

Avaliação da variabilidade pluviométrica na Amazônia Oriental: uma abordagem espaço-temporal nos municípios de Baião e Breu Branco (Pará)

Rayane da Silva ferreira¹ *, Alena Vitória Araujo Peixoto² , Marcos Ronielly da Silva Santos³ ,
Milena de Nazaré Santos Quaresma⁴ , Glauby do Rego Bezerra⁵ 

¹Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Instituto Federal do Pará. (*srayane031@gmail.com)

²Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Instituto Federal do Pará. (*alenapeixoto22@gmail.com)

³Docente, Doutor, Instituto Federal do Pará. (*marcos.santos@ifpa.edu.br)

⁴Docente, Doutora, Universidade Federal do Pará. (*milenasquaresma@gmail.com)

⁵Docente, Especialista, Instituto Federal do Pará. (*glauby.bezerra@ifpa.edu.br)

Histórico do Artigo: Submetido em: 14/07/2025 – Revisado em: 25/08/2025 – Aceito em: 10/09/2025

RESUMO

A precipitação desempenha um papel fundamental na manutenção dos ecossistemas, no abastecimento hídrico e na regulação climática da Amazônia, sendo decisiva para atividades socioeconômicas locais como a agricultura, geração de energia e a gestão dos recursos naturais. No entanto, ainda são escassos os estudos que tratam da variabilidade espaço-temporal das chuvas em municípios paraenses especialmente com o uso de geotecnologias. Este trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica pluviométrica da chuva nos municípios de Baião e Breu Branco (PA) entre janeiro de 1981 a dezembro de 2023 utilizando dados de reanálise de precipitação do CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data), processados via Google Earth Engine por meio de linguagem JavaScript. Os resultados evidenciaram marcante sazonalidade, com maiores volumes concentrados de dezembro a maio (período chuvoso) e menores índices entre junho e novembro. Na análise interanual, registraram-se extremos significativos: Baião apresentou mínimo de 1.761 mm em 1983 e máximo de 5.082 mm em 2011, enquanto Breu Branco atingiu 1.328 mm em 1992 e 2.790 mm em 1989. Essas variações refletem a influência direta de fenômenos climáticos globais como El Niño e La Niña na precipitação regional. O estudo demonstra a eficácia das geotecnologias para monitoramento climático localizado, fornecendo subsídios críticos para o planejamento de ações de mitigação de impactos climáticos, gestão sustentável de recursos hídricos e adaptação de setores sensíveis como agricultura e energia. A identificação de padrões sazonais e eventos extremos reforça a necessidade de sistemas contínuos de observação para fortalecer a resiliência socioambiental na Amazônia Oriental.

Palavras-Chaves: Chuvas. geotecnologias. Amazônia. Baião, Breu Branco.

Assessment of rainfall variability in the Eastern Amazon: a spatio-temporal approach in the municipalities of Baião and Breu Branco (Pará)

ABSTRACT

Precipitation plays a fundamental role in maintaining ecosystems, ensuring water supply, and regulating the climate of the Amazon region. It is crucial for local socioeconomic activities such as agriculture, energy production, and natural resource management. However, studies addressing the spatiotemporal variability of rainfall in municipalities of Pará, especially using geotechnologies, remain scarce. This study aimed to analyze the rainfall dynamics in the municipalities of Baião and Breu Branco (PA) from January 1981 to December 2023, using reanalysis precipitation data from CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data), processed via Google Earth Engine using JavaScript language. The results revealed a marked seasonality, with higher rainfall volumes between December and May (the rainy season), and lower values from June to November. Interannual analysis showed significant extremes: Baião recorded a minimum of 1,761 mm in 1983 and a maximum of 5,082 mm in 2011, while Breu Branco registered 1,328 mm in 1992 and 2,790 mm in 1989. These variations reflect the direct influence of global climate phenomena such as El Niño and La Niña on regional precipitation patterns. The study demonstrates the effectiveness of geotechnologies for localized Ferreira, R. Da S., Peixoto, A. V. A., Santos, M. R. Da S., Quaresma, M. De N. S., & Bezerra, G. Do R. (2025). Avaliação da variabilidade pluviométrica na Amazônia Oriental: uma abordagem espaço-temporal nos municípios de Baião e Breu Branco (Pará). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.6, n.3, p.28-41.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto utiliza a licença Creative Commons - CC BY 4.0.

