Analysis of pluviometric series in the state of Acre by means of non-parametric tests

Ana Gabriela S. Dias^{*}, Arieli F. de Moura^{**}, Francisco C. L. Pessoa^{***}, Diego L. Crispim^{****},
David F. Ferreira Filho^{*****}

^{*}Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará - UFPA. E-mail: anagabriela.santosdias@gmail.com

^{**}Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFPA. E-mail: arieli_fernandes@hotmail.com

^{***}Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil-PPGEC/UFPA. E-mail: fclpessoa@ufpa.br

^{****}Doutorando do PPGEC/UFPA. E-mail: dlimacrispim@gmail.com (autor correspondente)

^{*****}Mestrando do PPGEC/UFPA. E-mail: davydferreira@gmail.com

Received 12 July 2019; accepted 9 December 2019

Abstract

Nowadays there is a need to understand how changes in the climate modify the pluviometric regimes, the starting point of this understanding is to observe the homogeneity and the tendency of rainfall series. Human interference in the environment such as deforestation and civil construction intensifies the consequences of extreme rainfall events such as floods, bringing serious problems to the affected region. Statistical tests become important tools for understanding rainfall behavior and defining effective strategies in water management to protect the environment and economic development of a region. The aim of this study was to analyze, through non-parametric tests, the precipitation behavior of 4 municipalities in the southwest of Acre, in periods of 20 years (1984-2003) and 10 years (1984-1993 and 1994-2003). Descriptive statistical data were used to show that the stations have similar behaviors, differing in some points. The Mann-Kendall and Spearman tests showed that in most rainfall seasons there was no significant trend of rainfall, and in some seasons there was a negative trend and a smaller number of positive trends. The Sen test showed a small decrease in the water depth in most of the stations studied. One of the hypotheses for the negative trends would be the sharp deforestation in the region of the studied stations, besides the influence of the El Niño and La Niña phenomena occurred during the period in which the tests were made.

Keywords: non-parametric tests, rainfall, rainfall stations.

Análise de séries pluviométricas no estado do Acre por meio de testes não-paramétricos

Resumo

Atualmente há uma necessidade de entender como as alterações no clima modificam os regimes pluviométricos, o ponto de partida deste entendimento é observar a homogeneidade e a tendência de séries de chuvas. A interferência humana no meio ambiente como desmatamento e construção civil intensificam as consequências de eventos extremos de pluviometria como enchentes e inundações, trazendo graves problemas para a região atingida. Os testes estatísticos tornam-se ferramentas importantes para compreender o comportamento pluviométrico e definir estratégias eficazes na gestão hídrica para proteção do meio ambiente e desenvolvimento econômico de uma região. O objetivo deste estudo foi analisar, através de testes não-paramétricos, o comportamento da precipitação de 4 municípios do sudoeste do Acre, em períodos de 20 anos (1984-2003) e 10 anos (1984-1993 e 1994-2003). Foi feita a estatística descritiva dos dados onde mostrou que as estações têm comportamentos similares, divergindo em alguns pontos. Os testes de Mann-Kendall e Spearman apontaram que na maioria das estações pluviométricas não houve tendência significativa de chuva, tendo em algumas estações a tendência negativa e em menor quantidade, tendências positivas. O teste de Sen apontou uma pequena diminuição da lâmina d'água na maior parte das estações estudadas. Uma das hipóteses para as tendências negativas seria o desmatamento acentuado na região das estações estudadas, além da influência dos fenômenos El Niño e La Niña, ocorridos no período em que foram feitos os testes.

Palavras Chave: testes não paramétricos, pluviometria, estações pluviométricas.

1. Introdução

As pesquisas sobre regime pluvial são essenciais para o desenvolvimento de gestões públicas que venham conduzir ações sobre o

gerenciamento dos recursos hídricos, possibilitando assim atenuar seus impactos sobre o meio ambiente. Atualmente há uma necessidade crescente de entender como as alterações no clima estão modificando os regimes pluviométricos de uma

região, e o ponto de partida para este entendimento seria observar a homogeneidade e as tendências de séries de chuvas (Wanderley et al., 2013).

