

Artigo de Pesquisa**VARIABILIDADE DOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM MANAUS-AM****Variability of precipitation extremes in Manaus-AM**

Maria Betânia Leal de Oliveira¹, Rita Valéria Andreoli de Souza², Rodrigo Augusto Ferreira de Souza³, Lemoel Pimentel de Brito⁴, Wallace Cevalho⁵

¹ Universidade do Estado do Amazonas - Escola Superior de Tecnologia, Curso de Graduação em Meteorologia, Manaus, Brasil. Email: mloliveira@uea.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0003-0435-0545>

² Universidade do Estado do Amazonas - Escola Superior de Tecnologia, Curso de Graduação em Meteorologia, Manaus, Brasil. Email: rasouza@uea.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-5531-0733>

³ Universidade do Estado do Amazonas - Escola Superior de Tecnologia, Curso de Graduação em Meteorologia, Manaus, Brasil. Email: rafsouza@uea.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0003-0838-3723>

⁴ Universidade do Estado do Amazonas - Escola Superior de Tecnologia, Curso de Graduação em Meteorologia, Manaus, Brasil. Email: lemoelpimentel@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-5116-7614>

⁵ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA / Universidade do Estado do Amazonas - UEA, Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente, Manaus, Brasil. Email: cevalhow@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3072-4822>

Recebido em 16/08/2023 e aceito em 13/12/2024

RESUMO: O regime de precipitação de Manaus é caracterizado por uma marcante variabilidade temporal em decorrência da atuação de sistemas meteorológicos de diferentes escalas. Adicionalmente, características locais, seja de proximidade com o rio ou de cobertura da superfície induzem a formação de nuvens convectivas isoladas ou em associação com sistemas já pré-existent resultando em intensos acumulados de precipitação distribuídas de maneira não uniforme na cidade. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a ocorrência de eventos extremos de precipitação (EP) registrados em diferentes zonas na cidade de Manaus no período de março de 2010 a maio de 2020, utilizando para tanto, dados de uma rede de estações implementadas durante a execução do Projeto Rede de Mudanças Climáticas da Amazônia (Rede UEA-HOBO do projeto REMCLAM). Os eventos EP foram definidos como aqueles em que o percentil correspondente à precipitação diária é maior que 90, ou seja, apresentam precipitação média diária acima de 39,4 mm. A comparação qualitativa entre a distribuição de eventos EP para as diferentes estações do ano e zonas da cidade foi realizada a partir do uso de diagramas de caixa (*box plot*). Além disso, foi realizada uma análise da variabilidade interanual do número de ocorrências de eventos EP

considerando as fases do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Os resultados indicaram uma acentuada variabilidade sazonal com maior frequência de EP associada a períodos de maior intensidade da precipitação embora estes também ocorram nos períodos menos chuvoso do ano, porém com menor intensidade. A ocorrência de eventos EP foi observada em todas as zonas da cidade analisadas neste estudo, com predominância dos eventos mais intensos na zona centro-sul. Quanto a variabilidade interanual, maiores ocorrências de eventos EP estiveram associados à anos em que a precipitação acumulada sazonal esteve acima da normal climatológica, principalmente, nos meses mais chuvosos, porém, sem relação direta com a ocorrência de eventos ENOS.

Palavras-chave: Eventos extremos de precipitação, Amazônia Central; Técnica dos quantis; El Niño-Oscilação Sul.

ABSTRACT: The precipitation regime in Manaus is characterized by a marked temporal variability due to the performance of meteorological systems of different scales. Additionally, local characteristics, whether proximity to the river or surface coverage, induce the formation of isolated convective clouds or in association with pre-existing systems, resulting in intense accumulations of precipitation unevenly distributed in the city. In this sense, the objective of this study was to evaluate the occurrence of extremes precipitation events (PE) recorded in different areas in the city from March 2010 to May 2020, using data from a network of stations implemented during the execution of the Project Rede de Mudanças Climáticas da Amazônia (UEA-HOBO Network of the REMCLAM project). The EP events were defined as those in which the percentile corresponding to daily precipitation is greater than 90, that is, they present an average daily precipitation above 39.4 mm. The qualitative comparison between the distribution of EP events for the different seasons and areas of the city was carried out using box plots. Furthermore, an analysis of the interannual variability of the number of occurrences of EP events was carried out considering the phases of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon. The results indicated a marked seasonal variability with a higher frequency of EP associated with periods of greater precipitation intensity, although these also occur in less rainy periods of the year, but with less intensity. The occurrence of EP events was observed in all areas of the city analyzed in this study, with a predominance of the most intense events in the central-southern area. As for interannual variability, greater occurrences of EP events were associated with years in which accumulated seasonal precipitation was above the climatological normal, mainly in the rainiest months, however, without a direct relationship with the occurrence of ENSO events.

Keywords: Central Amazonian; Quantile technique; Space-time variability.

INTRODUÇÃO

Manaus, Capital do Amazonas, é caracterizada por apresentar uma marcante variabilidade sazonal da precipitação, com índices mais elevados no período de dezembro a maio, que representa em média 74% do acumulado anual, de acordo com as Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022). Associado com o relevo local e ocupação de áreas de risco, esta precipitação elevada intensifica a ocorrência de danos à população (RODRIGUES e COSTA, 2014), como verificado em 12 de março de 2023, quando uma chuva forte (100 mm entre a madrugada até meio da tarde) resultou em deslizamento de terra de grande porte no período da noite, seguido de corrida de detritos e lama, no Bairro Jorge Teixeira, causando a morte de oito pessoas e destruição de 20 moradias de alta vulnerabilidade (HONORATO E OLIVEIRA, 2023).

A frequência de chuva na estação chuvosa é de duas a três vezes maiores do que na estação seca (TANAKA et al., 2014), o que é resultado da combinação de

sistemas meteorológicos de diferentes escalas espaciais e temporais (REBOITA et al., 2010). A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), caracterizado por uma faixa de nebulosidade convectiva que circula todo o globo, é o principal gerador de precipitação na faixa equatorial (UVO, 1989; FISCH et al., 1998). Sua migração norte-sul, entre as latitudes 10°N e 5°S, definida pelo hemisfério de verão, determina meses mais chuvosos de dezembro a maio e mais secos de junho a agosto. A Alta da Bolívia é um sistema de grande escala que também influencia na sazonalidade da precipitação na Amazônia central, definida como uma circulação anticiclônica em altos níveis, gerada em decorrência do aquecimento superficial no Altiplano Boliviano, que intensifica a convecção na região (GUSMÃO, 1996; ANDRADE, 2007). A atuação conjunta deste com os sistemas frontais que adentram o país pelo Sul estabelece a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), uma faixa de nebulosidade convectiva orientada na posição noroeste/sudeste, que gera precipitação intensa na região que se estende desde o sul da Amazônia até o sudoeste do Atlântico Sul (KODAMA, 1992; NIELSEN et al., 2019; ROSA et al., 2020). Em uma escala menor, o contraste de temperatura entre o oceano e o continente na costa litorânea norte do Brasil, induz a formação de grandes aglomerados de nuvens convectivas, em forma de linha, que pode se deslocar quilômetro adentro do continente, e assim contribui para a ocorrência de tempestades na Amazônia central (COHEN, 1989; FISCH et al., 1998; RICKENBACH, 2004).

Localmente, o gradiente de temperatura entre a superfície do rio e a superfície continental induz a ocorrência da circulação de brisa fluvial (OLIVEIRA e FITZJARRALD, 1993), e conseqüentemente, formação de nuvens convectivas sobre a superfície do rio nas primeiras horas da manhã (TANAKA et al., 2014), as quais são deslocadas para oeste pela circulação de grande escala, fornecendo um mecanismo adicional para o aumento das chuvas na cidade. Segundo Machado et al., (2021), a presença da brisa fluvial na região de Manaus também impulsiona a convecção em áreas urbanas mais afastadas do rio, quando associado a outro sistema precipitante atuante, ou se somando ao efeito do fenômeno ilha de calor resultante do aquecimento diurno nos períodos mais quentes, que dá início à atividade convectiva na área urbana (ESPINOZA et al., 2023).