climate monitoring, providing critical support for planning climate impact mitigation measures, sustainable water resource management, and adaptation in sensitive sectors such as agriculture and energy. The identification of seasonal patterns and extreme events reinforces the need for continuous observation systems to strengthen socio-environmental resilience in the Eastern Amazon.

Keywords: Rainfall. Remote Sensing. Amazonia. Baião, Breu Branco.

1. Introdução

Na troposfera da terra ocorrem os fenômenos meteorológicos e mecanismos climáticos que se relacionam a circulação geral, regional e local da atmosfera, os quais são responsáveis em grande parte pelas variações, oscilações ou variabilidade climática (Ferreira; Souza e Oliveira, 2020). Dentre os diversos fatores climáticos que influenciam essa região, a precipitação pluviométrica é uma das variáveis mais importantes nos estudos do clima da Amazônia (Lopes; De Souza e Ferreira, 2013).

A variabilidade das precipitações, seja por excesso ou déficit, pode alterar significativamente o ciclo hidrológico e os padrões climáticos, desencadeando eventos extremos como inundações e secas prolongadas (Twardosz et al., 2015). Na região Norte do Brasil, em especial na Amazônia, esse fenômeno assume grande relevância devido ao papel crítico que a floresta desempenha na regulação climática global. Como uma das áreas mais rica em biodiversidade do planeta, a Amazônia não só abriga ecossistemas únicos, mas também influencia diretamente os regimes de chuva em escalas regional e continental.

Embora a importância climática da Amazônia seja amplamente reconhecida pela comunidade científica, ainda existem desafios expressivos no monitoramento da precipitação na região (Sales et al., 2022). No estado do Pará, que concentra aproximadamente 25% de todo o bioma amazônico, observa-se uma acentuada carência na cobertura da rede de estações pluviométricas, sobretudo em municípios do interior (INMET, 2023). Essa limitação na disponibilidade de dados compromete a compreensão dos processos climáticos locais e reduz a eficácia na previsão de eventos extremos, cuja frequência e intensidade têm aumentado em decorrência das mudanças climáticas (IPCC, 2022).

Diante desse cenário, o sensoriamento remoto se apresenta como ferramenta essencial, pois sua ampla cobertura espacial e atualizações frequentes permitem análises espaço-temporais precisas, superando as limitações da rede convencional de estações meteorológicas e possibilitando a identificação de padrões pluviométricos mesmo em áreas com baixa densidade de monitoramento (Zambrano Bigiarini et al., 2017).

Estudos como o de Gomes et al. (2022), realizados na bacia do rio Guamá, no estado do Pará, evidenciam a eficácia do uso de estimativas de precipitação obtidas por sensoriamento remoto na análise de anos com extremos climáticos. Além disso produtos como o CHIRPS têm transformado as pesquisas climáticas, ao oferecer dados com resolução espacial de até 0,05° e cobertura temporal desde 1981 (Funk et al., 2015). Com base nessas premissas, este estudo objetivou analisar a variabilidade temporal e espacial da chuva nos municípios de Baião e Breu Branco, no estado do Pará, utilizando dados provenientes de sensoriamento remoto.

