótese de independência das amostras x e y.

Segundo Silveira et al. (2017b) e a hipótese nula (H_0) indica que não existe nenhuma tendência ao longo do tempo, enquanto a hipótese alternativa (H_1) mostra a ocorrência de tendência positiva ou negativa na série de dados.

3. Resultados e discussão

Com base nos dados fornecidos pelo GPCC, 35 anos, foi feita a interpolação dos mesmos afim de obter informações acerca da variabilidade de precipitação no estado do Acre.

Segundo Silva (2007), a vantagem da utilização dos dados de precipitação do Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) é que são dados medidos in situ, logo erros relacionados aos dados coletados por estimativas de satélite são

menores. Esses dados são interpolados para uma grade de $1^\circ \times 1^\circ$ de espaçamento horizontal.

Os dados de precipitação são verificados para posterior codificação, digitação ou transmissão dos erros. Além disso, eles são verificados de acordo com a homogeneidade espacial sendo comparada com a climatologia da região e também ocorre comparações entre diferentes fontes de dados. Dados de precipitação tido como questionáveis no processo automático são verificados manualmente por um especialista que levará em consideração a climatologia da região, uso e cobertura da terra e orografia (Adler et al., 2003).

A Figura 3 apresentam a distribuição espacial da precipitação média acumulada para o estado, indicando que quanto mais próxima de áreas de fronteiras internacionais as precipitações acumuladas são menores, em contrapartida no sentido em direção ao estado do Amazonas verifica-se que há um aumento do volume acumulado, mais precisamente a Noroeste do estado do Acre, este fato pode ser explicado pelo sistema de precipitações máximas da Zona de Convergência do Atlântico Sul, verificado em estudos como de Figueroa e Nobre (1990), Marengo et al. (2001), Souza e Ambrizzi (2004) e Cavalcanti et al. (2017).

Segundo Lundgren et al. (2017), a Krigagem permite estimar o valor de um atributo em um local qualquer, apenas tomando o valor do atributo em alguns locais conhecidos e próximos ao local em que o atributo será estimado. Por outro lado, além da espacialização dos dados, buscou-se estudar a sazonalidade para explicar melhor os efeitos da precipitação na região para futuras projeções. O comportamento do ciclo anual, considerando os valores médios mensais foram ilustrados nas Figuras 4 e 5.

Segundo Lundgren et al. (2017), duas premissas permitem que a krigagem seja considerada como um excelente estimador no uso de interpolações, primeiramente a krigagem é um estimador não tendencioso e também possui a variância mínima das estimativas.

Observando-se as Figuras 4 e 5, constata-se que os meses de novembro a abril são os meses com maiores volumes de chuvas mensais acumulados e os meses de maio a outubro considerados os meses com menores volumes acumulados. Assim, percebe-se a existência de variabilidade na precipitação total anual para o período analisado. Na Figura 6, com base nos resultados obtidos por meio das médias mensais das precipitações, constatou-se que o mês com o maior registro de precipitação mensal é janeiro com valor superior a 260 mm, enquanto o mês menos chuvoso é julho com valor abaixo de 42 mm, apresentando a variação mensal da precipitação para o período de

1982 a 2018, nesta constata-se que as médias mensais indicam duas estações bem definidas para o estado do Acre, ou seja, um período menos chuvoso que ocorre de maio a outubro, e uma estação chuvosa que inicia no mês de novembro e vai até abril (Figura 6). Deste

modo, com base nestes resultados, verifica-se uma ocorrência de sazonalidade na precipitação média mensal.

Figura 3 - Distribuição espacial de precipitação média anual acumulada.

Figura 4 - Distribuição espacial da média mensal acumulada da precipitação de janeiro a junho (1982 – 2017).

Figura 5 - Distribuição espacial da média mensal acumulada da precipitação de julho a dezembro (1982 - 2017).