Este padrão anual da precipitação pode ser consideravelmente alterado na ocorrência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), o qual influencia no posicionamento dos sistemas Alta da Bolívia, ZCIT e ZCAS (FISCH et al., 1998; CARVALHO et al., 2004; JIMENEZ et al., 2018) e assim altera o regime de precipitação de toda a Bacia Amazônica, principalmente durante a estação chuvosa, com eventos de La Niña favorecendo o aumento de precipitação, enquanto que durante anos de El Niño, há redução de chuvas na Amazônia (ANDREOLI et al., 2012; ANDREOLI et al., 2017a). Além disso, eventos fortes de ENOS estão relacionados com a ocorrência de secas e cheias severas na Amazônia (ANDREOLI et al., 2017b; JIMÉNEZ-MUÑOZ et al., 2016).

Dessa forma, temos que atuação conjunta de sistemas meteorológicos de diferentes escalas temporais em Manaus determina uma marcante variabilidade temporal da precipitação tanto na escala sazonal quanto interanual. Adicionalmente, a

precipitação também é caracterizada por uma variabilidade espacial expressiva (BARBOSA, 2017; TANAKA et al., 2014), seja quanto ao acumulado de precipitação ou à intensidade dos eventos (SOUZA et al., 2022). Segundo Carvalho (2022), a presença da circulação de brisa fluvial associada com a presença de baixa altimetria do relevo, e maior largura do rio nas proximidades de Manaus no setor leste-sudeste contribui para as maiores frequências de chuva intensa neste setor em comparação com as demais áreas da cidade.

Sabendo-se que os desastres naturais aumentam nos períodos de maiores índices pluviométricos (CASSIANO e COSTA, 2010), e que associado com as características de inclinação do terreno, tipo de solo e ocupação de áreas de risco desencadeia desastres naturais (RODRIGUES e COSTA, 2014; BARBOSA, 2017) torna-se imprescindível o estudo da precipitação Manaus, principalmente no que diz respeito à ocorrência de eventos extremos, visando contribuir com informações que possam ser utilizadas por órgãos que atuam diretamente na preservação de vidas, como a defesa civil do estado. Neste sentido, este estudo tem como objetivo identificar os extremos de precipitação (EP) através da técnica dos quantis e então avaliá-los em termos de variabilidade espacial, associada à sua ocorrência em diferentes zonas da cidade e temporal, associada à sua ocorrência no contexto de variabilidade sazonal e interanual. Para tanto serão utilizados acumulados diários de precipitação, para o período de março de 2010 a maio de 2020, obtidos através de um conjunto de estações meteorológicas implementadas em Manaus durante a execução do Projeto Rede de Mudanças Climáticas da Amazônia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste estudo foram utilizados registros de precipitação coletados através de uma rede de estações meteorológicas automáticas, do Fabricante Onset, modelo HOBO, aqui denominada de Rede UEA-HOBO. Os pluviômetros que compõem estas estações são do tipo báscula, programado para contabilizar e registrar os acumulados de precipitação em intervalos de 5 minutos. Para este estudo serão utilizados os dados referentes a 10 estações, nomeadas de acordo com o local, sendo elas: Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas (EST); Campo Experimental do km 29 da Rodovia AM-010 da Embrapa Ocidental (EMB); Campus Manaus Zona Leste do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM); Colégio Militar de Manaus do Exército Brasileiro (CMM); Policlínica Odontológica da Universidade do Estado do Amazonas (POL); Museu da Amazônia (MUSA); Campo Experimental do Caldeirão da Embrapa Ocidental (CAL); Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA); Ponte Rio Negro em Manaus (PON); Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Amazonas (BOM). A Tabela 1 apresenta as informações da localização de cada estação em termos de zona da cidade, no caso de estações instaladas em Manaus, ou município, data de instalação e número de dias com dados disponível. Um mapa com a localização de cada estação é apresentado na “Figura 1”. No caso da EST, visando gerar uma série temporal de observações com período maior foi realizado o preenchimento de falhas na série temporal de precipitação utilizando os registros de

precipitação coletados em uma estação localizada lado a lado com esta, a qual foi instalada anteriormente (março de 2010). Dessa forma, a série EST passou a contemplar dados de precipitação referente ao período de março de 2010 a maio de 2020, com uma ausência de informações somente no período de agosto a dezembro de 2016, totalizando 3726 dias com observações de precipitação.

O software RStudio foi utilizado para processamento dos dados e geração dos gráficos apresentados neste estudo. Inicialmente, para a série EST foram determinados os acumulados diários de precipitação e sua distribuição, utilizando como ferramenta o diagrama de caixa (box plot) e a distribuição de densidade de frequência. O diagrama de caixa nos fornece informações estatísticas referentes ao limite mínimo dos dados, primeiro quartil (P^{25}), mediana (Med), terceiro quartil (P^{75}), intervalo interquartil entre o primeiro e terceiro quartil (IIQ), limite superior (Lim_s), precipitação máxima (Pmax) e valores discrepantes (outliers). A análise da distribuição de densidade de frequência dos dados diários de precipitação, apresentada na forma de histograma de densidade de frequência indica a frequência relativa de eventos precipitação em função de cada classe intervalo desta classe.

Tabela 1. Estações meteorológicas automáticas da Rede UEA-HOBO, organizadas por ordem de instalação, com suas respectivas informações de latitude, longitude, zonas de Manaus onde se encontram instaladas ou Município, data de instalação e número de dias com dados para cada estação.

Estação	Latitude	Longitude	Zona ou Município	Data de instalação	Nº dias com dados
EST	3,09" S	60,02° O	Centro-Sul	nov/12	2610
POL	3,12° S	60,01° O	Sul	abr/13	1531
EMB	2,89° S	59,97° O	Rural - Norte	jun/13	1621
IFAM	3,08° S	59,93° O	Leste	jun/13	1459
CMM	3,13° S	60,03° O	Sul	jul/13	2059
MUSA	3,01° S	59,94° O	Norte	ago/13	1121
CAL	3,25° S	60,23° O	Rural- Iranduba	set/13	2327
INPA	3,10° S	59,99° O	Sul	out/13	675
PON	3,10° S	60,07° O	Oeste	abr/16	858
BOM	3,12° S	60,00° O	Sul	dez/17	630

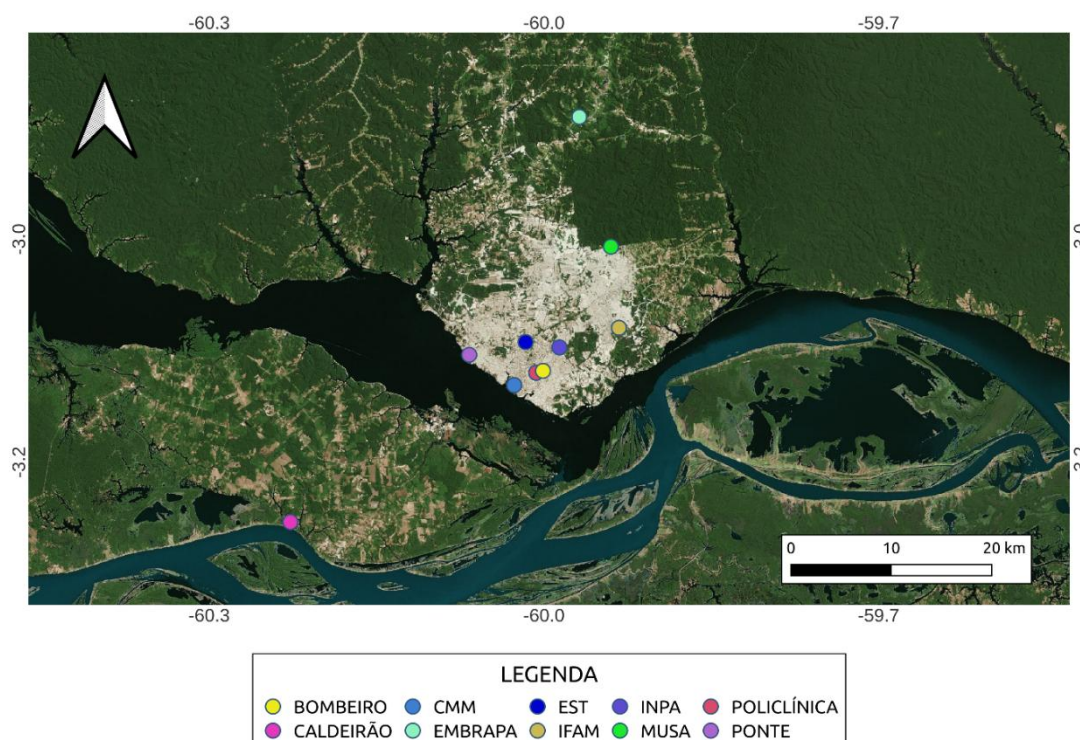


Figura 1. Localização das estações meteorológicas automáticas da Rede UEA-HOBO, utilizadas neste estudo.

