

ANÁLISE E A IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA ILHA DO MARAJÓ/PARÁ

Milena de Nazaré Santos **Quaresma**¹, Christian Nunes **da Silva**², Maria Lúcia Brito **da Cruz**³, Marcos Ronielly da Silva **Santos**⁴

(1 – Universidade Federal do Pará, milenasquaresma@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3732-4722>; 2 – Universidade Federal do Pará, cnsgo@yahoo.com.br, <https://orcid.org/0000-0001-7753-5394>; 3 – Universidade Estadual do Ceará, lucia.cruz@uece.br, <https://orcid.org/0000-0002-2202-923X>; 4 – Instituto Federal do Pará, marcos.santos@ifpa.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-1959-1424>)

Resumo: A precipitação pluvial é considerada uma das variáveis climáticas mais importantes e investigadas na Amazônia, tendo em vista que os ecossistemas florestais são atuantes no ciclo hidrológico e na distribuição da chuva regional. O artigo tem o objetivo de apresentar a variabilidade anual em anos de extremos da precipitação na ilha do Marajó, com identificação dos eventos pluviais extremos positivos e negativos por município, durante o período de 1981 a 2021. A metodologia embasou-se em dados de produtos orbitais com resolução espacial e temporal disponibilizados pelo Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), e associados ao modelo estatístico “Box plot” para identificação dos extremos. Para descrição dos valores de extremos pluviais, utilizou-se os acumulados mensais de precipitação, com a geração de 12 gráficos com base na série analisada. Os resultados descrevem que os anos com atuação de El Niño (1983) apresentam os menores acumulados de chuva (1.157mm), enquanto os anos com atuação de La Niña (1988), os maiores valores pluviais acumulados (4.055mm). A pesquisa foi satisfatória para preencher a ausência de dados sobre a variabilidade e extremos de chuva, sobretudo, quando associados a regiões extensas e com escassez de dados. Os produtos gerados tendem a contribuir com pesquisas climáticas na região.

PALAVRAS-CHAVE: Chuva; ENOS; Produtos Orbitais; Box Plot; Amazônia.

ANALYSIS AND IDENTIFICATION OF EXTREME RAINFALL EVENTS ON THE ISLAND OF MARAJÓ/PARÁ

Abstract: Rainfall is considered to be one of the most important climatic variables investigated in the Amazon, given that forest ecosystems play a role in the hydrological cycle and regional rainfall distribution. The aim of this article is to present the annual variability in extreme rainfall years on the island of Marajó, identifying extreme positive and negative rainfall events by municipality, from 1981 to 2021. The methodology was based on data from orbital products with spatial and temporal resolution made available by the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), and associated with the "Box plot" statistical model to identify the extremes. To describe the values of rainfall extremes, monthly precipitation accumulations were used, generating 12 graphs based on the series analyzed. The results show that the years with El Niño (1983) had the lowest accumulated rainfall (1,157mm), while the years with La Niña (1988) had the highest accumulated rainfall (4,055mm). The research was satisfactory in filling the lack of data on the variability and extremes of rainfall, especially when associated with large regions with scarce data. The products generated tend to contribute to climate research in the region.

Keywords: Rainfall; ENOS; Orbital Products; Box Plot; Amazon.

ANÁLISIS CLIMÁTICO E IDENTIFICACIÓN DE PRECIPITACIONES EXTREMAS EN ISLA MARAJÓ/PARÁ

Resumen: Las precipitaciones se consideran una de las variables climáticas más importantes investigadas en la Amazonia, dado que los ecosistemas forestales desempeñan un papel en el ciclo hidrológico y en la distribución regional de las lluvias. El objetivo de este artículo es presentar la variabilidad anual de los años extremos de precipitación en la isla de Marajó, identificando eventos extremos de precipitación positiva y negativa por municipio, desde 1981 hasta 2021. La metodología se basó en datos de productos orbitales con resolución espacial y temporal puestos a disposición por el Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), y asociados al modelo estadístico "Box plot" para la identificación de extremos. Para describir los valores de los extremos pluviométricos se utilizaron las acumulaciones mensuales de precipitación, generándose 12 gráficos a partir de las series

analisadas. Los resultados muestran que los años con El Niño (1983) tuvieron la menor precipitación acumulada (1,157mm), mientras que los años con La Niña (1988) tuvieron la mayor precipitación acumulada (4,055mm). La investigación fue satisfactoria para colmar la falta de datos sobre la variabilidad y los extremos de las precipitaciones, especialmente cuando se asocia a grandes regiones con escasez de datos. Los productos generados tienden a contribuir a la investigación climática en la región.

Palabras clave: Precipitaciones; ENOS; Productos orbitales; Box Plot; Amazon.

1. Introdução

A chuva é uma das variáveis climáticas mais importantes e investigadas região amazônica, sendo responsável pelo “input” do balanço hidrológico de uma região (Gomes et al., 2021). Neste contexto, (Ávila, 2014) ressaltam a necessidade de estudos associados ao monitoramento pluviométrico na Amazônia Brasileira, visto que os ecossistemas florestais atuam de modo significativo no ciclo hidrológico, e na dinâmica e redistribuição da chuva.

Para (Hoffmann et al., 2018), a variabilidade da precipitação pluvial é indispensável na gestão, no planejamento local, e principalmente no desenvolvimento de atividades econômicas em zonas tropicais, visto que a alteração da variabilidade hidrológica representa um fator limitador ao avanço da produção agrícola na Amazônia. Estudos de (Cohen et al., 1989), (Ananias et al., 2010), (Santos et al., 2014) e (Santos et al., 2019) apresentam características do clima na região amazônica, associando-o a presença de um vasto espectro de variações espaço-temporais na atividade convectiva tropical.

De acordo com (Santos et al., 2014), os sistemas meteorológicos e mecanismos de interações Oceano-Atmosfera, que interferem na variabilidade da precipitação na Amazônia, aliam-se desde a escala global à escala local. Os altos valores de umidade e as precipitações associam-se a fenômenos como El Niño/Oscilação Sul (ENOS), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), entre outras oscilações e linhas de instabilidades que atuam no desenvolvimento e no índice de pluviosidade regional (Amanajás & Braga, 2012).

Em virtude das alterações climáticas e dos eventos extremos, tem-se observado ao longo dos anos a necessidade de dados que subsidiem análises e previsões climáticas mais precisas,

principalmente no que tange a diferentes escalas de tempo e espaço, de forma refinada e contínua em áreas extensas e com poucos dados meteorológicos. Nesse contexto, o sensoriamento remoto por meio de tecnologias geoespaciais e cartográficas, tem auxiliado no conhecimento e distribuição dos padrões de chuva na superfície (Santos et al., 2016; Santos et al. 2017; Silva et al., 2020).

Sodré e Rodrigues (2013) apontam que para aplicabilidade de modelos meteorológicos, as informações necessitam do cumprimento preciso e sistemático de dados. No caso do Brasil, e principalmente na Amazônia, inúmeras são as lacunas de informações aplicadas pelas estações meteorológicas, dado que em virtude da extensa cobertura espacial das regiões amazônicas, os pontos fixos utilizados como fonte de obtenção de informações, limitam-se a registros pouco detalhados (Buarque et al., 2011).

Uma forma de minimizar a carência dos dados meteorológicos baseia-se na aplicação de dados orbitais, com o uso do sensoriamento remoto. O Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) é um produto de espacialização que disponibiliza uma série de dados diários e mensais de precipitação com resolução espacial de 5km e temporal de 1 hora, e por meio de escala refinada, permitindo a averiguação de informações desde 1981 até os dias atuais (Costa et al., 2019).