Figura 6 - Variação mensal da precipitação para o período de 1982 a 2018. Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Coulibaly e Becker (2007) realizaram um estudo na África do Sul no qual utilizaram diversos métodos de interpolação como: krigagem comum, krigagem universal, cokrigagem e inverso quadrático da distância, para analisar a espacialização da precipitação na região por meio de 545 estações. Nesse estudo, a krigagem ordinária alcançou os melhores resultados, no qual a definição dos parâmetros foi determinada por análises de sensibilidade (Alves e Vecchia, 2011). Porém no estudo de Medeiros; Lucio; Silva (2017), quando comparados os resultados da krigagem universal e krigagem ordinária para o estado do Rio Grande do

Norte, a interpolação pela krigagem universal apresentou menores erros de predição, sendo então considerada mais eficiente para a região de estudo.

O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2016) fez uma pesquisa a respeito do panorama hídrico no estado do Acre, dentro desta pesquisa foi analisado o comportamento da precipitação mensal, na qual foi identificado a existência de sazonalidade no regime de chuva.

No estudo realizado por Macêdo et al. (2013) foi constatado a existência de um comportamento sazonal das variáveis climáticas, indicando a

ocorrência de duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra menos chuvosa.

Silva; Lúcio; Brown (2016) observaram que no município de Rio Branco — AC, existe variabilidade na precipitação, isto é, os resultados alcançados evidenciaram duas estações bem definidas, por exemplo, uma estação chuvosa que vai do mês de dezembro até abril, neste período ocorre chuvas em abundância e de forma contínua, e a outra estação é a menos chuvosa, que inicia no mês de maio e vai até novembro

Delgado et al. (2012), identificaram a ocorrência de variabilidade da precipitação para um período analisado de 30 anos (1971-2002), estes ressaltaram em sua pesquisa que o ano de 1990 obteve o maior registro de precipitação que foi de 2848,1 mm.

Os resultados encontrados nesta pesquisa no tocante as variações mensais da precipitação estão em concordância com ao estudo de Limberger e Silva (2018) (Figura 7), onde demonstrou os meses de sazonalidade para a Amazônia, onde o

comportamento do presente estudo obedeceu às análises do autor.

Estudos realizados por Duarte (2005), no qual analisou a variabilidade e tendência das precipitações pluviais no município de Rio Branco, AC e Delgado et al. (2012), que estudaram a variabilidade anual da chuva para o município de Cruzeiro do Sul, AC, observaram a ocorrência de uma variabilidade interanual das chuvas, logo, convergindo com os resultados obtidos nesta pesquisa.

Outros estudos como (Limberger e Silva, 2018) indicaram que a Amazônia Ocidental Brasileira, mais precisamente no estado do Acre, tem sofrido constantes mudanças climatológicas sob influência da umidade do Atlântico Norte. Macedo et al. (2013) relatou em seu estudo que na bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla na Amazônia Ocidental foi identificado que o mês com menor precipitação foi julho para o período de 1998 a 2005, semelhante ao estudo apresentado.

Figura 7 – Ciclo sazonal de precipitação na Amazônia. Fonte: Limberger e Silva (2018).

Para efeito de estudos futuros, a estatística descritiva foi realizada para verificar o comportamento do regime de chuva registrado no estado do Acre, onde indica que a média observada para o total anual foi de 5494,16 mm para o período de 1982 a 2018, com uma precipitação máxima de 904,6 e mínima de 0 mm (Tabela 2).

Em relação aos máximos e mínimos de precipitação, na Figura 8 abaixo é ilustrado o gráfico

do tipo *box plot* para a série de precipitação do estado do Acre. Assim, este possibilita visualizar a média, o primeiro e o terceiro quartil, o maior e o menor valor da série, assim como identificar valores extremos, também denominados como *outliers*. Constata-se, de imediato na Figura 8, que 50% das precipitações estão entre 70 a 250 mm. Todavia, 25% dos dados de precipitação estão acima de 250 mm e 25% inferior a 70 mm.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos dados de precipitação total mensal referente ao período de 1982 a 2018.

Estatística Descritiva	Dados da série histórica de precipitação (Anual)
Número de observações	5328
Mínimo	0
Máximo	904,6
Amplitude Média	904,6
1° Quartil	57,3
Mediana	139,16
3° Quartil	224,64
Média	149,1
Variância	11166,9
Desvio Padrão	105,67

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Figura 8 - Box plot dos quartis da série de precipitação do estado do Acre.