Ainda utilizando a série diária de precipitação da EST foi determinado o acumulado mensal e em seguida média dos acumulados mensais de precipitação, para o período de estudo, descartando os meses com falhas de dados, obtendo assim, o comportamento médio mensal da precipitação referente ao período de 2010 a 2020. Então, esse comportamento médio da precipitação foi comparado com a normal climatológica da precipitação para Manaus, referente ao período 1991-2020, disponibilizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022).

Os eventos extremos de precipitação (EP), foram identificados através do método de percentis (LOUREIRO et al., 2014; XAVIER e XAVIER, 1999). Para aplicação do deste método, inicialmente, tem-se uma divisão da série ordenada de dados em cem partes iguais, e então adota-se um percentil que irá definir o limiar para caracterização dos valores extremos da variável analisada. No caso deste estudo, foram ordenados os acumulados diários de precipitação superiores a 1,0 mm, a partir da série de dados EST, e então aplicada a ordem quantílica de 90% (P^{90}), que corresponde ao limiar de precipitação de 39,4 mm, definindo assim os valores extremos em relação aos registros efetuados.

Por sua vez, os EP foram então avaliados em termos de distribuição trimestral para os meses de Dezembro a Fevereiro (DJF), Março a Maio (MAM), Junho a Agosto (JJA) e de Setembro a Novembro (SON), utilizando box plot. Além disso, uma análise da intensidade e número de EP que ocorrem dentro de cada trimestre foram

avaliados considerando separadamente anos de extremos climáticos associados ao ENOS e anos neutros. Para definição dos eventos climáticos utilizou-se o índice ONI, o qual é uma medida do El Niño – Oscilação Sul, indicando ocorrência de El Niño (períodos quentes), La Niña (períodos frios) e condições neutras, disponível em:

https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php.

Para as demais estações listadas na Tabela 1, foram selecionados os EP tomando como referência o mesmo limiar obtido para a série EST (P¹⁹⁰ correspondente à 39,4 mm). Dessa forma foi possível avaliar de forma qualitativa a distribuição espacial da ocorrência EP em Manaus, utilizando todos os dados disponíveis para cada estação bem como utilizando apenas os dias com dados simultâneos entre a EST e cada uma das estações da Rede UEA-HOBO.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A distribuição dos acumulados diários de precipitação, obtidos através da série EST, é apresentada na “Figura 2” através do gráfico de densidade de frequência e diagrama de caixa. A maior frequência de acumulados diários de precipitação ocorre na classe de precipitações menos intensas, com cerca de 53% destes inferiores a 10,0 mm (“Figura 2, inferior”), o que concorda com o valor da mediana, da ordem de 9,4 mm, apresentado no diagrama de caixa (“Figura 2, superior”). É possível ainda verificar no diagrama de caixa a variabilidade diário do conjunto de dados, com predominância de valores entre 3,8 e 21,4 mm, que define o intervalo interquartil de 17,6 mm. A maior proximidade da mediana com o limite inferior indica que os valores mais intensos apresentam maior variabilidade, inclusive com a ocorrência de outliers variando de 49,0 a 160,0 mm.

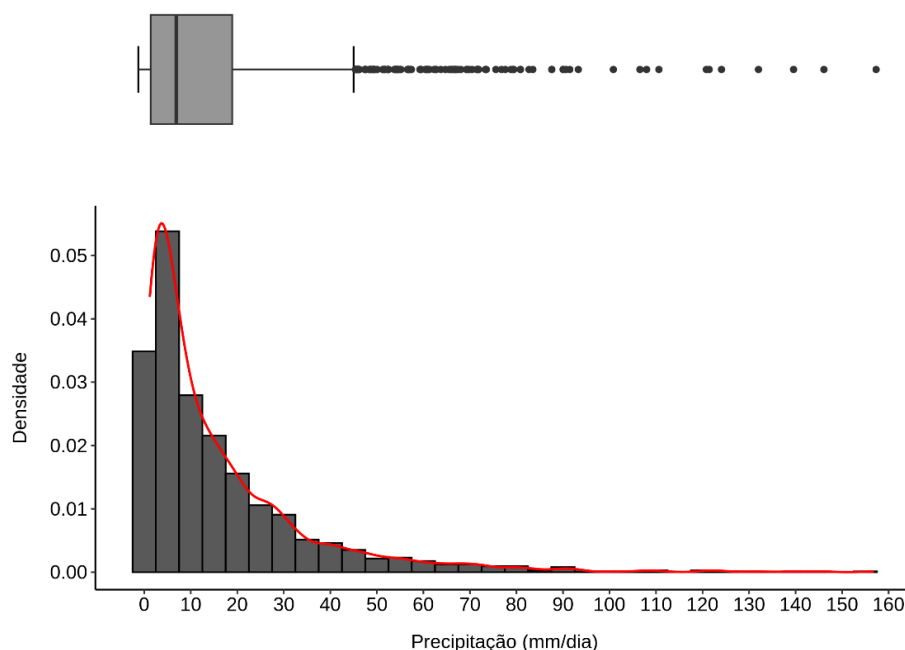


Figura 2. Superior: Diagrama de caixa para os acumulados de precipitação da EST; Inferior: Densidade de frequência dos dados.

A média mensal da precipitação, de acordo com a série EST é apresentada na “Figura 3” em conjunto com a normal climatológica obtida a partir da de dados históricos de 30 anos da estação INMET para o período 1991-2020. O comportamento mensal da precipitação da estação EST, mostra basicamente o mesmo comportamento anual, exceto para o pico em março, indicando que o conjunto de dados da EST é consistente com a normal climatológica. Sobreposto ao comportamento anual da precipitação, a “Figura 3” contém o número de eventos extremos (precipitação acima de 39,4 mm) identificados em cada mês do período de dados disponível. No total, foram contabilizados 148 EP, dos quais 41% ocorreram no trimestre MAM, seguido 32% em DJF, 20% em SON e 7% em JJA. Assim como os acumulados mensais de precipitação, a distribuição mensal dos EP segue o comportamento anual da normal climatológica do INMET. Esse comportamento anual é decorrente da atuação conjunta de sistemas meteorológicos de diferentes escalas, que migram para sua posição mais ao sul nos meses de verão austral, de dezembro a março, aumentando assim a precipitação na região de estudo, conforme apresentado em diversos estudos (FISCH et al., 1998; MOURA e VITORINO, 2012). No entanto, em JJA, sistemas de escalas menores podem favorecer ou induzir convecção, como a atuação da brisa fluvial, que apesar de formar nuvens convectivas sobre o rio, estas podem entrar na cidade e inclusive interagir com a convecção diurna, principalmente no período vespertino devido ao maior aquecimento diurno (ESPINOZA et al., 2023; TANAKA et al., 2014), o que justifica a ocorrência de eventos extremos mesmo no trimestre menos chuvoso de Manaus.