Principalmente, a partir do ano 2018 vários autores mencionam em suas pesquisas a validação dos dados CHIRPS para analisar a acurácia da precipitação no território brasileiro (Nogueira et al., 2018; Costa et al., 2019; Costa et al., 2022; Lima Júnior et al., 2023; Silva et al., 2020). Todavia, poucos estudos foram realizados para Amazônia (Paca et al., 2020); (Mu et al., 2021) e essa ausência de pesquisas amplia-se para região da ilha do Marajó, com desatenção desta importante área para a manutenção da biodiversidade e clima regional.

A ilha do Marajó é considerada a maior ilha fluviomarina do mundo, formada por um território múltiplo e dinâmico e composta de áreas de campos, manguezais, florestas de terra firme e várzea (Spier et al., 2018). O Marajó apresenta características naturais e antrópicas peculiares, para (Carvalho & Mustin, 2017), a região é constituída por diferentes unidades de relevo, dentre eles a planície Amazônica que condiciona a penetrabilidade das marés, dada a baixas cotas altimétricas e aliada aos altos índices de pluviosidade que influenciam o sistema hidrográfico local.

Para (Santos et al., 2021), a condição antrópica na região é sinalizada pela baixa densidade demográfica, e os menores índices de desenvolvimento humano e municipal do estado do Pará. Esses fatores, associados aos extremos de climáticos, ampliam a vulnerabilidade socioambiental na região. Sendo assim, o artigo tem o objetivo de apresentar a variabilidade anual em anos de extremos pluviais da precipitação na ilha do Marajó, com identificação dos eventos extremos positivos e negativos de chuva por município, durante o período de janeiro de 1981 a dezembro de 2021, considerando a utilização de dados de sensoriamento remoto de alta resolução (CHIRPS) em escala anual, bem como conhecer a variabilidade de chuva em anos de extremos pluviais.

2 - Material e métodos

2.1 Área de estudo

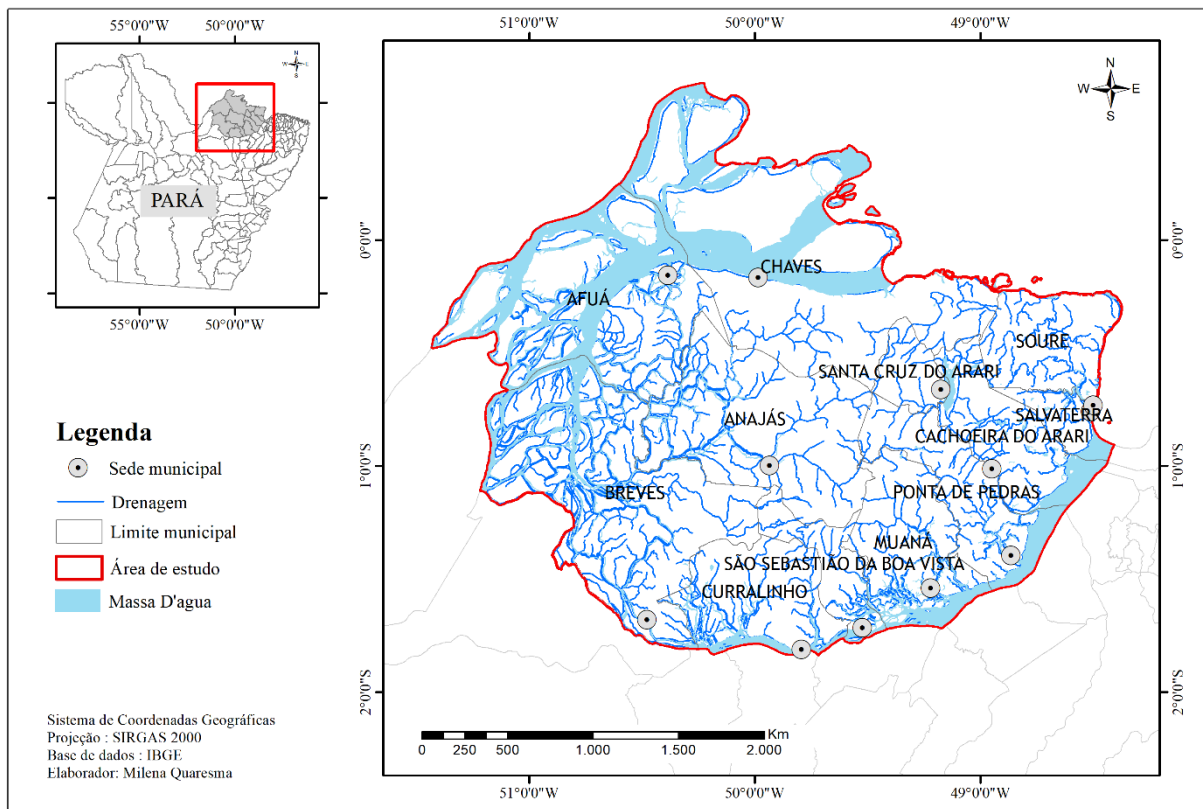
A ilha do Marajó está inserida sob as coordenadas geográficas 0° 28' a 0°56" latitude (S) e 48°36' a 50°45" longitude (W), com extensão de aproximadamente 49.000 km², e compreendendo cerca de 4,7% da área total do estado do Pará (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020; Lima et al., 2005). Sua dimensão territorial abrange um total de 12 municípios: Afuá, Anajás, Breves, Cachoeira do Arari, Chaves, Curralinho, Muaná, Ponta de Pedras, Salvaterra, Santa Cruz do Arari, São Sebastião da Boa Vista e Soure (Figura 1).

Inserida no contexto de Bacia Amazônica, área de maior rede hidrográfica do planeta, a região marajoara perpassa por inundações periódicas, em virtude dos seus rios estarem condicionados ao regime hidrológico local (marés), que são influenciados pela circulação atmosférica da Zona Intertropical Sul-Americana e dos deslocamentos das massas de ar (Nobre et al., 1991). As áreas de inundação no arquipélago são originárias tanto do acúmulo das águas pluviais quanto pelo transbordamento dos corpos hídricos.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região do Marajó pode ser definido como equatorial sempre úmido (Af) e equatorial monçônico (Am), apresentado temperaturas médias entre 26°C e 27°C (Alvares et al., 2013). As chuvas apresentam duas estações anuais bem definidas, chuvosa e menos chuvosa. Para (Lima et al., 2005), são regionalmente denominados de inverno amazônico, os meses de dezembro a maio, e período de verão amazônico, com índices menores de precipitação entre os meses junho a novembro. No período de chuva intensa (inverno amazônico), os acumulados anuais podem variar de 2.300mm a

4.000mm, o volume hídrico local ocasiona enchentes e inunda as ilhas em mais de dois terços da superfície Plano de (Brasil, 2007).

Figura 1 - Localização da ilha do Marajó, área de estudo com destaque as sedes municipais e distribuição hídrica da região.



Fonte: (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020). Elaborado pelos autores.

2.2 Metodologia e estatística

A aplicação e análise dos dados dividiu-se em duas etapas: i) coleta dos dados disponibilizados pelo Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) para mensuração climatológica; ii) uso dos gráficos de Box Plot para identificação dos extremos pluviais municipais.

O CHIRPS é uma técnica desenvolvida pelo Earth Resources Observation and Science (EROS) da United States Geological Survey (USGS), que através de observações de satélites e pluviômetros fornece um conjunto de dados refinados, confiáveis e atualizados, no que tange a variação espacial e temporal das chuvas (Paca et al., 2020). Vale destacar que o uso de tal

técnica é corroborada pelas pesquisas de (Malthus & Mumby, 2003; Zambrano-Bigiarini et al., 2017) onde elucida-se a eficiência dos dados CHIRPS em comparação a outros produtos de sensoriamento remoto (Chuva) para regiões de planície e costeiras.