2. Material e Métodos

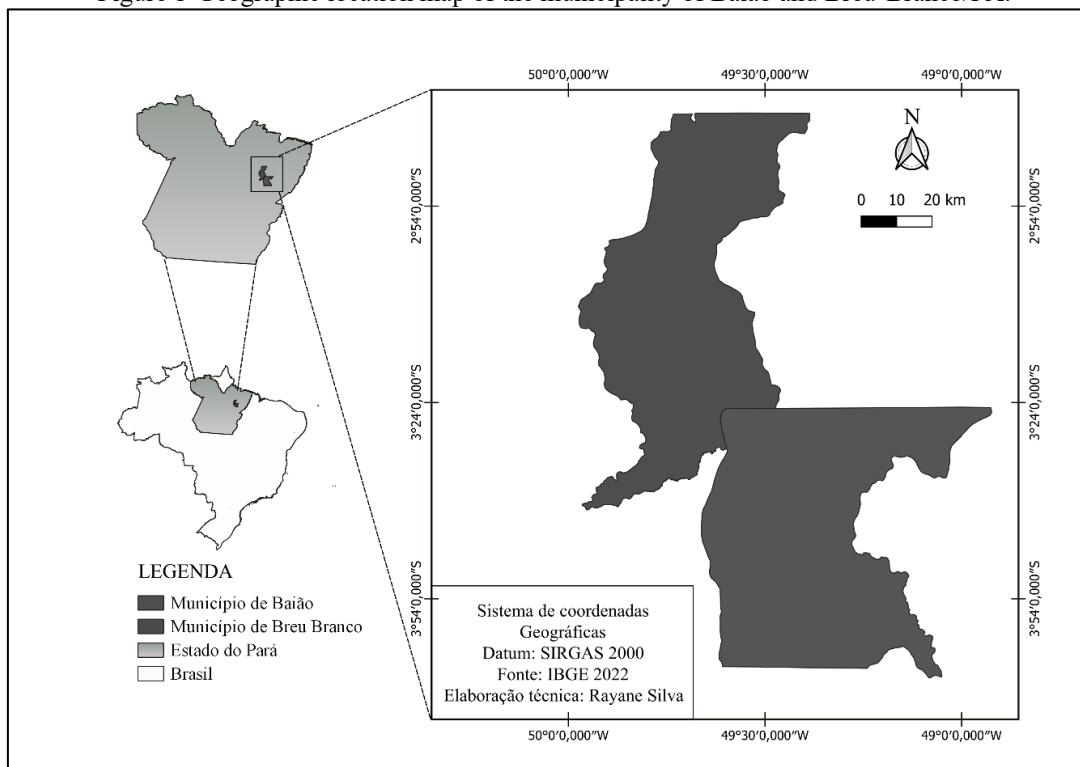
2.1 Caracterização da área de estudo

Os municípios de Baião e Breu-Branco situados no estado do Pará (figura 1) e compartilham posições estratégicas dentro do estado, marcadas por condições climáticas que desempenham um papel fundamental em seus aspectos socioeconômicos e culturais.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), o município de Baião possui uma extensão territorial de 3.760 km² e uma população de 51.641 habitantes. Já o município de Breu Branco apresenta uma área de 3.941,736 km² e uma população de 68.597 habitantes. Somados, esses

municípios totalizam uma área de 7.701,736 km² e uma população de 120.238 pessoas, evidenciando a importância demográfica dessas regiões para o estado.

Figura 1- Mapa de localização geográfica do município de Baião e Breu-Branco/PA.
Figure 1-Geographic location map of the municipality of Baião and Breu-Branco/PA.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

Source: Prepared by the authors, 2025

As condições climáticas, caracterizadas por chuvas sazonais típicas da região amazônica, são elementos cruciais para a vida nos dois municípios. Em Baião, a sazonalidade das chuvas influencia diretamente as atividades agrícolas e pecuárias, que são pilares da economia local. O regime de chuvas afeta o calendário de plantio e colheita, bem como a disponibilidade de pastagens, moldando o cotidiano da população e garantindo a subsistência de muitas famílias (Prefeitura municipal de Baião, 2023).