De acordo com Sanches et al. (2014), as discussões sobre a ocorrência de mudanças climáticas globais e suas repercussões nos níveis regionais e locais sem sido pauta constante em debates científicos nas últimas décadas. Um dos destaques do AR5 (5º Relatório de Avaliação das Mudanças do Clima do Planeta) reside na ideia de que, com o aumento da temperatura média da superfície global, os eventos extremos de precipitação sobre regiões tropicais, muito provavelmente, se tornarão mais intensos e frequentes até o final do século XXI, afetando significativamente o planeta.

A interferência humana no meio ambiente, através de ações como o desmatamento e construção civil, vem intensificando as consequências de eventos extremos de pluviometria. Na Amazônia, os eventos de precipitações extremas causam importantes impactos principalmente aos núcleos de ocupação populacional nas margens de rios, pois, as enchentes e inundações impossibilitam o cultivo de plantações, a saída e o acesso às comunidades para a obtenção de mantimentos e de receber ajuda governamental. Nos anos de 2014 e 2015, os estados do Acre e Rondônia decretaram estado de calamidade pública em consequência das inundações causadas pelas fortes chuvas nas nascentes dos rios Acre e Madeira (Santos et al., 2015).

O estado do Acre não está inerente aos impactos ocasionados seja pela variabilidade natural do clima ou por ações antropogênicas. Nas últimas décadas, segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2011), dos 22 municípios do Acre, 17 foram atingidos por alguma forma de desastre natural (enchente, inundação, erosão fluvial, incêndio florestal, etc.) entre os anos de 1991 e 2010 (Silva, 2015).

A distribuição espacial da precipitação anual nos anos de 1982 a 2012 na América do Sul destaca a Amazônia Legal Brasileira como a região de maior área espacial e de maior intensidade de volume pluviométrico sobre o continente. O comportamento nesta região exibe sazonalidade pronunciada ao longo dos meses do ano, com valores máximos atingidos nos meses de fevereiro e março, e mínimos em julho e agosto (Souza et al., 2016).

A Amazônia Ocidental situa-se em uma grande planície, exceto as terras altas do extremo norte do Amazonas, Roraima e extremo sul de Rondônia, devido a essas características no relevo, a latitude torna-se o fator principal para a variabilidade climática. A precipitação na Amazônia é uma composição da evapotranspiração local e da contribuição do Oceano Atlântico (Santos et al., 2015).

Os métodos e testes estatísticos utilizados na observação de tendências em séries hidrológicas tornaram-se ferramentas de vital importância. Estes métodos mostram de forma mais precisa o comportamento de uma série de dados, possibilitando também a criação de gráficos para uma análise visual (Moreira e Naghettini, 2016).

Os testes estatísticos podem ser classificados em paramétricos e não paramétricos. O teste paramétrico é aquele em que os dados amostrais foram extraídos de uma população Normal ou de qualquer outra população, cujo modelo distributivo seja conhecido ou previamente especificado. Em contrapartida, o teste não paramétrico é aquele em que não é necessária a especificação prévia do modelo distributivo da população, sendo formulado com base em características da amostra, como ordem de classificação ou número de diferenças positivas ou negativas entre os dados (Alexandre et al., 2010). Dentre os métodos não paramétricos usados para análise de tendências em séries de precipitação, destacam-se os testes de Mann-Kendall e Spearman, bastante aplicados em estudos de mudanças climáticas (Nascimento, 2016).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo analisar, por meio de testes estatísticos não-paramétricos, a tendência das séries temporais de precipitação disponíveis no estado do Acre.

2. Material e métodos

Área de estudo

Localizado no extremo sudoeste da região norte do Brasil, entre os paralelos 7°6'S, 11°4'S e os meridianos 66°37'W, 73°59'W, o estado do Acre ocupa a 15ª colocação no ranking dos estados por extensão territorial, o que corresponde a 4,26% da região norte e 1,92% do território nacional, segundo o atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 2011).

O Acre está dividido em 22 municípios (Figura 1), cuja a capital é Rio Branco. Segundo dados do IBGE (2010), o estado possui uma população estimada de 828.619 habitantes para o ano de 2017, e limita-se ao norte pelo estado do Amazonas, a leste pelo estado de Rondônia, a sudeste com a Bolívia e ao sul e oeste com o Peru.