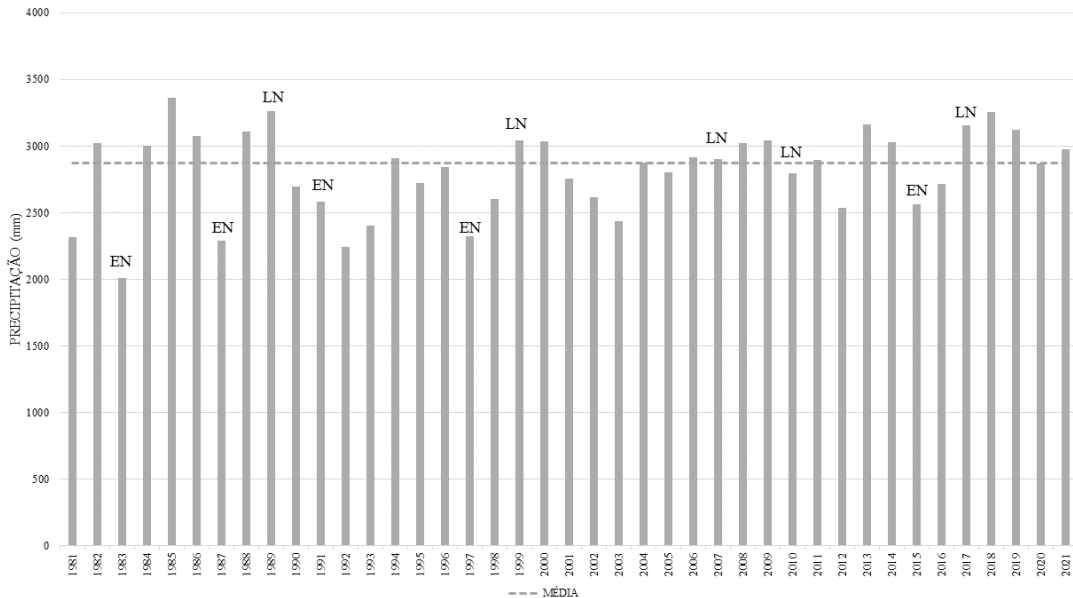
A produção dos dados mensura informações periódicas desde 1981 até a atualidade, e incorporam uma área de cobertura geográfica de 50°S a 50° N e todas as longitudes. Os dados foram projetados para construção climatológica de alta resolução e são baseados nas grades dos satélites NASA e NOAA, com resolução espacial de 0,05°, ou seja, aproximadamente 5km (cerca de 5,3km para região amazônica), além de dispor dados de estações *in-situ*, obtidos pela Global Historical Climate Network (GHCN) e Global Summary of Day (GSOD) correspondente a observações de precipitação (Mu et al., 2021).

A análise desta pesquisa consistiu na identificação dos mapas de variabilidade espaço-temporal da chuva para o período de 1981 a 2021 para a ilha do Marajó - Pará, onde trabalhou-se com dados mensais e sazonal para os 40 (quarenta) anos de estudos. A climatologia foi realizada a partir da soma de todos os períodos e dividida pela quantidade de tempo estudado.

A análise anual foi selecionada a partir dos anos de extremos de precipitação pluvial, considerando os anos de ocorrência do fenômeno EL Niño Oscilação Sul (ENOS), classificados pelo (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), 2022) por meio da anomalia de Temperatura da Superfície do Mar (ATSM) (disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>). Os anos selecionados de El Niño (Forte) foram: 1983; 1987; 1991; 1997 e 2015 e anos de La Niña (Moderada) correspondem: 1988; 1999; 2007; 2010 e 2018. Na Figura 2 se apresenta os acumulados anuais de precipitação pluvial para a ilha do Marajó, com destaque para os anos com atuação do fenômeno ENOS em sua fase de El Niño e La Niña.

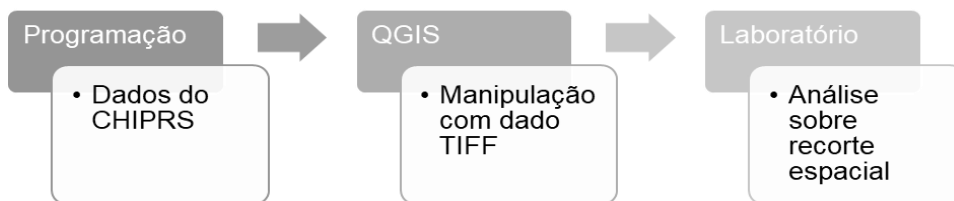
Os mapas foram gerados a partir dos dados modelados no Google Engine por meio da programação em linguagem R, depois exportados em formato TIFF e confeccionados em software de geoprocessamento apropriado (QGIS 2.18.24). O esquema metodológico (Figura 3) apresenta as etapas da pesquisa.

Figura 2 - Precipitação pluviométrica média anual entre 1981 e 2021 para área de estudo, elucidando os períodos El Niño (EN) e La Niña (LN).



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 3 - Esquema metodológico.



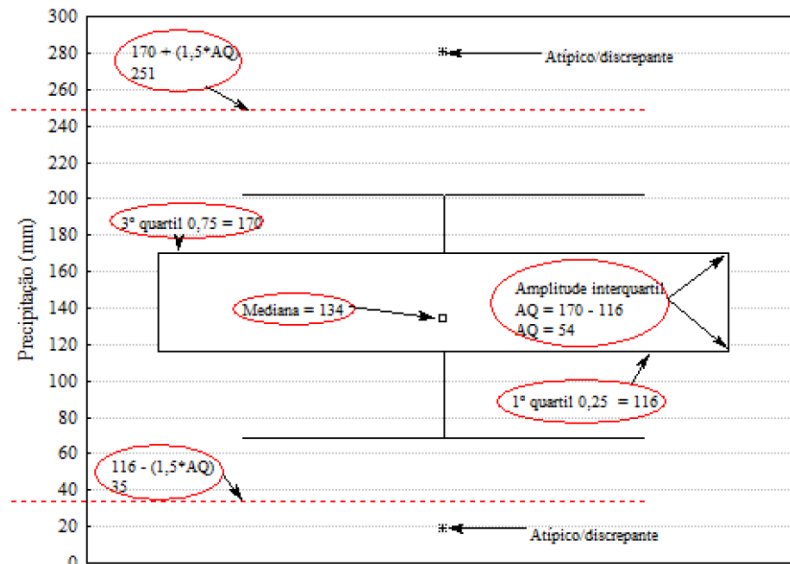
Fonte: elaborado pelos autores.

A identificação dos extremos pluviométricos foi realizada a partir da construção de gráficos do Box Plot, com séries mensais da precipitação acumulada para os 12 municípios que compõem na ilha. Para a obtenção dos valores “extremos” obtidos com o box plot extraiu-se a média aritmética simples dos acumulados mensais de precipitação, em vista dos valores do pixel pertencente à área territorial de cada um dos municípios.

De acordo com (Santos et al., 2019) na construção de um Box plot adota-se uma “caixa” com nível superior dado pelo terceiro quartil, e o nível inferior dado pelo primeiro quartil, dos valores de uma amostra. Para (Magalhães & LIMA, 2002) no modelo estatístico proposto pelo

Box plot a mediana é representada por um traço no inferior da caixa com destaque aos valores mínimos e máximos (Figura 4).

Figura 4 - Estrutura do modelo Box plot adotada por (Santos et al., 2019).



Fonte: elaborado pelos autores.

3- Resultados e Discussão

3.1 Análise espacial da precipitação pluvial anual

Na análise anual, adotou-se como base de investigação o acumulado pluvial para os anos de ocorrência do EL Niño Oscilação Sul (ENOS) para as fases com a Anomalia Superficial de Temperatura do Mar (ATSM): quente (El Niño) e fria (La Niña), de acordo com a classificação de extremos climáticos do Instituto de Pesquisas Espaciais (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), 2022), disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>.