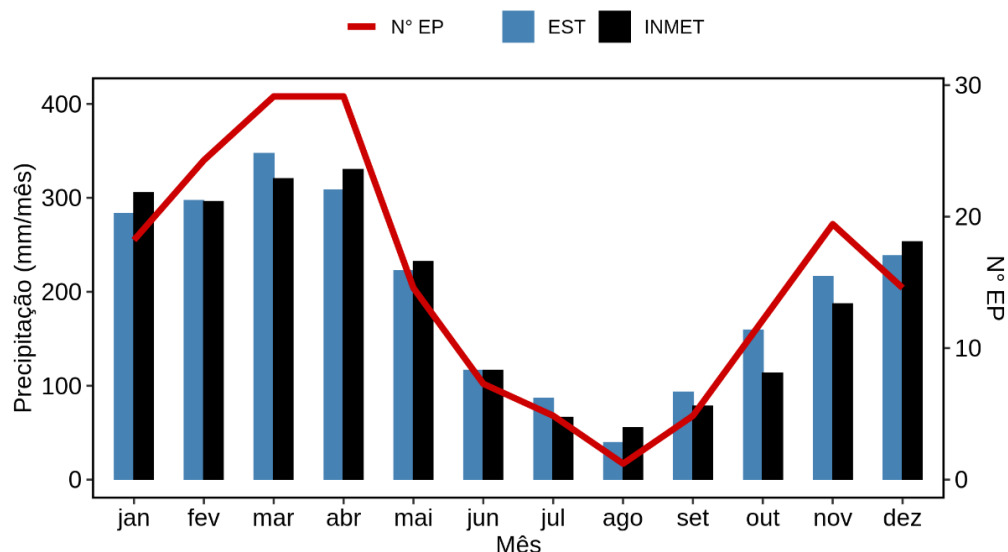


Figura 3. Média mensal dos acumulados mensais de precipitação de acordo com a série EST em colunas azuis, climatologia da precipitação para Manaus (1991-2020) em colunas pretas, e número de extremos de precipitação (EP) em linha vermelha, registrados para cada mês, durante o período de abril de 2010 a maio de 2020.

Para se avaliar a distribuição dos eventos EP em relação às estações do ano, a “Figura 4” apresenta os diagramas de caixa dos EP da EST separados por trimestres, cujos valores estatísticos associados encontram-se na Tabela 2. Tem-se que EP ocorrem durante todo o ano, com frequência que variou de 11 no trimestre JJA a 60 em MAM. Esses resultados indicam que o número de eventos EP influencia o acumulado sazonal de precipitação uma vez que o número de ocorrência de EP está relacionado com o aumento da precipitação. Por outro lado, não são observadas diferenças significativas em relação à intensidade dos eventos quando analisamos o valor da mediana para os trimestres DJF (55,8 mm), MAM (58,1 mm) e SON (53,3 mm). Uma maior dispersão dos dados e ocorrência de outliers foi verificada em MAM (IIQ = 31,4 mm, Pmax = 156,8 mm), trimestre mais chuvoso da região, e SON (IIQ = 28,4 mm, Pmax = 121,6 mm), período de transição da estação seca para chuvosa. Em DJF apesar de menor variabilidade (IIQ = 19,4 mm) em relação a MAM e SON, predominaram EP mais intensos, dado pela mediana mais próxima do terceiro quartil, com a ocorrência de um valor discrepante. No trimestre mais seco (JJA), a mediana foi inferior aos demais trimestres (47,8 mm), associada com menor variabilidade dos dados (IIQ = 10,0 mm) concordando com o menor número e predominância de EP menos intensos neste período.

A ocorrência de EP mesmo no trimestre menos chuvoso está de acordo com Tanaka et al. (2014), que associaram a ocorrência de precipitação elevada a nuvens convectivas formadas pelo aquecimento da superfície e disponibilidade de umidade. Da mesma forma, Giangrande et al., (2020), verificaram que maior parte da convecção que ocorre em Manaus no trimestre menos chuvoso se dá na forma de células convectivas isoladas e mais profundas, o que concorda com a ocorrência de

EP em JJA. Com o início do verão austral, a ZCIT inicia a migração para o hemisfério Sul, contribuindo para a ocorrência de precipitação elevada em DJF, sendo que o período com maior atuação na Amazônia central é MAM (UVO, 1989) interagindo com outros sistemas (SANTOS, 1986; COHEN, 1989; MARENGO et al., 1997a; TANAKA et al., 2014) favorecendo a ocorrência de precipitação mais elevada neste trimestre, com maior número de EP e maior variabilidade do que verificado nos demais trimestres.

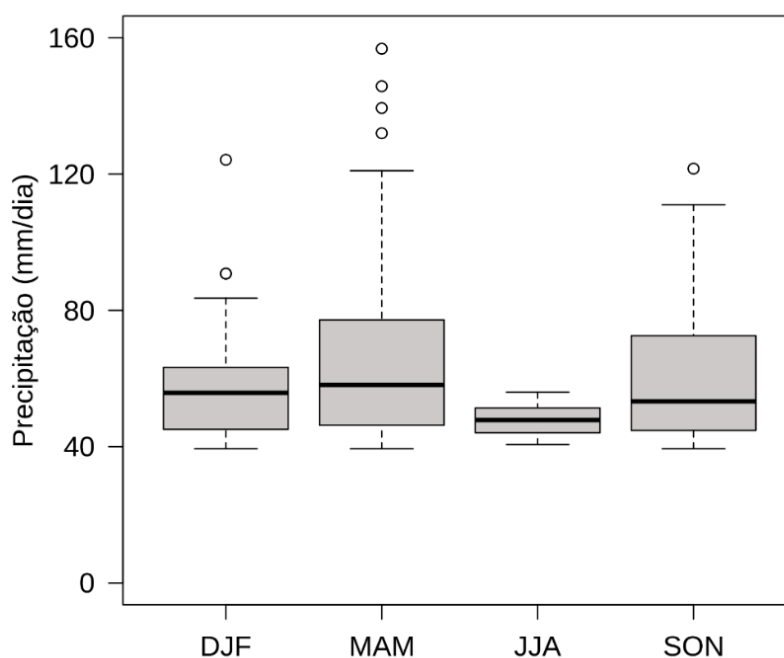


Figura 4. Diagramas de caixa para os extremos de precipitação da série EST, para os trimestres DJF, MAM, JJA e SON.

Tabela 2. Dados estatísticos relacionados com os diagramas de caixa da Figura 4, referentes aos trimestres DJF, MAM, JJA e SON. Número de extremos de precipitação (EP) em valores inteiros; primeiro quartil (P^{25}), mediana (Med), terceiro quartil (P^{75}), intervalo interquartil (IIQ), limite superior (Lim_s) e precipitação máxima (Pmax), em mm.

	Nº EP	P^{25}	Med	P^{75}	IIQ	Lim_s	Pmax
DJF	47	44,6	55,8	64,0	19,4	93,1	124,2
MAM	60	46,2	58,1	77,5	31,4	124,5	156,8
JJA	11	42,8	47,8	52,8	10,0	67,8	56,0
SON	30	44,3	53,3	72,6	28,4	115,2	121,6

A Tabela 3 contém a distribuição destes EP por trimestre e por ano, permitindo assim uma análise da variabilidade interanual e sua relação com condições de ONI positivo, negativo e neutro. Comparando-se apenas os anos com dados completos, tem-se que 2015 e 2018 apresentaram menores números de EP (11 eventos). Em

2015 a precipitação esteve abaixo da climatologia em todos os trimestres (diferenças de até 236 mm, verificada em DJF), 10 EP foram verificados de dezembro a maio, nenhum evento em JJA e apenas 1 evento em SON. Em termos do índice ONI, temos que durante os quatro trimestres analisados para 2015 houve atuação de El Niño, que segundo Jiménez-Muñoz (2016) foi um evento de intensidade forte, o que contribuiu para anomalias negativas da precipitação nesta região e, consequentemente, um menor número de EP para este ano. Por outro lado, em 2018 a precipitação foi 171 e 72 mm abaixo do esperado nos trimestres MAM e SON, respectivamente, com a ocorrência de 1 e 2 EP, enquanto em DJF 7 EP ocorreram contribuindo para uma precipitação de 148 mm acima da média. De acordo com o índice ONI, houve nesse ano, a transição de um evento de La Niña para El Niño com a atuação de La Niña nos trimestres mais chuvosos (DJF e MAM), condições neutras em JJA e atuação de El Niño a partir de SON.