Dados utilizados no estudo

A séries históricas foram adquiridas na base de dados da Agência Nacional de Água (ANA), no sistema de informações hidrológicas Hidroweb, os quais correspondem às coletas diárias, mensais e anuais.

Foram encontrados registros de 74 estações pluviométricas distribuídas nos limites geográficos do estado do Acre. Do total das estações instaladas no estado, somente quatro estações apresentaram séries históricas relevantes para a aplicação dos métodos não-paramétricos, uma vez que nas demais estações foram identificados problemas como: falta de informações em vários anos seguidos; séries muito curtas – menores que 10 anos e; ausência de estações

vizinhas que pudessem servir como base para o preenchimento de falhas. Na Tabela 1 são apresentadas as informações das quatro estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Na Figura 2 pode ser observada a distribuição das 4 estações pluviométricas, as quais são de responsabilidade da ANA e operadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

Figura 1 - Mapa político do estado do Acre. Fonte: Autores (2018).

Tabela 1 - Estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Identificação	Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Período
P1	1069000	Assis Brasil	Assis Brasil	10°56'37''	69°33'56''	1981-2006
P2	0969001	Seringal Guarany	Sena Madureira	9°6'37''	68°59'36''	1981-2006
P3	1068000	Xapuri	Xapuri	10°38'59''	68°30'24''	1981-2006
P4	1168001	Brasiléia	Brasiléia	11°01'24''	68°44'06''	1983-2006

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 2 - Localização das estações pluviométricas. Fonte: Autores (2018).

Preenchimento de falhas

A maioria dos dados de precipitação possuem falhas, originando lacunas na série temporal, seja em razão de aparelhos defeituosos, de insuficiência de manutenção ou de interrupção na operação e monitoramento das estações. Para minimizar essas falhas em uma série histórica, podem ser utilizados alguns métodos estatísticos, dentre os quais, o mais indicado é o de regressão linear (Carvalho e Ruiz, 2016).

De acordo com Costa et al. (2015), a utilização da regressão linear no preenchimento de falhas de séries históricas, dá-se em razão da compilação de registros oriundos de outras estações de monitoramento, de preferência, localizadas em regiões com características hidrologicamente homogêneas.

As séries históricas das estações P1, P2 e P3 apresentaram pequenas falhas que foram preenchidas por meio do método de regressão linear. Foi usado como base os dados de precipitação da estação P4, visto que era a única com informações completas e sem falhas.

O método da regressão linear simples descreve a relação entre duas variáveis através de um modelo matemático partindo de n observações, sendo X a variável independente e Y a dependente (a qual deseja-se fazer a estimativa) conforme equação 1:

$$\hat{Y} = aX + b \quad (1)$$

Em que: $\hat{Y}$ é o valor estimado da variável dependente (precipitação da estação preenchida); a é o coeficiente linear; b é o coeficiente angular da correção; x é o valor observado da variável independente (precipitação da estação P4).

Utilizou-se o programa *Excel 2013*, o qual permitiu quantificar o coeficiente de determinação (r^2) (equação 2). Este coeficiente descreve a dimensão da variação de Y (variável dependente), que pode ser explicada pela variável X (variável independente).

$$r^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right]^2 \quad (2)$$

O valor de r^2 pode variar de 0 a 1, este intervalo indica que quanto mais próximo de 1 o coeficiente se encontra, mais apropriado está o modelo para explicar os dados coletados.

Testes não-paramétricos

Primeiramente, foi realizada uma análise da estatística descritiva utilizando-se o software livre *BioEstat 5.0*. Determinaram-se os valores mínimo e máximo, a média, a mediana, a amplitude, a variância, o desvio padrão, os quartis e *box plot* para dados mensais das quatro estações pluviométricas.

Para a avaliação da ocorrência de tendências nas séries históricas foram utilizados três testes estatísticos não paramétricos: Mann-Kendall,

Spearman e Sem, quantificados por meio dos softwares Xlstat (versão gratuita) e BioStat 5.0. O nível de significância adotado para a realização dos testes foi de $\alpha = 5\%$, com grau de confiança de 95% e valor crítico $Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1,96$.