A variabilidade espacial desses valores está relacionada a intensidade do fenômeno ENOS que, de acordo com (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), 2022), pode ser classificado em forte, moderado e fraco. Segundo os dados disponíveis pelo CPTEC, os anos selecionados para essa pesquisa de El Niño (Forte) foram: 1983; 1987; 1991; 1997 e 2015 e os anos de La Niña (Moderada) correspondem: 1988; 1999; 2007; 2010 e 2018. Logo, no escopo dessa pesquisa não se tem classificação pluviométrico fraco.

Além disso, outro mecanismo que influencia na variação de chuva local é a interação do ENOS com outros sistemas atmosféricos que atuam na região amazônica como o Dipolo do

Atlântico. De acordo com (Fisch et al., 1998), a distribuição de chuvas na Amazônia está diretamente relacionada com a interação do ENOS, a conglomerados convectivos e linhas de estabilidade.

Com base nos dados apresentados pela Figura 2, para os anos de 1981 à 2021, pode inferir-se que o fenômeno do El Niño tende a provocar a redução das chuvas para a região do Marajó. Na ilha do Marajó, os maiores acumulados pluviais para esses anos estão entre os valores de 3.769 mm registrado em 1991 e 3.125 mm registrado em 2015, ambos com classificação de El Niño intensidade forte de acordo com (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), 2022). Os maiores acumulados pluviais estão concentrados na região central da ilha do Marajó.

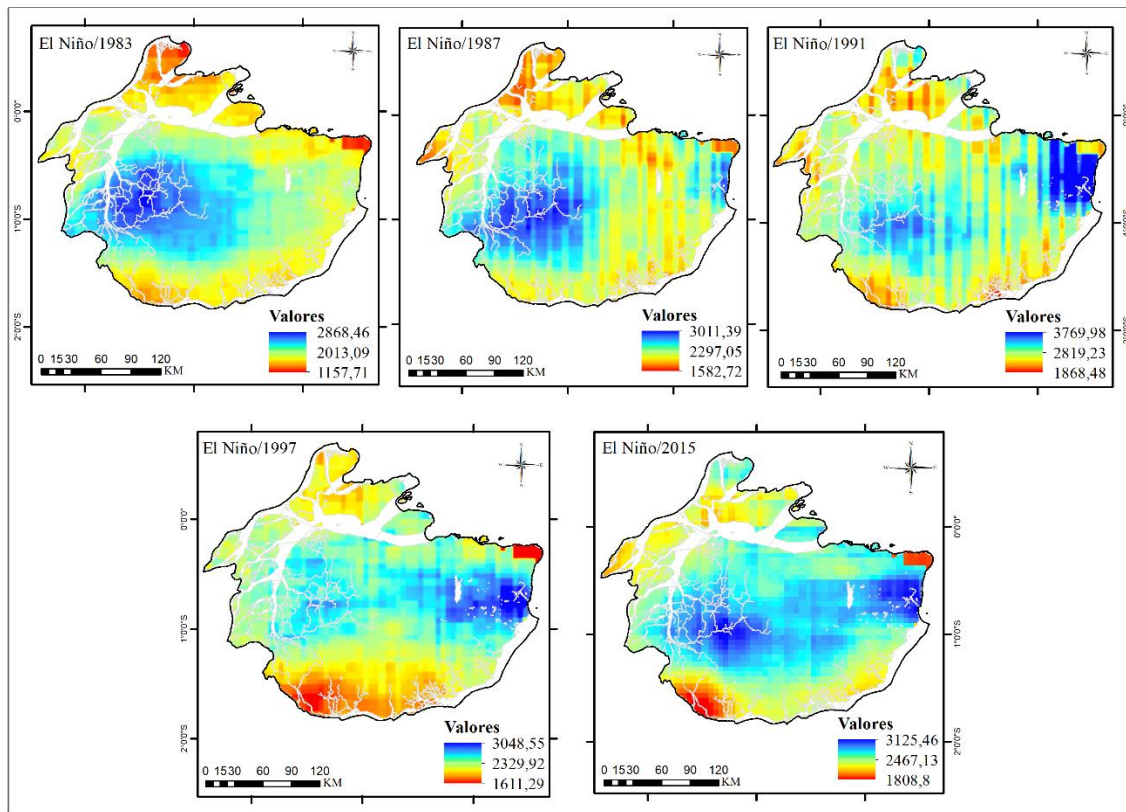
Os menores acumulados de chuva variam entre 1.157 mm registrado no ano de 1983 e 1.582 mm em 1987, ambos com classificação de El Niño intensidade forte (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), 2022), concentrando-se nas porções litorâneas (norte) da região e nas bordas ao sul da ilha. A maior variação entre os valores pluviais máximos e mínimos ocorreu em 1991 com diferença de 1.901mm, este ano foi classificado com El Niño Forte (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), 2022) (Figura 5). Esses resultados são similares aos apresentados por (Santos et al., 2019) quando pesquisado a variabilidade espaço temporal da chuva na região costeira da Amazônia por meio de técnicas de sensoriamento remoto em escala refinada.

Quando há a ocorrência do resfriamento das águas superficiais do pacífico, espera-se a atuação do fenômeno ENOS em sua fase fria, induzindo a La Niña. Esta fase tem a tendência de incrementar os volumes pluviométricos na região amazônica provocando maiores volumes chuvas (Marengo & Oliveira, 1998; Sousa et al., 2015). Na ilha do Marajó durante os anos de La Niña, os maiores acumulados de chuva variaram entre os valores de 4.055 mm registrado em 1988 e 4.020 mm registrado em 2018, ambos com La Niña moderada (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), 2022).

Com base nos dados dispostos na Figura 5, observa-se que os maiores acumulados de chuva estão concentrados na região central e leste costeiro da ilha. Os menores acumulados variam entre 1.731 mm registrado em 2010 e 1.756 mm no ano de 2007, ambos com classificação de intensidade moderada (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), 2022) com concentração nas porções litorâneas (norte e noroeste) da região e nas

bordas ao sul do arquipélago. Os dados são corroborados pela pesquisa de (Cohen et al., 1989), a qual indica que a variabilidade na região leste litorânea pode ser explicada pela presença das linhas de instabilidade, sistema precipitante de mesoescala que contribuem com as chuvas nesta região.

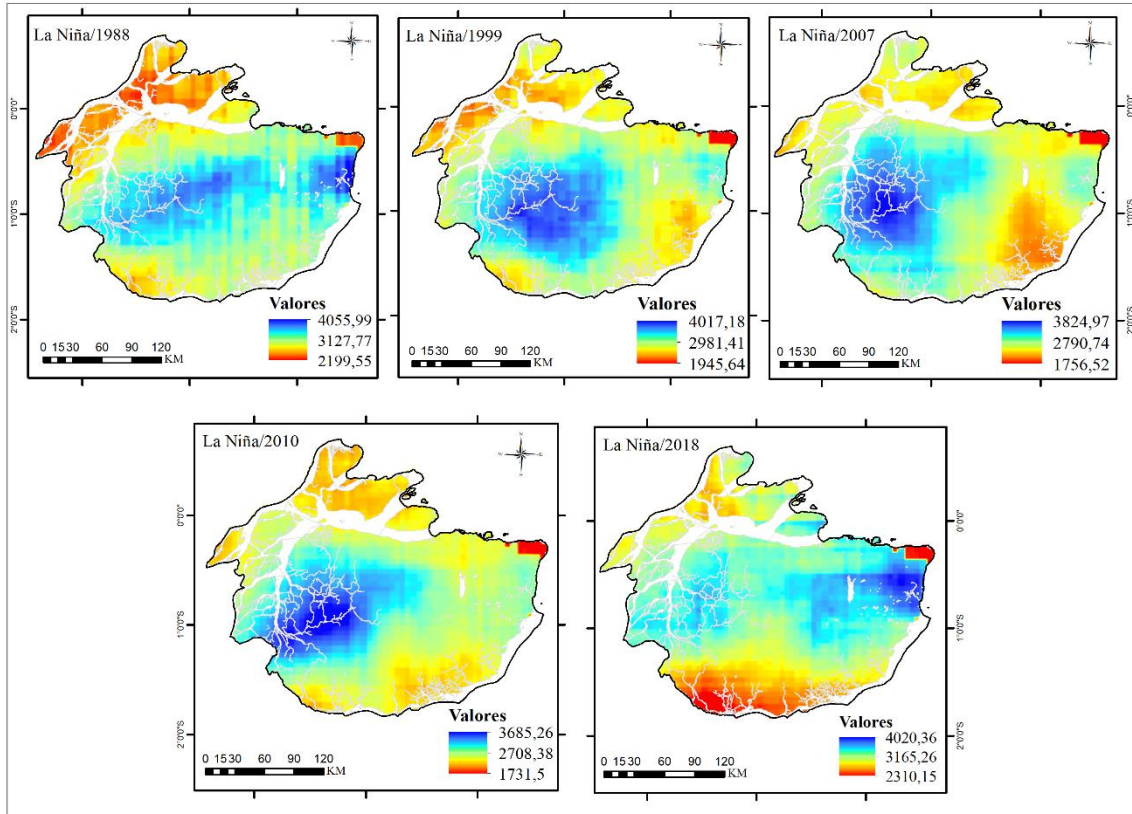
Figura 5 - Distribuição espacial da precipitação pluvial em anos de El Niño (1983/1987/1991/1997 e 2015).