Em Breu Branco, embora a influência climática também seja significativa, a proximidade com a Usina Hidrelétrica de Tucuruí confere ao município um papel estratégico na gestão dos recursos hídricos. A regularidade das chuvas e sua contribuição para os corpos d'água locais são essenciais para o funcionamento da usina e, consequentemente, para a geração de energia e a economia regional. De acordo com Junior et al; (2024), a administração adequada dos recursos naturais e a capacidade de adaptação às mudanças climáticas são essenciais para assegurar a resiliência dos municípios e melhorar as condições de vida de suas populações.

2.2 Metodologia

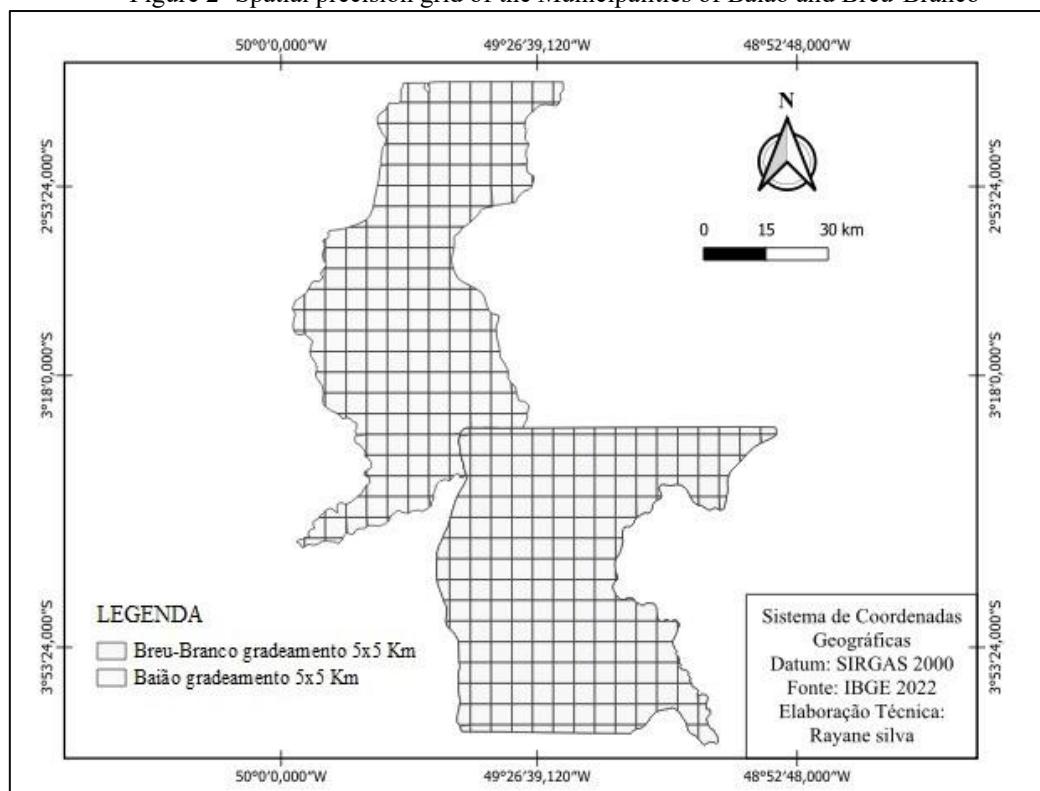
Este estudo fundamenta-se no uso de técnicas de sensoriamento remoto e ferramentas de geotecnologias, que oferecem estimativas de precipitação (chuva). O principal conjunto de dados utilizados é fornecido pelo Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS). O CHIRPS é um dado de reanálise

para o monitoramento climático, baseado no sensoriamento remoto desenvolvida pelo Earth Resources Observation and Science (EROS) do United States Geological Survey (USGS), que disponibiliza informações de precipitação global com base em observações de satélites e pluviômetros, proporcionando um conjunto de dados refinados, confiáveis e atualizados em relação às variações de chuva no espaço e no tempo (Segura et al., 2020).