O teste Mann-Kendall consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, em ordem sequencial, contando o número de vezes em que os termos restantes são maiores que o valor analisado. O seu uso é recomendado quando a série pode ser assumida com tendência monotônica, ou seja, não apresenta ciclo sazonal ou outra tendência nos dados. Tendo uma quantidade $\mathbf{Xn}$ de observações, o teste deseja testar a hipótese nula H_0 , de não existência de tendência, isto é, as observações $\mathbf{Xn}$ são aleatoriamente ordenadas no tempo. Em contrapartida, a hipótese alternativa H_1 assume que há uma tendência de aumento ou redução na série (Santos et al., 2015).

O teste de Mann-Kendall é calculado a partir das equações 3 e 4 (SILVEIRA et al., 2017):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (3)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{(S-1)}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{(S+1)}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Onde, S = soma.

Adotando-se um nível de significância de 95%, H_0 é rejeitado se $|Z| > z_{\alpha/2}$. O valor $z_{\alpha/2} = 1,96$ é obtido da tabela de distribuição normal padrão. O sinal da estatística Z indicará se a tendência é positiva se $Z > 0$, ou negativa quando $Z < 0$.

O teste do coeficiente de Spearman é um teste de independência entre X_i , que corresponde à série na ordem natural, e Y_i que corresponde à série ordenada crescente. Isto consiste em calcular o coeficiente de correlação das respectivas ordens X_i e Y_i no conjunto de todos os pares de dados que serve para indicar uma possível tendência ao longo do tempo, ou seja, valores negativos ou positivos (Nascimento, 2016). A hipótese nula H_0 afirma que os dados são independentes e identicamente distribuídos, ou seja, $r_s = 0$. A hipótese alternativa H_1 afirma que existe uma tendência na série.

O coeficiente de Spearman (r_s) é calculado pela equação 5 (Lima, 2014; Nascimento, 2016):

$$r_s = 1 - \frac{6}{n^3 - n} \sum_{i=1}^n (Rxi - Ryi)^2 \quad (5)$$

em que: Rxi representa a ordem do elemento 'xi' na série em ordem natural, Ryi representa a ordem do elemento 'xi' na série na forma crescente e 'n' representa o número de elementos da amostra.

De acordo com Silveira et al. (2017), para a determinação da tendência, define-se os parâmetros de acordo com as equações 6 a 8.

$$\text{Var}_{(rs)} = \frac{1}{n-2} \quad (6)$$

Em que: $\text{Var}_{(rs)}$ = variância da amostra e n = tamanho da amostra.

$$T_{\text{crit}} = \frac{rs}{\sqrt{\text{Var}(rs)}} \quad (7)$$

Em que: $T_{\text{crit}} = t$ de Student ou t crítico.

$$T_{\text{calc}} = \frac{rs}{\sqrt{\frac{1-rs^2}{n-2}}} \quad (8)$$

O valor de t_{calc} obtido é comparado com o t de Student crítico, e a regra de decisão para o teste é: se $|T_{\text{calc}}|$ for igual ou maior do que o T_{crit} , a correlação é estatisticamente significativa.

O teste não-paramétrico Sen's Slope (Sen's) Sen (1968), permite determinar, em milímetros, a altura da lâmina d'água proveniente da precipitação pluvial, a unidade resultante deste teste é mm/ano, podendo ser positiva ou negativa. Os resultados positivos apontam um aumento da lâmina d'água por ano, enquanto valores negativos apontam um decréscimo (Silveira et al., 2017), assim é calculado através da função abaixo:

$$Qij = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad \text{com } i < j \quad (9)$$

Para a realização do estudo, foram escolhidos apenas dados de consistência 2. Ademais, escolheu-se o mesmo intervalo de anos para a aplicação dos métodos, totalizando 20 anos, de 1984 a 2003. Posteriormente, para um estudo mais minucioso do comportamento pluviométrico, para caso de ocorrência de algum evento extremo, foram aplicados testes nos intervalos de 1984 a 1993, e 1994 a 2003.