Fonte: (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), 2022). Elaborado pelos autores.

A maior variação entre os valores pluviométricos máximos e mínimos ocorreu em 1999 com diferença de 2.072mm, este ano foi classificado com La Niña Moderada (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), 2022) (Figura 6). Os valores pluviométricos aqui encontrados estão dentro da variação dos resultados encontrados por (Santos et al., 2019) quando investigado em regiões costeiras da Amazônia a variabilidade espaço-temporal da chuva por meio de sensoriamento remoto da técnica Climate Prediction Center morphing method (CMORPH).

Figura 6 - Distribuição espacial da precipitação pluvial em anos de La Niña (1988/1999/2007/2010 e 2018).



Fonte: (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2021). Elaborado pelos autores.

Observa-se nas figuras 5 e 6 que, independentemente da intensidade e da fase do ENOS, algumas áreas, como a porção centrais e leste da ilha do Marajó apresentam os maiores acumulados de chuva (> 2.800mm em anos de El Niño e > 3.600mm em anos de La Niña). Essas áreas de grande precipitação pluvial são comumente apresentadas nas pesquisas de (Santos et al., 2019) quando investigados os padrões de chuva na região costeira amazônica.

3.2 Análise dos extremos de precipitação pluvial mensal

No decorrer das análises na ilha do Marajó observa-se uma sazonalidade bem definida, ao levar-se em consideração os dados mensais da precipitação pluviométrica, com registros elevados ao longo dos trimestres: (i) dezembro, janeiro e fevereiro; (ii) março, abril e maio. E, redução dos volumes pluviais nos trimestres: (i) junho, julho e agosto; (ii) setembro, outubro e novembro, conforme corroboram com (Ferreira et al., 2023; Santos et al., 2019; Sodré &

Rodrigues, 2013) ao mencionarem esta variação sazonal característica da região amazônica, em virtude da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) como mecanismo responsável pela maior recarga hídrica atuante sobre os indicativos de chuva na região.

Destaca-se também que ao longo da série histórica de dados mensais, os anos de 1981 e 1983 revelam os menores valores pluviiais, e conseqüentemente registram os maiores quantitativos de eventos extremos negativos nos municípios analisados. Cabe mencionar que (Oliveira & Lucena, 2018) associam a redução pluviométrica aos efeitos do El Niño classificado como muito forte no período de 1982-1983, fator este que resultou em anomalias negativas de precipitação na região do Marajó (N. S. Ferreira et al., 2023).

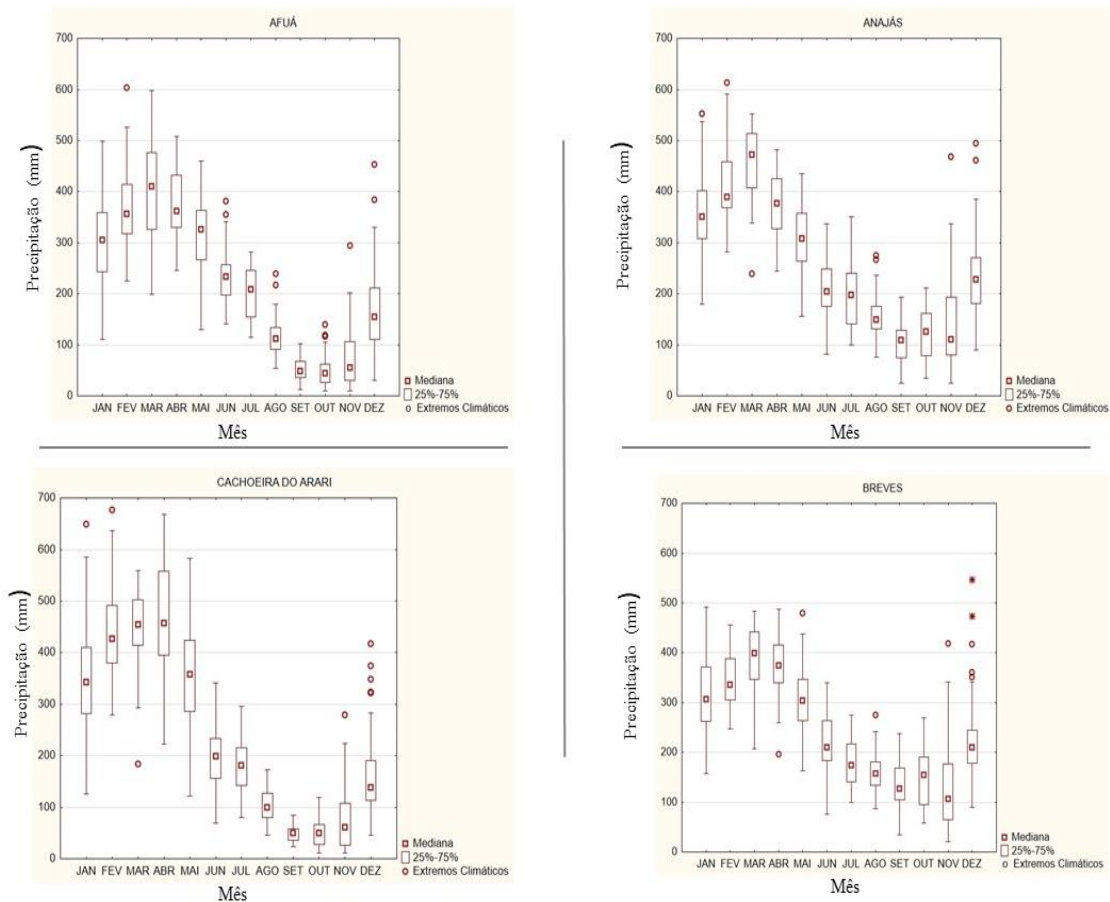
Em relação aos eventos extremos positivos, com destaque ao ano de 2018, registra os maiores quantitativos de chuva, provavelmente associados a atuação da La Niña (2017-2018), classificada moderada de acordo com (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), 2022). Neste contexto, deduz-se que atuação do fenômeno de La Niña tende a provocar a incremento das chuvas para a região do Marajó, de acordo com os dados apresentados pela Figura 2, para os anos de 1981 à 2021. Os dados corroboram com (Costa et al., 2022) ao relacionar a ocorrência de focos de calor no estado do Pará, com fenômenos climáticos como El Niño e La Niña, e descreve sobre a influência do fenômeno La Niña, onde houve aumento no volume das chuvas para a região.