Nos anos de 2019 e 2011 ocorreram maiores números de eventos EP (19 e 18, respectivamente) associados a acumulados de precipitação trimestral acima (abaixo) da climatologia nos trimestres DJF, MAM e SON (JJA), nos dois anos. Em 2019 um evento de El Niño atuou nos trimestres DJF e MAM, no entanto, a precipitação nestes trimestres se manteve 18 e 13% acima do esperado, associados à ocorrência de 5 e 7 EP, respectivamente. Nesses mesmos trimestres, em 2011, sob condições de ONI negativo (La Niña) foram registrados 6 e 9 EP, com a ocorrência de precipitação 19 e 31 % acima da média, respectivamente. Por outro lado, em SON mesmo sob condições de neutralidade do índice ONI em 2019, choveu 583 mm, enquanto a média climatológica é de 381 mm, resultando na ocorrência de 5 EP, enquanto em 2011, ainda sob condições de La Niña, a ocorrência de 620 mm de precipitação tenha resultado em 4 EP.

Tabela 3. Acumulados trimestrais de precipitação para o período de abril de 2010 a maio de 2020, climatologia local (CLIMA), números de eventos extremos identificados para cada trimestre, e Índice Niño Oceânico (ONI) em cores: períodos quentes (vermelho), frios (azul), neutros (preto).

	DJF		MAM		JJA		SON	
	Prec	Nº EP	Prec	Nº EP	Prec	Nº EP	Prec	Nº EP
2010	-	-	-	-	319	3	404	3
2011	1016	6	1161	9	173	1	620	4
2012	891	6	649	4	220	1	567	5
2013	896	5	977	7	245	0	575	3
2014	544	1	1052	6	340	2	376	3
2015	620	4	851	6	147	0	185	1
2016	480	0	645	4	-	-	-	-
2017	-	-	782	3	220	1	614	4
2018	1004	7	714	1	270	1	309	2
2019	1007	5	999	7	231	2	583	5
2020	906	4	981	10	-	-	-	-

Os resultados apresentados indicam que os anos com menor ocorrência de EP estiveram associados à precipitação abaixo da média e ocorrência de El Niño para todos os trimestres analisados, no caso de 2015. Para 2018, embora sob condições de La Niña nos dois trimestres mais chuvosos, a precipitação foi abaixo da média em MAM, com a ocorrência de apenas 1 EP, enquanto no mesmo trimestre em 2015 6 EP foram registrados, mesmo com precipitação abaixo do esperado e sob condições de El Niño. Da mesma forma, para 2019 e 2011, o maior número de EP foi observado nos trimestres com precipitação acima da média climatológica, sendo que em 2011 um evento de La Niña durou todo o ano enquanto em 2019 este comportamento também foi observado para condições neutras. Dessa forma, tem-se que os maiores/menores ocorrências de EP estão associados com precipitação acima/abaixo da climatologia, que podem estar associadas ao índice ONI ou a outros modos de variabilidade, como por exemplo variações na temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical.

Ainda em relação à Tabela 3, foram comparados os números totais de EP para cada trimestre. Em MAM foram contabilizados 57 eventos extremos, seguido de DJF (38 eventos), SON (30 eventos) e JJA (11 eventos), lembrando que aqui são apresentados apenas o número de EP para os trimestres com dados completos. Este resultado concorda com os maiores acumulados de precipitação para os trimestres embora o número de eventos em MAM tenha variado entre 1 (2018), quando a La Niña se encontrava em sua fase final, 9 (2011) e 10 (2020), sendo que em 2011 ocorreu La Niña durante todo o ano e em 2020 o ONI indica fase neutra. Para o trimestre DJF destacam-se os anos 2014 e 2016, com 1 e nenhum EP, respectivamente, associados às condições neutra e de El Niño, e 2018 pelo maior número de EP quando uma La Niña estava em atuação. Em JJA de 2010 ocorreram 3 EP, maior valor entre os anos, associado com chuva acima da média como resultado da atuação de evento de La Niña, sendo que em 2013 e 2015, sob diferentes condições de ONI (neutro e positivo, nessa ordem) e precipitação próxima e abaixo da média, não foram identificados EP. Por fim, em SON apenas 1 EP foi observado em 2015, como já dito anteriormente, em contraposição com 2012 e 2019, que mesmo sob condições neutras, apresentaram precipitação 567 e 583 mm, respectivamente, quando o esperado para este trimestre é de 381 mm. Estes resultados indicam, portanto, que a ocorrência de eventos extremos de precipitação em Manaus está relacionada com alteração no padrão climatológico da precipitação, e que outros modelos de variabilidade, além do ENOS podem contribuir para a ocorrência de extremos.

Após a análise da variabilidade temporal dos extremos de precipitação registrados na zona centro-sul de Manaus (estação EST), a seguir é realizada uma análise da variabilidade espacial dos extremos de precipitação para a cidade, através dos diagramas de caixa da “Figura 5”, referentes às dez estações que compõem a Rede UEA-HOBO, identificadas na Tabela 1. Foi verificada a ocorrência de eventos extremos em todas as localidades, com predominância de EP menos intensos

(mediana mais próxima do primeiro quartil) em nove das dez estações analisadas, com exceção apenas da estação IFAM. Nesta a mediana foi igual à da EST (54,6 mm), porém mais próxima do terceiro quartil, indicando que houve predominância de EP mais intensos, embora os acumulados diários tenham sido inferiores aos observados na EST e apenas um evento foi identificado acima do limite superior ($\text{Lim}_s = 95,1$ mm). No caso da EST, este limiar foi de 108,5 mm, sendo identificados 8 EP superiores a este.

As estações CMM e POL também apresentaram similaridade nas medianas (48,7 e 48,8 mm, nessa ordem), ambas instaladas na zona sul da cidade, no entanto o maior número de eventos e maiores acumulados diários na CMM contribuiu para maior variabilidade dos dados, embora 3 outliers tenham sido identificados em cada estação. Apenas as estações INPA e MUSA não apresentaram outliers, com $P_{\max}$ 79,2 e 91,6 mm, nessa ordem. Também foi observado que entre as estações EMB e MUSA, ambas na zona norte, a distribuição se mostrou semelhante em termos de mediana e IIQ mesmo com número de EP 28 e 37, nessa ordem. No entanto, na MUSA os extremos mais intensos foram mais representativos, dado pela posição da mediana, embora outliers tenham sido verificados apenas na EMB.