3. Resultados e discussão

Preenchimento de falhas

Na Figura 3 observam-se os resultados da aplicação da regressão linear no preenchimento de falhas das séries históricas das estações P1, P2 e P3, bem como os valores dos coeficientes de determinação r^2 .

(5)

Figura 3 – Precipitação mensal estações P1, P2 e P3. Fonte: Autores (2018).

Os coeficientes de determinação r^2 para estação P1, P2 e P3 foram 0,61, 0,54 e 0,60 respectivamente, considerando que o valor de r^2 pode variar entre 0 a 1, os valores encontrados encontram-se apropriados para aplicação dos testes. Os resultados obtidos são superiores a estudos de Silveira et al. (2017) o qual encontrou $r^2 = 0,32$ para o nível de significância de 5%, e próximo a $r^2 = 0,58$ encontrado na estação base Brasília analisada por Crispim et al. (2019).

Estatística descritiva

A Tabela 2 apresenta os resultados da estatística descritiva das quatro estações e as Figuras 4 e 5 apresentam os gráficos box plot.

Os dados apresentados nos gráficos box plot mostram que 50% dos valores estão entre o primeiro e terceiro quartil, e o gráfico da estação P4 apresenta outliers, um evento atípico, no qual no ano de 1995 no mês de julho apenas 0,8 mm de precipitação foi registrado. Observa-se que a média e mediana apresentam valores próximos e o mínimo registrado de cada estação foi 0,00. A Figura 6 apresenta a distribuição da precipitação média anual das quatro estações.

Tabela 2 - Estatística descritiva da precipitação mensal.

Estação	P1	P2	P3	P4
Tamanho da amostra	252	252	252	252
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	472,00	509,90	475,00	514,40
Amplitude Total	472,00	509,90	475,00	514,40
Mediana	118,50	163,60	122,95	119,30
Média	129,44	164,11	138,66	134,27
Primeiro Quartil (25%)	38,50	71,78	51,60	51,58
Terceiro Quartil (75%)	194,00	240,63	208,30	206,33
Variância	10438,93	12005,92	10743,68	9999,00
Desvio Padrão	102,17	109,57	103,65	100,00
Erro Padrão	6,43	6,90	6,53	6,30

Fonte: Autores (2018).

Figura 4 – Gráfico Box Plot para precipitação da estação P1(A) e P2 (B). Fonte: Autores (2018).

Figura 5 – Gráfico *Box Plot* para precipitação da estação P3 (A) e P4 (B). Fonte: Autores (2018).

Figura 6 – Distribuição da precipitação mensal média nas estações, no período de 1984 – 2003. Fonte: Autores (2018).

As estações apresentam comportamentos similares na maior parte dos anos, divergindo em pontos distintos como em P2 que apresenta precipitação média de 203 mm/ano, enquanto P1, P3 e P4 permanecem próximo a média de 150 mm/ ano nos anos de 1985 a 1987.

Observa-se que no ano de 1995 a estação P2 decaiu, ao mesmo tempo, que P1, P3 e P4 mantém precipitações mais estáveis e acima de média anual de 100 mm/ano. As estações apresentam o mesmo comportamento de crescimento pluviométrico com mais ou menos intensidade entre os anos de 1998 e 1999, decaindo no ano 2000.

Os resultados da Figura 6 quando relacionados aos eventos climáticos de El Niño e La Niña concordam com o estudo realizado por Silveira et al. (2017), que observaram a ocorrência de El Niño fortes em (90/93 e 97/98) quando ocorre uma diminuição nas médias mensais de precipitação e La Niña fortes em (88/90 e 98/2001) quando apresenta o aumento das médias mensais de precipitação.

Métodos não-paramétricos

Mann-Kendall

Ao analisar os resultados de Mann-Kendall (Tabela 3), nota-se que a estação P1 e P2, não apresentaram tendências na série no período de 20 anos (1984-2003). A estação P3 e P4 obteve resultado de tendência negativa para este período, coincidindo com o resultado do estimador Sen para estas estações, onde aponta um decréscimo de 0,163 e 0,054 mm/ano, estes resultados podem ser comparados com a Figura 6 em que a precipitação anual demonstra em muitos pontos o decaimento das médias de chuva.