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Observa-se, ainda na Figura 8, um valor extremo (outliers) na série de dados, este referente ao ano 1990, pois, foi registrado o valor máximo observado para série temporal de precipitação. Nas pesquisas realizadas por Duarte (2005) e Delgado et al. (2012) também foram identificados um comportamento atípico de chuva para o ano de 1990.

Também a efeito de estudo e para melhor entender o comportamento da região, realizou-se os testes de tendência afim de ajudar no planejamento futuro dos recursos hídricos. Portanto, a Tabela 3 representa os testes.

Dentre os testes não paramétricos o teste de

tendência de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) é bastante empregado para verificar tendências significativas em séries de dados temporais hidrológicos (Sanches et al., 2014; Moreira e Naghettini, 2016).

Neste presente estudo foi empregado também outro método não-paramétrico, a saber, o teste de correlação ordinal de Spearman (r_s), com a finalidade de constatar a ocorrência de tendências nas séries de dados temporais de precipitação. Neste método, aceita-se que os dados das séries temporais são independentes e ordenados uniformemente (Ahmad et al., 2015).

Tabela 3 - Resultados dos testes não-paramétricos para precipitação pluvial, período de 1987 a 2016.

Testes Não - Paramétricos	Resultados	$\alpha = 0,05$	Índices de tendência
Mann Kendall (1982-2018) - 36 anos	$Z_{MK} = 6,73$	1,96	S^+
Mann Kendall (1992-2018) - 26 anos	$Z_{MK} = 4,97$		S^+
Mann Kendall (2002-2018) - 16 anos	$Z_{MK} = 1,93$		S^+
Spearman (1982 - 2018) - 36 anos	$r_s = 0,32$	1,96	S^+
	$t_{crit.} = 2,13$		
	$t_{calc.} = 7,0$		
Spearman (1992 - 2018) - 26 anos	$r_s = 0,28$		S^+
	$t_{crit.} = 1,41$		
	$t_{calc.} = 5,19$		
Spearman (2002 - 2018) - 16 anos	$r_s = 0,10$		S^+
	$t_{crit.} = 0,36$		
	$t_{calc.} = 2,25$		

Nota: S^+ indica tendência positiva significativa; S^- Indica tendência negativa significativa; e S^0 mostra uma tendência nula.

Fazendo uma análise nos dados da série histórica, pode-se interpretar, segundo os testes de tendência, que há um aumento positivo para o estado do Acre, haja vista que para o teste de MannKendall, ao se analisar todos os dados disponíveis, 36 anos, encontramos um ZMK de 6,73, ao se analisar 26 anos de dados (1992 a 2018) tem-se como ZMK 4,97, e ao se analisar 10 anos, tem-se ZMK de 1,93, chegando a conclusão que com aumento de informações há um aumento na estimativa de precipitação positiva para o estado para este teste.

Ao fazer a correlação e tendência pelo método de Spearman, chega-se a análise semelhante pelo teste anterior, onde com aumento de quantidade de dados, há um aumento da estimativa de precipitação futura.

Além disto, observa-se que a correlação é estatisticamente significativa, haja vista que o $|t_{calc.}|$ foi superior ao $t_{crit.}$, em todos os períodos estudados. Os resultados alcançados nos testes não-paramétricos servem como auxílio estatísticos para relacionarem as variáveis com as mudanças climáticas na área, necessitando de outros estudos que possam estar ocasionando tal evento.

4. Conclusão

Os resultados indicaram que a distribuição espacial da precipitação média acumulada para o Acre, são menores nas áreas próximas de divisões territoriais internacionais, enquanto em locais que estão na direção ao estado do Amazonas apresentaram mais volume acumulado de precipitação, por exemplo, a parte noroeste do estado do Acre.

A distribuição da precipitação média mensal para o estado Acre demonstrou uma

variabilidade, com a ocorrência de duas estações bem distintas para o período analisado (1982 – 2018), ou seja, uma estação menos chuvosa e outra chuvosa. O período menos chuvoso ocorre entre os meses de outubro até maio, enquanto o período mais chuvoso ocorre entre os meses de novembro a abril.