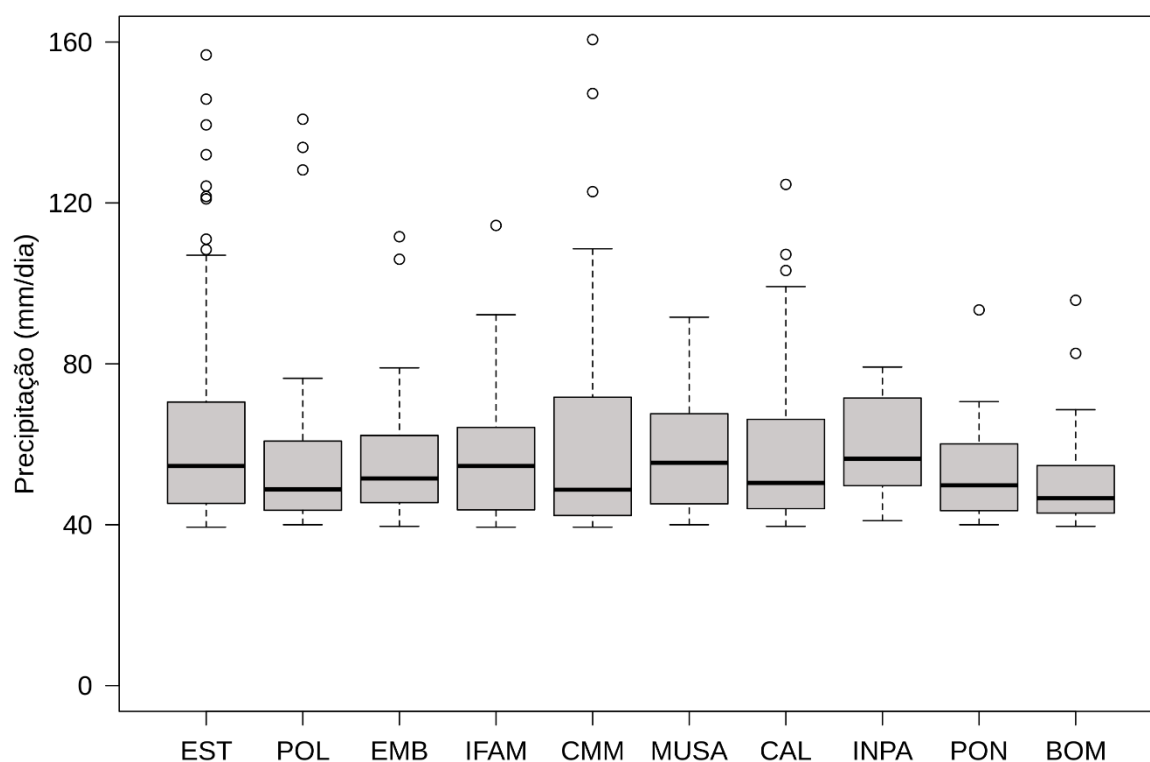


Figura 5. Diagramas de caixa dos acumulados diários de precipitação durante eventos extremos de precipitação para as dez estações utilizadas neste estudo.

De uma maneira geral, tem-se diferentes variabilidades quanto à ocorrência de outliers, mediana dos dados e IIQ mesmo para estações localizadas na mesma zona

da cidade, o que pode estar associado ao período disponível de dados para cada estação, e consequentemente com o número de eventos extremos identificados. Como por exemplo podemos citar a estação EST que possui maior período de dados disponíveis, totalizando 2610 dias (ver Tabela 1) dos quais 148 foram identificados como extremos de precipitação, enquanto a série da estação BOM apresenta apenas 630 dias com dados e apenas 16 EP, resultado da data de instalação e de falhas nos meses mais chuvosos.

Visando eliminar o efeito das diferenças de períodos de disponibilidade de dados para cada estação, foram feitas análises comparando-se a EST com as demais estações, utilizando para tanto o mesmo período de amostragem (Figura 6, Tabela 4). O número de eventos na EST (zona centro-sul) foi superior ao das estações POL, EMB, IFAM, CMM, MUSA, CAL e INPA, com destaque para a comparação entre EMB (zona norte – rural), para a qual foi identificada uma diferença de 52 eventos a menos que a EST, mesmo considerando períodos de dados iguais. Este mesmo comportamento foi identificado para as variáveis Med, P^{275} , IIQ e Lim_s da EST que foram superiores em 10,3, 24,5, 22,2 e 57,7 mm em relação à EMB. Analisando-se os dados da EST com a estação CAL, também localizada em área rural da região metropolitana de Manaus, no entanto à sudoeste de Manaus, foram identificados 83 (EST) e 78 (CAL) EP, que diferentemente do que foi verificado na EMB, a mediana e o terceiro quartil diferenciaram em apenas 4,7 mm, IIQ em 3,1 mm e os limites superiores em 9,5 mm, embora também tenham sido identificados extremos relativamente inferiores na CAL. A distribuição de EP da EST em relação à MUSA, localizada na zona norte em uma região periférica à área urbana, apresentou comportamento semelhante ao verificado para EST x EMB, com EP mais intensos e com maior variabilidade na EST. A mediana foi apenas 1,3 mm superior na MUSA, posicionada no centro do diagrama de caixa para esta estação, P_{max} equivalente a 87,8 mm e sem presença de outliers, enquanto na EST os acumulados diários de precipitação foram de até 156,8 mm.

Comparando-se a distribuição dos EP entre as estações EST e as estações POL e CMM, ambas localizadas na zona sul da cidade, as maiores diferenças foram identificadas entre EST x POL. Neste caso ocorreram diferenças de 18 EP entre as estações, 3,0 mm para o primeiro quartil, 5,6 mm para a mediana. O terceiro quartil, limite superior e P_{max} foram 73,7, 116,1 e 156,8 na EST, e 61,1, 89,0 e 140,8 mm na POL. Estas diferenças estão associadas à maior frequência de EP mais intensos e maior variabilidade na EST. Para a relação EST x CMM o número de EP superou em 20 na EST e as diferenças de P^{225} e Med foram 3,4 e 5,9, respectivamente, iguais aos verificados para EST x POL, no entanto, neste caso, P^{275} e IIQ foram 0,7 e 4,1 mm, valores bem próximos e o Lim_s apresentou menor diferença em relação às demais comparações (7,0 mm). Quatro outliers foram identificados a EST e 3 na CMM, com diferenças entre os valores de P_{max} de apenas 4,0 mm.

As distribuições dos EP entre EST e INPA e EST e IFAM foram semelhantes em termos de mediana, com diferenças de apenas 0,6 e 1,0 mm entre as estações, respectivamente. Em relação ao número de eventos da EST, apenas três EP excedem o número de EP na IFAM (zona leste) enquanto para EST x INPA a diferença foi de 12 EP. Observa-se ainda que no caso da EST x INPA, há

predominância de EP menos intensos e os extremos mais intensos ocorrem na EST, embora não tenham sido identificados outliers para ambas. Por outro lado, embora a mediana tenha sido semelhante para as estações EST e IFAM, no caso da IFAM esteve localizada em uma posição 0,7 mm acima da posição central da caixa indicando que neste caso os extremos são distribuídos de maneira quase uniforme em torno da mediana, não sendo identificada predominância de extremos menos intensos conforme identificado para as demais estações.

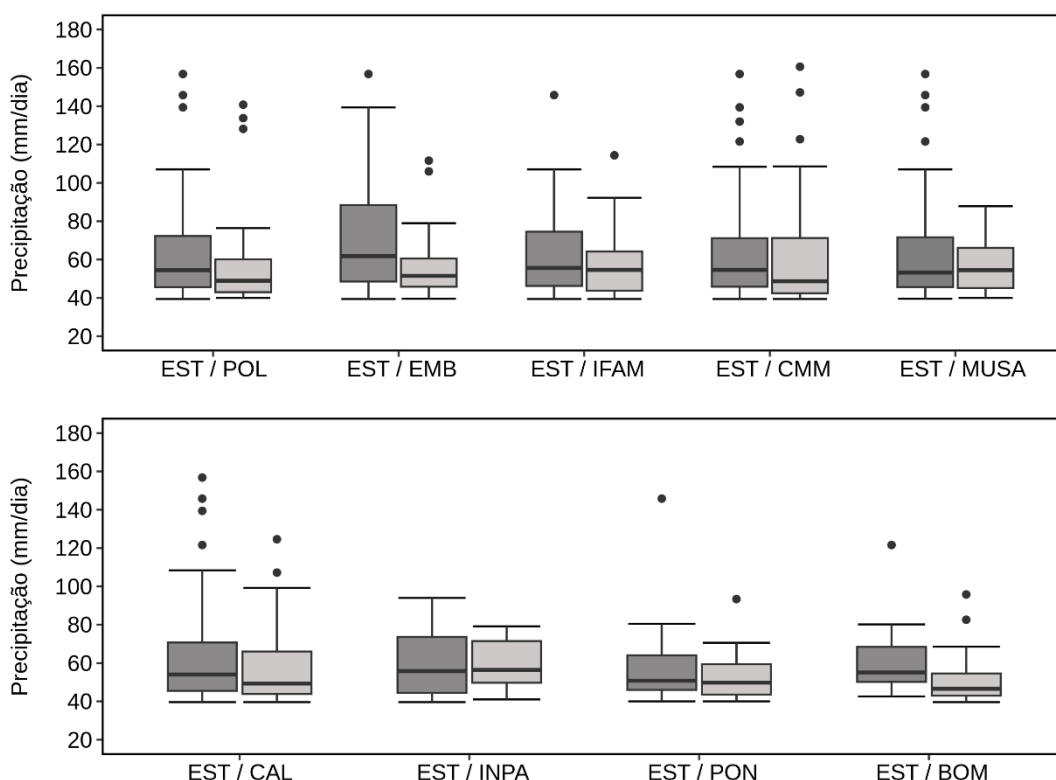


Figura 6. Diagramas de caixa dos acumulados diários de precipitação das estações POL, EMB, IFAM, CMM, MUSA, CAL, INPA, PON e BOM em relação à série EST.