O período dos primeiros 10 anos (1984-1993) das séries apresentou um resultado diferente em relação ao período total de 20 anos. Silveira et al. (2017) mostra que é possível observar mudança de indicação de tendência dependendo do período analisado. A estação P1 apresentou tendência negativa, e apresentou resultado de Sen com decréscimo de 0,304 mm/ano, as estações P2, P3 e P4 apresentaram os mesmos índices quando comparados ao período de 20 anos.

Em estudo feito por Ferreira Filho et al. (2019) para a mesma área de estudo, aplicando o teste de Mann-Kendall para variações de análises de

séries de 16 anos, 26 anos e 36 anos, utilizando a base de dados do Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), obtiveram como resultados para o teste de ZMK=1,93 para 16 anos, ZMK=4,97 para 26 anos e ZMK=6,73 para 36 anos, considerando um nível de significância de 5%, ou seja, para todas as análises periódicas, o teste apresentou tendência positiva, diferindo dos mostrados nesta pesquisa, fato este que pode ser justificado pela grade do GPCC, em comparação as estações aqui analisadas, haja vista que se concentram em uma parte somente do estado.

Estudos feitos por Santos et al. (2015) mostram que a região sul da Amazônia, no período de 1983 a 2012, obtiveram tendências negativas de precipitação, sendo significativas apenas em alguns pontos. Este mesmo trabalho sugere que as tendências negativas no sul da Amazônia podem estar relacionadas ao “arco do desmatamento”, uma área que se estende do Maranhão a Rondônia, passando pelo leste do Pará, e pelos estados de Tocantins e Mato Grosso. Esta área tem influenciado significativamente o ciclo hidrológico destas regiões.

Estudos feitos por Silva e Avissar (2006) e Silva et al. (2008) utilizam modelos climáticos para simular as mudanças climáticas causadas pelo desmatamento da Amazônia, encontraram que a precipitação média diminui com o aumento do desmatamento. Os resultados de tendências negativas para este período quando comparados com os resultados negativos do Sen, evidência que o valor da lâmina de água que decaiu não é significativo por não alcançar ao menos 1 mm por ano.

O último período de 10 anos (1993-2003) não apresentou tendência nas séries, exceto na estação P3 onde continuou com tendência negativa na série e resultado Sen de decréscimo de 0,309 mm/ano. Examinando o gráfico das médias, Figura 6, a partir do ano 1999 as chuvas tendem a decair de forma mais acentuada na estação P3.

No estudo realizado por Crispim et al. (2019), para os períodos de 1981-2013, 1994-2013 e 2004-2013, respectivamente, em Brasília (estação P4), demonstrou não haver tendência na estação com base nos testes de Mann-Kendall e Spearman. Satyamurty et al. (2010) analisando dados mensais de precipitação de 1920 até 2007, não constatarem tendências significativas na Bacia Amazônica como um todo, mas encontraram tendências significativas em algumas estações individuais.

Tabela 3 - Testes não paramétricos para os períodos de 1984-2003, 1984-1993 e 1984-1992.

Período 1984-2003						
Estações	Mann-Kendall		Spearman		Sen	
	Zmk	Índice	T _{calc.}	T _{crít.}	Índice	
P1	0,37	S ⁰	0,24	0,24	S ⁰	0,016
P2	0,32	S ⁰	-0,45	-0,45	S ⁰	0,016
P3	-3,09	S ⁻	-3,52	-2,74	S ⁻	-0,163
P4	-0,9	S ⁻	-0,78	-0,77	S ⁰	-0,054
Período 1984-1993						
P1	-2,8	S ⁻	-1,99	-1,63	S ⁻	-0,304
P2	0,13	S ⁰	-0,05	-0,05	S ⁰	0,013
P3	-2,16	S ⁻	-1,65	-1,42	S ⁰	-0,381
P4	-3,83	S ⁻	-1,35	-1,22	S ⁰	-0,308
Período 1984-1992						
P1	0,73	S ⁰	2,42	1,88	S ⁺	0,104
P2	1,22	S ⁰	3,62	2,31	S ⁺	0,179
P3	-2,25	S ⁻	-2,71	-2,01	S ⁻	-0,309
P4	0,95	S ⁰	0,67	0,65	S ⁰	0,103

Nota: S⁺ indica tendência positiva significativa; S⁻ indica tendência negativa significativa; S⁰ mostra uma tendência nula. Fonte: Autoras (2018).