Os testes não-paramétricos de Mann-Kendall e Spearman empregados neste estudo, mostraram a existência de tendência positiva para o período analisado, isto é, do aumento da precipitação no estado do Acre. Contudo, quando o teste de Mann-Kendall foi aplicado para o período de 16 anos (2002 – 2018), indicou que não há tendência de crescimento ou diminuição na precipitação, sendo considerada estacionária.

Referências

- ACRE. Governo do Estado do Acre, 2010. Zoneamento Ecologico-Economico do estado do Acre, Fase II (Escala 1:250.000): documento sintese. 2. ed. SEMA, Rio Branco.
- Adler, R.F., Huffman, G.J., Chang, A., Ferraro, R., Xie, P., Janowiak, J., Rudolf, B., Schneider, U., Curtis, S., Bolvin, D., Gruber, A., Susskind, J., Arkin, P., Nelkin, E., 2003. The version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). *Journal of Hydrometeorology* 4, 1147-1167.
- Ahmad, A.E., Sheyin, Z., Kabir, M., Nuhu, A., Garba, M.K., Nata'ala, U., 2015. Prevalence of malaria infection in children attending emergency paediatrics unit of Usmanu Danfodiyo University Teaching Hospital, Sokoto – Nigeria. *African Journal of Infectious Diseases* 9, 29-31.

- Alves, E.D.L., Vecchia, S.F.A., 2011. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences* 33, 193-197.
- Cavalcanti, I.F.deA., Marengo, J.A., Alves, L.M., Costa, D.F., 2017. On the opposite relation between extreme precipitation over west Amazon and southeastern Brazil: observations and model simulations. *International Journal of Climatology* 37, 3606-3618.
- Coulibaly, M., Becker, S., 2007. Interpolation of annual precipitation in South Africa. Comparison and Evaluation of Methods. *Water International* 32, 494-502.
- Cunningham, C.A., Anderson, L., Brown, F., Reis, V., 2017. Características climatológicas sazonais e sub-sazonais associadas aos incêndios de 2005 no Acre. *Revista Brasileira de Cartografia* 69, 791-805.
- Delgado, R.C., Souza, L.P.de, 2014. Tendência da precipitação e seu aproveitamento para fins não potáveis na Amazônia Ocidental, Acre. *Nativa* 2, 208-213.
- Delgado, R.C., Souza, L.P., Silva, I.W.R., Pêsoa, C.deS., Gomes, F.A., 2012. Influência da mudança da paisagem amazônica no aumento da precipitação em Cruzeiro do Sul, AC. *Enciclopédia Biosfera* 8, 665-674.
- Duarte, A.F., 2005. Variabilidade e tendência das chuvas em Rio Branco, Acre, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 20, 37-42.
- Figuerola, A.S.N., Nobre, C.A., 1990. Precipitation distribution over central and eastern Tropical South America. *Climanálise* 5, 36-45.
- Gomes, N.deV., 2008. Estudo comparativo da distribuição espaço-temporal da precipitação na Amazônia Oriental. *Dissertação (Mestrado). UFPA, Belém.*
- Hrachowitz, M., Savenije, H., Bogaard, T.A., Tetzlaff, D., Soulsby, C., 2013. A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB) - a review. *Hydrological Sciences Journal* 58, 1198-1255.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Censo Demográfico 2010. IBGE, Rio de Janeiro.
- Joyce, R.J., Janowiak, J.E., Arkin, P.A., Xie, P., 2004. CMORPH: a method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology* 5, 487-503.
- Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Methods. 4. ed. Charles Griffin, London.
- Lessa, A.daS., Timofeiczuk Junior, R., Gama, Z.A.G.P., Silva, A.S.J.D.S., Hoeflich, V.A., 2016. Mecanismo de desenvolvimento limpo florestal e a heveicultura no estado do Acre. *Floresta e Ambiente* 23, 378-386.
- Landim, P.M.B., Sturaro, J.C., Corsi, A.C., 2002. Krigagem Ordinária para Situações com Tendência Regionalizada: texto didático 07. UNESP, Rio Claro.
- Levin, J., 1987. Estatística Aplicada a Ciências Humanas. 2. ed. Editora Harbra Ltda, São Paulo.
- Limberger, L., Silva, M.E.S., 2018. Precipitação observada na Amazônia brasileira: comparação entre os dados das redes convencionais e dados da reanálise do NCEP/NCAR, CRU e GPCC. *Revista Brasileira de Climatologia* 22, 20-37.
- Lundgren, W.J.C., Souza, I.F., Lundgren, G.A., 2017. Krigagem na construção de mapa pluviométrico do estado de Sergipe. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 13-22.
- Macêdo, M.N.C., Dias, H.C.T., Coelho, F.M.G., Araújo, E.A., Souza, M.L.H., Silva, E., 2013. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. *Revista Ambiente & Água* 8, 206-221.
- Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259.
- Marengo, J.A., Liebmann, B., Kousky, V.E., Filizola, N.P., Wainer, I.C., 2001. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. *Journal of Climate* 14, 833-852.
- Medeiros, F.J., Lucio, P.S., Silva, H.J.F., 2017. Análise de métodos de Krigagem na estimativa da precipitação no estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 1668-1676.
- Mello, C.R.de, Silva, A.M.da, 2005. Métodos estimadores dos parâmetros da distribuição de Gumbel e sua influência em estudos hidrológicos de projeto. *Irriga* 10, 318-334.
- Menezes, F.P., Fernandes, L.L., Rocha, E.J.P., 2015. O uso da estatística para regionalização da precipitação no estado do Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia* 16, 64-71.
- Moreira, J.G.doV., Naghettini, M., 2016. Detecção de tendências monotônicas temporais e relação com erros dos Tipos I e II: estudo de caso em séries de precipitações diárias máximas anuais do estado do Acre. *Revista Brasileira de Meteorologia* 31, 394-402.
- Nobre, C.A., Obregón, G.O., Marengo, J.A., Fu, R., Poveda, G., 2009. Characteristics of Amazonian climate: main features, in: Keller, M., Bustamante, M., Gash, J., Silva D.P. (Orgs.), Amazonia and Global Change. Geophysical Monograph Ser. Washington: American Geophysical Union Books, DC 186, Washington, pp. 149-162.