O incremento dos quantitativos de chuva podem estar associados pela atuação do fenômeno Dipolo do Atlântico Negativo e sua forte influência na distribuição de chuvas de toda região costeira paraense, e conseqüentemente na ilha do Marajó (D. B. da S. Ferreira et al., 2020). De forma geral, evidencia-se que os maiores quantitativos de chuva na ilha do Marajó ocorrem entre os meses de dezembro a maio, estando relacionados ao período mais chuvoso da região amazônica, e menores quantitativos pluviiais entre os meses de junho a novembro, caracterizando o período menos chuvoso ou mais seco.

O município de Breves apresentou oito eventos extremos positivos de chuva, sendo uma ocorrência de +478 mm no mês de maio de ano 2000, e sete registrados nos últimos seis meses dos anos de 1982, 2005, 2007, 2016, 2018, 2019 e 2020 com valores que variaram entre +274 mm e + 546 mm. O município apresentou um evento extremo negativo com equivalência de - 196 mm no mês de abril de 1981 (Figura 7).

O município de Afuá apresentou dez eventos extremos positivos de chuva, sendo sete destes com ocorrência entre agosto à dezembro. No entanto, o maior quantitativo de chuva foi registrado no mês de fevereiro de 2004 com valores equivalentes +603 mm (Figura 7). Anajás e Cachoeira do Arari apresentaram igualmente oito eventos extremos de chuva, sendo ambos com registros de um extremo negativo de chuva no mês de março (1981). Os quantitativos corresponderam a -238 mm (Anajás) e -183 mm (Cachoeira do Arari) no ano de 1981. Em relação aos eventos positivos, o mês de fevereiro destaca-se com registros de +613 mm ano 2013 em Anajás e o acumulado pluvial de +676 mm para Cachoeira do Arari em 2018 (Figura 7).

Figura 7 - Box Plot da precipitação pluvial mensal dos municípios Afuá, Anajás, Cachoeira do Arari e Breves.



Fonte: elaborado pelos autores.

Chaves apresentou dois eventos extremos negativos nos primeiros seis meses do ano de janeiro a junho com quantitativos de -191 mm e 95 mm nos anos de 1981 e 1992. Os últimos seis meses de julho a dezembro registraram seis eventos extremos positivos com volumes que equivalem a +20 mm a +395 mm. Totalizando oito eventos extremos de chuva (Figura 8). O município de Curralinho obteve seis eventos extremos positivos com variação de +332 mm em 2020 e +551 mm em 2000. O único evento extremo negativo de chuva foi registrado em março (1981) com -169 mm. O que totalizou sete extremos de chuva neste município.

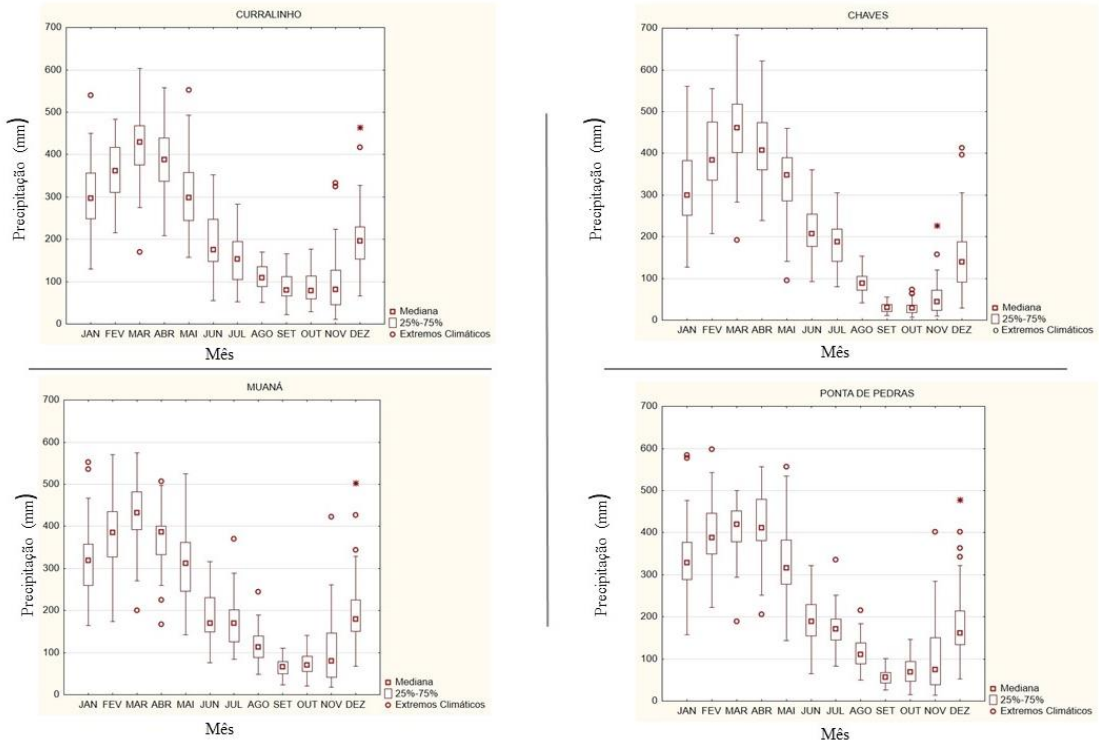
Muaná apresentou doze eventos extremos. Os valores de extremos positivos variaram nos meses de janeiro e dezembro com + 552 mm (2017) e +420 mm (2020). No entanto, três eventos foram analisados como extremos negativos de chuva, sendo um extremo em março (1981) com registro de -200 mm, e dois extremos em abril, com valores correspondentes a -167 mm (1981) e - 265 mm (1992) (Figura 8). Em Ponta de Pedras, treze eventos extremos de chuva, sendo dois extremos negativos e onze extremos positivos de chuva com quantitativos de +597 mm e +214 mm meses de fevereiro e agosto, ambos em 2013 (Figura 8), sendo o município que mais apresentou ocorrência de extremos na ilha do Marajó.

O município de Salvaterra registrou um total de nove eventos extremos, sendo oito positivos de chuva e um negativo em março equivalente a -188 mm em 1981 (Figura 9). Cabe ressaltar que a grande maioria dos eventos positivos aconteceram nos últimos seis meses (set/dez). Dezembro foi o mês que mais registrou eventos com variação de +300 mm em 2016 e +432 mm em 1985.

Já Santa Cruz do Arari obteve seis extremos positivos de chuva com quantitativos de +662 mm (1985) e +345 mm (2021), e um extremo negativo em março -150 mm em 1981 (Figura 9). O município totalizou sete extremos de chuva no decorrer da variação sazonal climatológica.