Spearman

Para o teste de Spearman (Tabela 3) os resultados obtidos no cálculo do T_{crítico} foram menores e iguais ao T_{calculado}, o que demonstra que a correlação é estatisticamente significativa.

Em todas as estações, para o período de 20 anos, não houve tendência nas séries, exceto na estação P3 onde apresentou tendência negativa. O resultado da estação P4 divergiu do teste de Mann Kendall para este período.

Para o período de 10 anos (1984-1993), as estações P2, P3 e P4 não obtiveram tendência nas séries, enquanto na estação P1 ocorreu tendência negativa, o que pode ser constatado pelo decaimento das chuvas a partir de 1989 até 1991 na figura 6. Observa-se que as estações P3 e P4 apresentam resultados diferentes de tendência para o teste de Spearman em comparação a Mann Kendall, entretanto, a tendência apresentada em Kendall não é significativa e o Sem apresenta em P3 e P4 - 0,381mm e -0,308 mm respectivamente.

Nos últimos 10 anos (1993-2003) as estações P1 e P2 obtiveram tendências positivas justificadas pelas médias a partir do ano 1997 até 1999 na figura 6. A estação P3 teve tendência negativa e a estação P4 não possui tendência.

Os resultados de Ferreira Filho et al. (2019), para o método de Spearman também demonstraram tendência positiva para o estado, para a variação de 16 anos, 26 anos e 36 anos de série de dados, o que visa a incentivar estudos de diversas fontes de dados para compará-los e posteriormente estudá-los melhor.

Sen

Ao observar os resultados do teste Sen,

conclui-se que o aumento e diminuição da lâmina d'água das precipitações analisadas quando comparados, na maioria das vezes, com os resultados dos testes de tendência Mann-Kendall e Spearman apresentam relação com as tendências obtidas. Entretanto, os valores encontrados de Sen não possuem elevada significância, pois, não atingiram alto valor em milímetros.

De acordo com Santos et al. (2015), a tendência das séries temporais depende do conjunto de dados utilizado, com isso, as mesmas podem ser variáveis quando observadas sob diferentes períodos de duração, o que justifica o alto grau de incertezas de alguns resultados.

Os estados descritos acima fazem parte “arco do desmatamento” o que ratifica a percepção que podem estar sofrendo influências nos seus regimes pluviométricos com a degradação das matas. Ambos os estudos demonstram que os fenômenos El Nino e La Nina influenciam moderadamente ou não nas conclusões dos testes trabalhados.

4. Conclusão

Ao analisar os resultados dos testes Mann-Kendall e Spearman, observa-se que a maioria das tendências são nulas e negativas, tendo em menores quantidades tendências positivas. Ao analisar os resultados do teste Sen, percebe-se que o aumento e decréscimo da lâmina d'água não alcançou 1mm/ano. Alguns resultados foram diferentes ao diminuir o período das séries para 10 anos.

Os testes apresentam resultados diferentes o que pode ser justificado pela ordem sequencial de organização para trabalhar os dados e/ou pela

sensibilidade que cada um alcança com os dados nos *softwares* utilizados, cabe estudos mais aprofundados para identificação de qual método é mais apropriado para cada série analisada, verificando as especificidades de cada região.

Os resultados que apresentaram tendências negativas podem estar relacionados a localização do “Arco do Desmatamento”. As alterações de precipitação ao longo dos anos podem ser influenciadas por fatores climáticos externos e antrópicos, que podem ser determinados de forma mais conclusiva com estudos aprofundados considerando cada peculiaridade do município.

Ao relacionar o ciclo de chuvas do Acre e os eventos climáticos El Niño e La Niña na figura 6, podemos encontrar relação entre essas variáveis e forte indicação que estes eventos influenciam na mudança de comportamento de precipitação do estado.

Por fim, ressalta-se que a falta de informações e medições pluviométricas adequadas no estado do Acre dificulta um estudo mais abrangente e minucioso sobre este assunto.