Para finalizar, temos a comparação dos EP entre a EST e as estações BOM (zona sul) e PON (zona oeste) com estas apresentando os menores valores IIQ em relação às demais estações (17,3 e 12,0 mm, nessa ordem) o que pode ser justificado pelo menor período de dados disponíveis para estas, uma vez que EST também apresentou menor IIQ nestes casos. Tanto para EST quanto BOM ocorreram 16 EP, no entanto a Med e o P²⁷⁵ tenham sido 8,5 e 14,9,0 mm superior na EST. Os EP mais intensos foram mais frequentes na EST, aumentando a diferença entre o terceiro quartil, Lim_s e P_{max} entre as estações, como verificado para a maioria das comparações analisadas, inclusive para EST x PON para as quais a mediana variou entre estas em apenas 1,0 mm mas P²⁷⁵, Lim_s e P_{max} foram 5,1, 9,3 e 52,4 mm superior na EST.

Tabela 4. Dados estatísticos gerados a partir dos diagramas de caixa da Figura 6, para as cinco estações indicadas. Número de extremos de precipitação (EP) em valores inteiros e demais valores em mm.

	Nº EP	P ² 25	Med	P ² 75	IIQ	Lim_s	Pmax
EST	56	45,5	54,5	73,7	28,2	116,1	156,8
POL	38	42,5	48,9	61,1	18,6	89,0	140,8
EST	80	47,5	61,8	88,4	40,9	149,8	156,8
EMB	28	45,2	51,5	63,9	18,8	92,0	111,6
EST	46	45,9	55,6	75,1	29,2	118,9	145,8
IFAM	43	43,6	54,6	64,2	20,6	95,1	114,4
EST	80	45,6	54,6	71,4	25,9	110,3	156,8
CMM	60	42,2	48,7	72,2	30,0	117,2	160,6
EST	49	45,5	53,2	73,0	27,5	114,2	156,8
MUSA	36	44,9	54,5	67,1	22,2	100,4	87,8
EST	83	45,4	54,0	71,0	25,6	109,4	156,8
CAL	78	43,8	49,3	66,2	22,5	99,9	124,6
EST	23	43,6	55,8	78,6	35,0	131,1	94,0
INPA	11	46,2	56,4	74,2	28,0	116,2	79,2
EST	25	45,8	50,8	65,9	20,1	96,0	145,8
PON	28	43,5	49,8	60,8	17,3	86,7	93,4
EST	16	50,0	55,1	69,7	19,7	99,3	121,6
BOM	16	42,9	46,6	54,9	12,0	72,8	95,8

Os resultados indicam, portanto, uma variabilidade intensa da ocorrência de extremos de precipitação em Manaus, na área urbana, concordando com os estudos de Barbosa (2014), bem como quando considera-se EP entre as áreas rurais (EMB e CAL) e área urbana (EST, zona centro-sul). Seja considerando o período de dados de cada estação ou sincronizando o período de dados entre EST e as demais estações, o padrão de variabilidade é mantido, com destaque para a estação IFAM, localizada na zona leste da cidade, que manteve predominância de EP mais intensos em relação às demais estações, embora menos intensos em relação à EST. A estação CMM manteve P_{máx} mais elevado que a EST, a estação MUSA não apresentou outliers enquanto 4 foram identificados na EST, e a estação INPA que assim como a EST não apresentou outliers. A predominância de maior frequência de EP na EST em relação às demais estações podem estar associada com o transporte de umidade para as regiões da cidade mais afastadas do rio, através da atuação da circulação de brisa fluvial, uma vez que, segundo Carvalho (2016), esta circulação se mostra mais intensa no setor leste-sudeste em resposta à maior extensão do rio nesta posição, que associada com a baixa topografia permitem que sistemas precipitantes que adentram em Manaus tenham predominância de leste - sudeste, o que possivelmente explica os comportamentos semelhantes em relação à ocorrência de outliers relativamente elevados nas estações POL e CMM.

CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar a distribuição temporal e espacial dos extremos de precipitação em Manaus, no período de março de 2010 a maio de 2020, utilizando os registros realizados através de uma rede de estações meteorológicas automáticas instaladas na área urbana e no entorno da cidade. O percentil de 90% foi aplicado à estação com maior período de dados disponíveis (EST), que resultou no limiar de 39,4 mm para identificação dos EP, o qual foi adotado também para as demais estações.

A ocorrência dos eventos EP apresenta um comportamento anual, com máxima ocorrência durante os trimestres mais chuvosos e mínima ocorrência no trimestre mais seco, indicando que o número de ocorrência de EP está relacionado com a precipitação sazonal. Além disso, em relação a variabilidade interanual, os resultados mostraram que as maiores /menores frequências de eventos EP estão relacionadas com precipitação acima/abaixo da normal climatológica para os trimestres DJF, MAM e SON. No entanto, este comportamento não está diretamente relacionado com a ocorrência de episódios de La Niña/ El Niño, indicando a influência de outros sistemas na alteração do padrão climático da região.

Em relação à distribuição espacial, eventos EP foram identificados em todas as zonas da cidade de Manaus, com distribuição relativamente homogênea em termos de intensidade para a zona leste (IFAM) e predominância de EP menos intensos nas demais áreas em relação à estação EST. Maior frequência de extremos de precipitação e predominância de eventos mais intensos ocorreu na zona centro-sul da cidade, embora o máximo acumulado diário de precipitação tenha sido registrado na zona sul, em uma estação localizada próxima ao rio (CMM). Estações localizadas na zona norte da cidade sob diferentes condições de cobertura da superfície apresentaram distribuição distinta com uma diferença mais expressiva do número de ocorrência de EP na estação EMB mesmo considerando o mesmo período de dados para ambas.

Diante dos resultados apresentados e considerando os mecanismos associados à ocorrência de EP discutidos em estudos anteriores, pode-se concluir que os eventos EP ocorrem em qualquer época do ano, em resposta à circulação local de brisa fluvial e elevado aquecimento da superfície no período mais seco da região, e como resultado da interação de sistemas meteorológicos de diferentes escalas no período mais chuvoso. No entanto, este comportamento pode ser alterado entre os anos, em decorrência de variações nas circulações atmosféricas em resposta às forçantes remotas, como por exemplo o ENOS ou mudanças nas circulações regionais e locais. Em termos de variabilidade espacial, os eventos EP mais frequentes e intensos ocorrem na zona centro-sul da cidade de Manaus, indicando uma relação dos EP com a direção leste-sudeste predominante de entrada dos sistemas precipitantes na cidade, associada com a circulação de brisa fluvial e de aquecimento urbano. Os resultados desse estudo são baseados em séries temporais de precipitação em 10 estações meteorológicas instaladas na cidade de Manaus. As estações urbanas possuem dados com número de observações diárias entre 630 e 2610 dias, dependendo da estação de coleta. Isto pode ser uma

limitação do estudo no que diz respeito a distribuição espacial dos eventos EP. Assim, um estudo futuro com dados para um período mais longo de pelo menos uma década para todas as estações consideradas dará resultados mais robustos. Por outro lado, este é o primeiro estudo que mostra as características espaciais dos eventos extremos de precipitação sobre a cidade de Manaus a partir de uma rede observações.