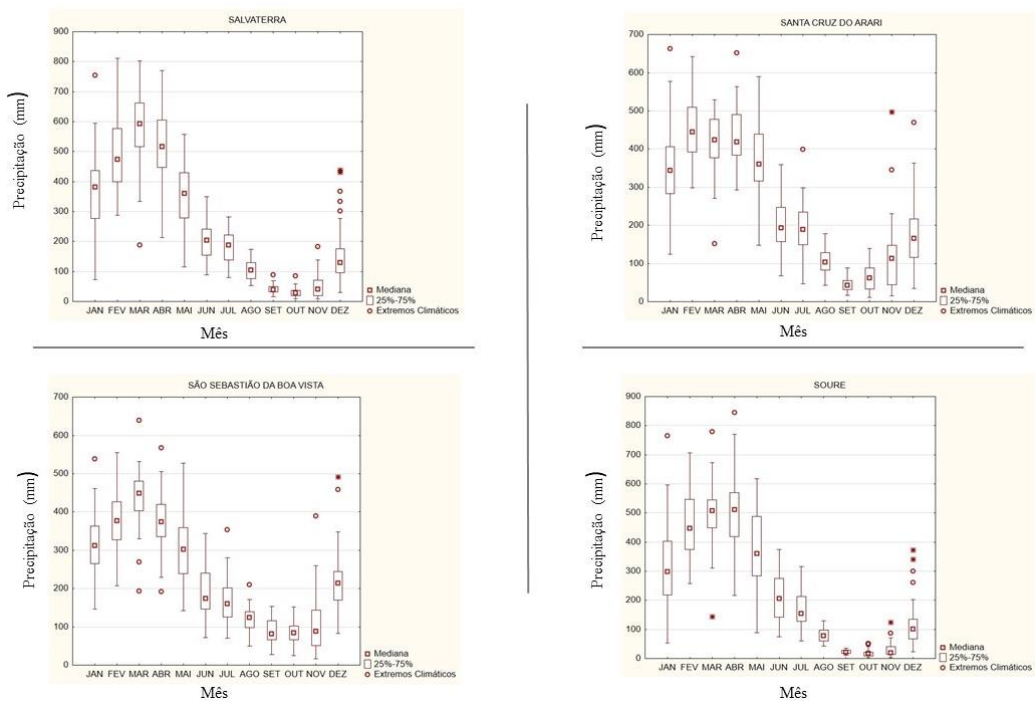
Os municípios de São Sebastião da Boa Vista e Soure registraram onze extremos de chuva. O município de São Sebastião obteve três extremos negativos, sendo dois destes registrados em março nos anos 1981 e 1983, e valores - 193 mm e - 269 mm, o outro evento ocorreu em abril (1981) com registro de - 192 mm. Soure contabilizou um extremo negativo de chuva no mês de março 1981, equivalente a - 144 mm. (Figura 9).

Figura 8 - Box Plot da precipitação pluvial mensal dos municípios Curralinho, Chaves, Muaná e Ponta de Pedras.



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 9 - Box Plot da precipitação pluvial mensal dos municípios Salvaterra, Santa Cruz do Arari, São Sebastião da Boa Vista e Soure.



Fonte: elaborado pelos autores.

Assim, observou-se pelos gráficos boxes plots uma variação sazonal semelhante entre os municípios da ilha do Marajó. Os quantitativos apresentados demonstram valores elevados de chuva no primeiro semestre (janeiro a junho), com redução dos volumes pluviais e aumento dos extremos de chuva no segundo semestre (julho a dezembro). De acordo com Santos et al. (2019), o que caracteriza essa variação sazonal de precipitação pluvial é a presença de dois períodos distintos de chuva presentes na região, o período chuvoso que corresponde ao primeiro semestre, e o menos chuvoso no segundo semestre.

4- Conclusões

- A análise anual elucidou que os maiores e menores quantitativos de chuva estão associados a ocorrência de extremos pluviais durante anos de La Niña (com aumento da chuva) e El Niño associados a redução da precipitação local. A precipitação pluvial é mais homogeneizada em anos de La Niña, com maior variabilidade em anos de El Niño. Percebe-se também que os anos de extremos pluviométricos tem se tornado cada vez mais frequentes, os quais tem apresentado maiores variações entre os valores máximos e mínimos de precipitação.
- O modelo estatístico Box plot apresentou resultados satisfatórios com acurácia e contribuição as carências metodológicas no campo de descrição pluviométrica principalmente ao que tange as análises de eventos extremos de precipitação pluvial na região da ilha do Marajó. A adoção da técnica é importante por contribuir no entendimento da sazonalidade de chuva, por meio dos dados pluviais acumulados mensais registrados dos municípios.
- Em análise geral, o município de Ponta de Pedras apresentou o maior número de eventos extremos (13 eventos) com valores pluviais de 597 mm e 214 mm no período analisado, os dados corroboram com a sua posição geográfica situada na porção leste e central da ilha (Figura 1), o qual com a visualização indicada pelas Figuras 5 e 6, apresentaram elevados acumulados de precipitação, fator esse que pode ter ocasionado o registro de eventos extremos. Ainda abordando a análise disponível pelas Figuras 1, 5 e 6, têm-se os municípios que geraram menores valores de extremos (7 eventos), são: (i) Currálinho,

situado na porção sul, com acumulados pluviais de 332 mm e 551 mm; e (ii) Santa Cruz do Arari, situado na porção nordeste, com acumulados pluviais de 662mm e 345mm.

- A maior incidência de eventos extremos positivos foi registrada a partir dos anos 2000, 2004, 2013, 2015 e 2018. Para os eventos extremos negativos o ano de 1981 destacou-se com nove registros. No decorrer da pesquisa foram registrados 113 eventos extremos pluviais ocorridos na ilha do Marajó, sendo 96 positivos e 17 negativos. O mês com maior incidência de eventos extremos positivos foi dezembro contabilizando 35 registros. Maio caracterizou-se como o de menor incidência de extremos positivos com dois registros. Em relação aos eventos extremos negativos, março registrou onze eventos, seguido de abril com cinco eventos.
- Os dados de produtos orbitais a partir da utilização do sensoriamento remoto proveniente do CHIRPS, apresentaram valores esperados para a região, mostrando de forma eficaz a análise climática e identificação de extremos na ilha do Marajó. Esses dados incentivam a utilização do sensoriamento remoto e de técnicas metodológicas específicas como ferramentas para preenchimento de dados de precipitação pluvial em uma região com escassez de dados contínuos e com rede de estação meteorológica esparsa. Acrescenta-se a utilização desses dados em modelos hidrológicos e para a espacialização dos acumulados pluviais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutoramento; ao Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO); ao National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) pelos dados disponibilizados.

Referências

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Amanajás, J. C., & Braga, C. C. (2012). Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(4), 423–434. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000400006>

Ananias, D. dos S., Souza, E. B. de, Souza, P. F. S., Souza, A. M. L. de, Vitorino, M. I., Teixeira, G. M., & Ferreira, D. B. da S. (2010). Climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém-PA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(2), 218–226. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200006>

Ávila, P. L. R. (2014). ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO SAZONAL SIMULADA UTILIZANDO O REGCM4 SOBRE O ESTADO DO PARÁ EM ANOS DE EXTREMOS CLIMATICOS. *Revista Brasileira de Climatologia*, 14(1). <https://doi.org/10.5380/abclima.v14i1.36127>

Brasil. (2007). *Plano de Desenvolvimento Territorial Sustentável para o Arquipélago do Marajó*. <https://www.gov.br/sudam/pt-br/assuntos/planos-de-desenvolvimento/planodedesenvolvimentoterritorialmarajo2017.pdf>

Buarque, D. C., de Paiva, R. C. D., Clarke, R. T., & Mendes, C. A. B. (2011). A comparison of Amazon rainfall characteristics derived from TRMM, CMORPH and the Brazilian national rain gauge network. *Journal of Geophysical Research*, 116(D19), D19105. <https://doi.org/10.1029/2011JD016060>

Caparoci Nogueira, S., Moreira, M., & Lordelo Volpato, M. (2018). Evaluating Precipitation Estimates from Eta, TRMM and CHRIPS Data in the South-Southeast Region of Minas Gerais State—Brazil. *Remote Sensing*, 10(3), 313. <https://doi.org/10.3390/rs10020313>

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). (2022). *CONDIÇÕES ATUAIS DO ENOS: CARACTERIZAÇÃO DO EL-NIÑO*. <http://enos.cptec.inpe.br/>

Cohen, J. C. P., Silva Dias, M. A. F., & Nobre, C. A. (1989). Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. *Climanálise*, 4(11), 34–40.

Costa, J. C., Pereira, G., Siqueira, M. E., Da Silva Cardozo, F., & Da Silva, V. V. (2019). VALIDAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS PELO CHIRPS PARA

O BRASIL. *Revista Brasileira de Climatologia*, 24.