Referências

- Alexandre, G.R., Baptista, M.B., Naghettini, M., 2010. Estudo para identificação de tendências do regime pluvial na região metropolitana de Belo Horizonte a partir de métodos estatísticos e modelos climáticos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 15, 115-126.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2018. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso: 3 mar. 2018.
- Carvalho, H.P., Ruiz, M.V.S., 2016. Avaliação da consistência de séries históricas de chuva da bacia hidrográfica do rio Araguari, em Minas Gerais. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista* 12, 76-84.
- Costa, V.J., Ferreira, M., Cordeiro, M.T.A., 2015. Análise de séries temporais climáticas. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 14, 169 – 177.
- Crispim, D.L., Rodrigues, R.S.S., Vieira, A.S.A., Silveira, R.N.P.O., Pessoa, F.C.L., 2019. Análise estatística da precipitação do município de Brasília - Acre, Brasil. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental* 8, 104-122.
- Ferreira Filho, D.F., Crispim, D.L., Pessoa, F.C.L., Fernandes, L.L. Espacialização da precipitação e análises de tendências obtidas através do satélite GPCP para o estado do Acre. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 8, 68-79.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Censo Demográfico 2010. IBGE, Rio de Janeiro. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/panorama>. Acesso: 12 maio 2018.
- Lima, P.V., 2014. Análise de métodos para detecção de mudanças estruturais em séries temporais climáticas. Dissertação (Mestrado). Natal, UFRN.
- Moreira, J.G.V., Naghettini, M., 2016. Detecção de tendências monotônicas temporais e relação com erros do tipo I e II: Estudo de caso em séries de precipitações diárias máximas anuais do estado do Acre. *Revista Brasileira de Meteorologia* 31, 394–402.
- Nascimento, T.V., 2016. Análise Estatística de Tendências Pluviométricas no Estado do Pará. Trabalho de conclusão de curso. Belém, UFPA.
- Sanches, F.O., Verdum, R., Fisch, G., 2014. Tendência de longo prazo das chuvas diárias no sudoeste do Rio Grande do Sul: os eventos extremos e arenização. *Revista Brasileira de Geografia Física* 7, 1100-1109.
- Santos, E.B., Lucio, P.S., Silva, C.M.S., 2015. Análise de tendência da precipitação diária na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 1041-1052.
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of the American statistical association* 63, 1379-1389.
- Silva, H.J.F., 2015. Análise tendência e caracterização sazonal e interanual da evapotranspiração de referência para o sudoeste da Amazônia brasileira: Acre, Brasil. Dissertação (Mestrado). Natal, UFRN.
- Silva, R.R., Avissar, R., 2006. The hydrometeorology of a deforested region of the Amazon basin. *Journal of Hydrometeorology* 7, 1028–1042.
- Silva, R.R., Werth, R., Avissar, R., 2008. Regional impacts of future land-cover changes on the Amazon basin wet-season climate. *Journal of Climate* 21, 1153–1170.
- Silveira, R.N.O.O., Fernandes, L.L., Silva, M.A.S., 2017. 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., Carmo, A.M.C., Moraes, B.C., Nacif, A., Ferreira, D.B.S., Rocha, E.J.P., Souza, P.J.O.P., 2016. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo REGCM4. *Revista Brasileira de Climatologia* 18, 293-306.
- Satyamurty, P., Castro, A.A., Tota, J., Gularte, L.E.S., Manzi, A.O., 2010. Rainfall trends in the Brazilian Amazon basin in the past eight decades. *Theoretical and Applied Climatology* 99, 139-148.
- UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Acre. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre

Desastres. CEPED UFSC, Florianópolis.
Disponível: [http://www.mi.gov.br/c/
document_library/get_file?uuid=e22ce66c-9ea8-
4d87-a691-8f4f168206d5&groupId=10157](http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=e22ce66c-9ea8-4d87-a691-8f4f168206d5&groupId=10157).
Acesso: 25 mar. 2018.

Wanderley H.S., Sedyama G.C., Justino F.B.,
Alencar L.P., Delgado R.C., 2013. Variabilidade
da precipitação no sertão do São Francisco, estado
de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia
Agrícola e Ambiental* 17, 790-795.