AGRADECIMENTOS

O primeiro, segundo e terceiro autores agradecem à Universidade do Estado do Amazonas (UEA) pelo suporte à pesquisa (Portarias 086/2021-GR/UEA e 648/2023-GR/UEA). O segundo autor agradece ao CNPq pelo apoio financeiro recebido através do processo 308435/2022-2. O quarto autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de treinamento técnico. O último autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), pela bolsa de Doutorado (Código de financiamento 001).

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Maria Betânia Leal de Oliveira: concepção, metodologia, coleta e análise dos dados, escrita do artigo, revisão, supervisão e aquisição de financiamento. Rita Valéria Andreoli de Souza: concepção, metodologia, coleta e análise dos dados, escrita do artigo, revisão, supervisão e aquisição de financiamento. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza: concepção, metodologia, coleta e análise dos dados, escrita do artigo, revisão, supervisão e aquisição de financiamento. Lemoel Pimentel de Brito: coleta e análise dos dados e revisão. Wallace Cevalho: coleta e análise dos dados e revisão. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F.; KAYANO, M. T.; CANDIDO, L. A. Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic and atmospheric patterns. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 8, p. 1193–1205, 2012. DOI: 10.1002/joc.2345.
- ANDREOLI, R. V.; OLIVEIRA, S. S.; KAYANO, M. T.; VIEGAS, J.; DE SOUZA, R. A. F.; CANDIDO, L. A. The influence of different El Niño types on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 3, p. 1374–1390, 2017a. DOI: 10.1002/joc.4783.

ANDREOLI, R. V.; SILVA, S. N. R.; SOUZA, R. A. F.; KAYANO, M. T.; GARCIA, S. R.; CAPISTRANO, V. B.; ARMIJOS, E. Intense drought and flooding events in the Rio Negro and relation with the tropical Pacific and Atlantic variability modes.

Theoretical and Applied Climatology, v. 129, n. 1, p. 551–576, 2017b. DOI: 10.1007/s00704-016-1790-1.

BARBOSA, R. G. **Variabilidade da ocorrência de deslizamentos de terra e sua relação com a precipitação na cidade de Manaus**. 2017. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente), Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2017.

CARVALHO, I. A. **OS IMPACTOS DA FISIOGRAFIA DE MANAUS SOBRE OS SISTEMAS METEOROLÓGICOS**. 2022. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

COHEN, J. C. P. **Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia**. 1989. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

COSTA, R. C.; CASSIANO, K. R. M. **Análise geográfica das áreas de risco em Manaus (Amazonas, Brasil)**. In: VI SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO E II SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2010, Coimbra. **Anais** [...], Coimbra: 2010.

ESPINOZA, N. S.; SANTOS, C. A. C.; OLIVEIRA, M. B. L.; SILVA, M. T.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; MISHRA, M.; FERREIRA, R. R. Assessment of urban heat islands and thermal discomfort in the Amazonia biome in Brazil: A case study of Manaus city. **Building and Environment**, v. 227, p. 109772, 1 jan. 2023. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109772.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 28, p. 101–101, jun. 1998. DOI: 10.1590/1809-43921998282126.

GIANGRANDE, S. E.; WANG, D.; MECHEM, D. B. Cloud regimes over the Amazon Basin: perspectives from the GoAmazon2014/5 campaign. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 20, n. 12, p. 7489–7507, 29 jun. 2020. DOI: 10.5194/acp-20-7489-2020.

GUSMÃO, A. M. Alta da Bolívia. **Revista Climanalise**, ed. Especial, p. 143–146, 1996.

HONORATO, A. G.; OLIVEIRA, M. A. **AVALIAÇÃO TÉCNICA PÓS-DESASTRE**. Serviço Geológico do Brasil, 2023. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23772>>. Acesso em: 2 jul. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL: PERÍODO 1991-2020**. Edição Digital, BRASÍLIA - DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais#>. Acesso em: 05 jul. 2023.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; TAKAHASHI, K.; MALHI, Y.; SOBRINO, J. A.; SCHRIER, G. V. D. RECORD-

breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 33130, 8 set. 2016. DOI: 10.1038/srep33130.

KODAMA, Y. Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II**, v. 70, n. 4, p. 813–836, 1992. DOI: 10.2151/jmsj1965.70.4_813.

LOUREIRO, R. S.; SARAIVA, J. M.; SARAIVA, I.; SENNA, R. C.; FREDÓ, A; S. Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 83–94, dez. 2014. DOI: 10.1590/0102-778620130054.

MACHADO, L. A. T.; FRANCO, M. A.; KREMPEL, L. A.; DITAS, F.; ANDREAE, M.O.; ARTAXO, P.; CECCHINI, M. A.; HOLANDA, B. A.; PÖHLKER, M. L.; SARAIVA, I.; WOLFF, S.; PÖSCHL, U.; PÖHLKER, C. How weather events modify aerosol particle size distributions in the Amazon boundary layer. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 21, n. 23, p. 18065–18086, 10 dez. 2021. DOI: 10.5194/acp-21-18065-2021.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CULF, A. D. Climatic Impacts of “Friagens” in Forested and Deforested Areas of the Amazon Basin. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 36, n. 11, p. 1553–1566, 1 nov. 1997. DOI: 10.1175/1520-0450(1997)036<1553:CIOFIF>2.0.CO;2.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 475–483, dez. 2012. DOI: 10.1590/S0102-77862012000400010.

NIELSEN, D. M.; BELÉM, A. L.; MARTON, E.; CATALDI, M. Dynamics-based regression models for the South Atlantic Convergence Zone. **Climate Dynamics**, v. 52, n. 9, p. 5527–5553, 1 maio 2019. DOI: 10.1007/s00382-018-4460-4.

OLIVEIRA, A. P.; FITZJARRALD, D. R. The Amazon river breeze and the local boundary layer: I. Observations. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 63, n. 1, p. 141–162, 1 fev. 1993. DOI: 10.1007/BF00705380.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. D.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 185–204, jun. 2010. DOI: 10.1590/S0102-77862010000200004.

RICKENBACH, T. M. Nocturnal Cloud Systems and the Diurnal Variation of Clouds and Rainfall in Southwestern Amazonia. **Monthly Weather Review**, v. 132, n. 5, p. 1201–1219, 1 maio 2004.

RODRIGUES, T. F. **ALGUNS ASPECTOS DAS ÁREAS DE RISCO EM MANAUS (AM) INTRODUÇÃO**. A AGB e a Geografia brasileira no contexto das lutas sociais frente aos projetos hegemônicos. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, Vitória, 2014. **Anais [...]**. Vitória: 10 ago. 2014.

ROSA, E.; PEZZI, L.; QUADRO, M.; BRUNSELL, N. Automated Detection Algorithm for SACZ, Oceanic SACZ, and Their Climatological Features. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, p. 18, 1 fev. 2020.

SANTOS, I. A. **Variabilidade da circulação de verão da alta troposfera na América do Sul**. 1986. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

SOUZA, P. M. M.; VENDRASCO, E. P.; SARAIVA, I.; TRINDADE, M.; OLIVEIRA, M. B. L.; SARAIVA, J.; DALLAROSA, R.; SOUZA, R. A. F.; CANDIDO, L. A.; SAPUCCI, L. F.; ANDREOLI, R. V. Impact of Radar Data Assimilation on the Simulation of a Heavy Rainfall Event Over Manaus in the Central Amazon. **Pure and Applied Geophysics**, v. 179, n. 1, p. 425–440, 1 jan. 2022. DOI: 10.1007/s00024-021-02901-0.

TANAKA, L. M. D. S.; SATYAMURTY, P.; MACHADO, L. A. T. Diurnal variation of precipitation in central Amazon Basin. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 13, p. 3574–3584, 2014.

UVO, C. R. B. **A zona de convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da técnica dos Quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 14, n. 2, p. 63–78, 1999.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0