<https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60237>

Costa, R. R., Oliveira, B. L., Paiva, P. F. P. R., Rocha, E. S. da, Silva Junior, O. M. da, Carneiro, F. da S., Pinheiro, K. A. O., & Amorim, M. B. (2022). Análise dos focos de calor no estado do Pará no período de 2016 a 2019. *Research, Society and Development*, 11(6).

<https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.25793>

Carvalho, W. D., & Mustin, K. (2017). The highly threatened and little known Amazonian savannahs. *Nature Ecology & Evolution*, 1(4), 0100.

[https://doi.org/10.1038/s41559-017-](https://doi.org/10.1038/s41559-017-0100)

[0100](https://doi.org/10.1038/s41559-017-0100)

Ferreira, D. B. da S., Souza, E. B., & Oliveira, J. V. de. (2020). IDENTIFICAÇÃO DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARÁ E SUA RELAÇÃO COM OS MODOS CLIMÁTICOS ATUANTES NOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO. *Revista Brasileira de Climatologia*, 27, 197–222.

<https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.64630>

Ferreira, N. S., Lima, A. M. M. De, & Gomes, J. D. C. (2023). VULNERABILIDADE DAS ÁREAS ÚMIDAS E INFLUÊNCIA SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA AMAZÔNIA ORIENTAL. *Geofronter*, 9, 1–23.

Fisch, G., Marengo, J. A., & Nobre, C. A. (1998). Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, 28, 101.

<https://www.scielo.br/j/aa/a/NVRbNSn7P5z4hjtFNmMjLjx/?format=pdf&lang=pt>

Gomes, F. B. R., Vargas, I. S., Procópio, A. S., Castro, S. R., & Ribeiro, C. B. de M. (2021). ESTUDO DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL E TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY AND TRENDS OF RAINFALL IN THE PARAÍBA DO SUL RIVER BASIN. *Revista Brasileira de Climatologia*, 17.

<https://doi.org/10.5380/abclima.v28i0.74380>

Hoffmann, E. L., Dallacort, R., Carvalho, M. A. C., Yamashita, O. M., & Barbieri, J. D. (2018). Variabilidade das chuvas no Sudeste da Amazônia paraense, Brasil (Rainfall

variability in southeastern Amazonia, Paraense, Brazil). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(4), 1251–1263. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1251-1263>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). *Censo Demográfico 2010*. Base de Dados. 2020a. <https://cidades.ibge.gov.br>

Lima, A. M. M. de, Oliveira, L. L. de, Fontinhas, R. L., & Lima, R. J. da S. (2005). ILHA DO MARAJÓ: REVISÃO HISTÓRICA, HIDROCLIMATOLOGIA, BACIAS HIDROGRÁFICAS E PROPOSTAS DE GESTÃO. *Holos Environment*, 5(1), 65. <https://doi.org/10.14295/holos.v5i1.331>

Lima Júnior, A. F., Zanella, M. E., & Sales, M. C. L. (2023). Avaliação do desempenho da precipitação estimada pelo CHIRPS para o Estado do Ceará, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 32, 363–382. <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16143>

Magalhães, M. N., & Lima, A. C. P. (2002). *Noções de probabilidade e estatística* (Vol. 5). Editora da Universidade de São Paulo.

Malthus, T. J., & Mumby, P. J. (2003). Remote sensing of the coastal zone: An overview and priorities for future research. *International Journal of Remote Sensing*, 24(13), 2805–2815. <https://doi.org/10.1080/0143116031000066954>.

Marengo, J. A., & Oliveira, G. S. De. (1998). IMPACTOS DO FENÔMENO LA NIÑA NO TEMPO E CLIMA DO BRASIL: DESENVOLVIMENTO E INTENSIFICAÇÃO DO LA NIÑA 1998/99. *Congresso Brasileiro de Meteorologia*. http://www.cptec.inpe.br/products/el_ninho/el_ninho1p.html.

Mu, Y., Biggs, T., & Shen, S. S. P. (2021). Satellite-based precipitation estimates using a dense rain gauge network over the Southwestern Brazilian Amazon: Implication for identifying trends in dry season rainfall. *Atmospheric Research*, 261, 105741. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105741>.

Nobre, C. A., Sellers, P. J., & Shukla, J. (1991). Amazonian Deforestation and Regional Climate Change. *Journal of Climate*, 4(10), 957–988. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1991\)004<0957:ADARCC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1991)004<0957:ADARCC>2.0.CO;2)

Oliveira, J. R. L. de, & Lucena, D. B. (2018). Eventos extremos anuais de precipitação em Mauriti - CE. *Ciência e Natura*, 40, 65. <https://doi.org/10.5902/2179460X34045>

Paca, V. H. da M., Espinoza-Dávalos, G., Moreira, D., & Comair, G. (2020). Variability of Trends in Precipitation across the Amazon River Basin Determined from the CHIRPS Precipitation Product and from Station Records. *Water*, 12(5), 1244. <https://doi.org/10.3390/w12051244>

Santos, S. R. Q., Braga, C. C., Campos, T. L. de O. B., Brito, J. I. B. de, & Santos, A. P. P. dos. (2014). Variabilidade da Precipitação no Estado do Pará por meio de Análise em Componentes Principais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 07, 615–627. www.ufpe.br/rbgfe.

Santos, M. R. S., Vitorino, M. I., Aparecida, M., & Pimentel, S. (2017). ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA CHUVA, NA MESORREGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM-PARÁ: CONTRIBUIÇÕES DA TÉCNICA DE SENSORIAMENTO REMOTO. *Caminhos de Geografia*, 18, 49–58. <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>.

Santos, M. R. S., Vitorino, M. I., Braga, C. C., Souto, J. I. D. O., Nascimento, M. M. Do, & Ferreira Júnior, P. P. (2016). Padrões de precipitação mensal na mesorregião metropolitana de Belém: uso do CMORPH e componentes principais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 2301–2311. www.ufpe.br/rbgfe.

Santos, M. R. S., Vitorino, M. I., & Carneiro Pereira, L. C. (2019). SPATIOTEMPORAL VARIATION IN THE PRECIPITATION OF THE AMAZON COASTAL ZONE: USE OF REMOTE SENSING AND MULTIVARIATE ANALYSIS. *Revista Brasileira de Climatologia*, 25. <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64892>.

Santos, M., Vitorino, M. I., Pereira, L. C. C., Pimentel, M. A. da S., & Quintão, A. F. (2021). Socioenvironmental Vulnerability to Climate Change: Conditions of Coastal Municipalities in Pará State. *Ambiente & Sociedade*, 24. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200167r1vu202113ao>.

Silva, E. R. M. da, Barbosa, I. C. da C., Silva, H. J. F. da, Costa, L. G. S., & Rocha, E. J. P. da. (2020). Análise do Desempenho da Estimativa de Precipitação do Produto CHIRPS

para Sub-Bacia do Rio Apeú, Castanhal-PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 1094–1105. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>.

Sodré, G. R. C., & Rodrigues, L. L. M. (2013). Comparação entre estimativa da precipitação observada pela técnica CMORPH e estações meteorológicas do INMET em diferentes regiões do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6(02), 301–307.

Sousa, A. M. L. de, Rocha, E. J. P. da, Vitorino, M. I., Souza, P. J. O. P. de, & Botelho, M. N. (2015). Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos enos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 15–29. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4123.2401>.

Spier, D., Gerum, H. L. N., Bornatowski, H., Contente, R., Mattos, N. A. S., Vilar, C. C., & Spach, H. L. (2018). Ichthyofauna of the inner shelf of Paraná, Brazil: checklist, geographic distribution, economic importance and conservation status. *Biota Neotropica*, 18(2). <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2017-0385>.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. (2021). *Landsat Project Description*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions>.

Zambrano-Bigiarini, M., Nauditt, A., Birkel, C., Verbist, K., & Ribbe, L. (2017). Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(2), 1295–1320. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1295-2017>.