- Oliveira Júnior, J.F., Delgado, R.C., Lannes, A., Dias, F.O., Souza, C.J., Souza, M., 2014. Análise da precipitação e sua relação com sistemas meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. *Floresta e Ambiente* 21, 140-149.
- Salati, E. 2006. Tendências das Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços Hídricos para Cenários Climáticos para o Século XXI. In: Relatório 4. Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. SBF/MMA, Brasília.
- Sanches, F.deO., Verdum, R., Fisch, G., 2014. Tendência de longo prazo das chuvas diárias no Sudoeste do Rio Grande do Sul: os eventos extremos e a arenização. *Revista Brasileira de Geografia Física* 7, 1100-1109.
- Schneider, U., Becker, A., Meyer-Christoffer, A., Ziese, M., Rudolf, B., 2011. Global Precipitation Analysis Products of the GPCC. Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. M., Germany.
- Silva, H.J.F.da, Lucio, P.S., Brow, I.F., 2016. Análise mensal, sazonal e interanual da evapotranspiração potencial para o leste do estado do Acre, Brasil. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas*, 38, 326-240.
- Silva, V.B., Kousky, V.E., Shi, W., Higgins, R.W., 2007. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. *Journal of Hydrometeorology* 8, 847-861.
- Silveira, L.G.T.da, Correia, F.W.S., Chou, S.C., Lyra, A., Gomes, W.B., Vergasta L., Silva, P.R.T., 2017a. Reciclagem de precipitação e desflorestamento na Amazônia: um estudo de modelagem numérica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 32, 417-432.
- Silveira, R.N.P.deO., Fernandes, L.L., Silva, M.de N.A.da., 2017b. Tendência de precipitações pluviométricas e avaliação da influência dos ENOS no distrito de Abunã, Rondônia. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental* 11, 14-20.
- Souza, E.B., Ambrizzi, T., 2004. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. *Climanálise* 2, 1-20.
- Trenberth, K.E.L., Smith, T., Qian, A., Dai, J.F., 2007. Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model data. *Journal of Hydrometeorology* 8, 758–769.