Essa abordagem foi escolhida por uma série de vantagens que ela apresenta, incluindo: i) cobertura temporal e espacial contínua: Os dados abrangem décadas de registros históricos, permitindo análise de longo prazo e identificação de tendências; ii) alta flexibilidade e robustez: por ser uma técnica de sensoriamento remoto, o CHIRPS oferece informações mesmo em regiões de difícil acesso ou carentes de estações meteorológicas; iii) reconhecimento internacional: o conjunto de dados é amplamente utilizado e validado em estudos acadêmicos e aplicações práticas em todo o mundo.; iv) disponibilidade gratuita e atualizações regulares: os dados são atualizados continuamente, garantindo acesso a informações recentes e de alta qualidade (Cavalcante et al., 2020).

A resolução espacial dos dados é de 5x5 quilômetros (Figura 2) e sua escala temporal é de 24h horas, disponibilizados em diferentes formatos, incluindo Esri Bil, GeoTiff e NetCDF, garantindo compatibilidade com uma ampla gama de ferramentas de análise e sistemas de informação geográfica (SIG).

Figura 2– Grade de precisão espacial dos Municípios de Baião e Breu-Branco.
Figure 2- Spatial precision grid of the Municipalities of Baião and Breu-Branco



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

Source: Prepared by the authors, 2025

Para acessar os dados, utiliza-se o repositório oficial, por meio do link: <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>. As séries temporais de precipitação serão

analisadas pela climatologia anual e mensal, com vista aos anos de ocorrência de extremos climáticos, considerando o mecanismo ENOS. A análise compreendeu um período de 43 anos entre o mês de janeiro de 1981 e dezembro de 2023.

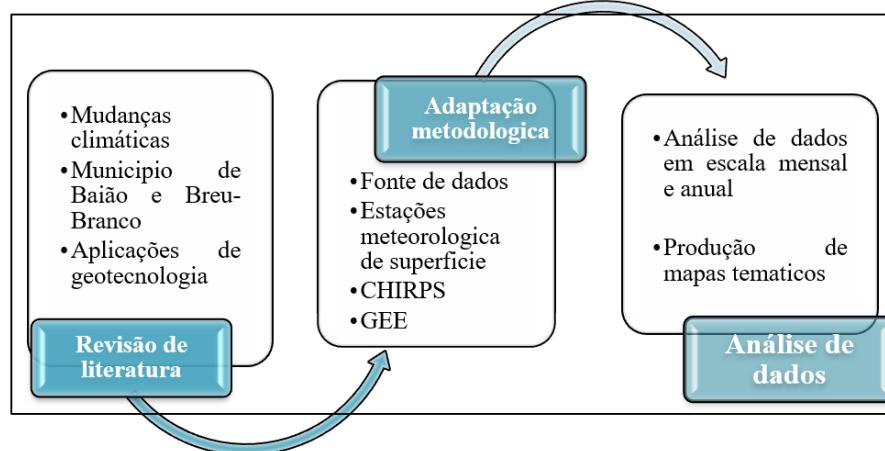
Os anos de ENOS, considerando as fases de El Niño e La Niña foram classificados de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O El Niño e a La Niña são fases opostas de um fenômeno climático acoplado, de natureza oceânico-atmosférica, denominado El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que ocorre no oceano Pacífico Equatorial e influencia os padrões globais de temperatura, precipitação e circulação atmosférica. A fase El Niño é caracterizada por anomalias positivas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), enquanto a La Niña se refere ao resfriamento anômalo das águas na mesma região. A identificação e monitoramento do ENOS são realizados por meio de índices como o Oceanic Niño Index (ONI), que avalia a média móvel trimestral das anomalias de TSM na região Niño 3.4. Valores iguais ou superiores a $+0,5^{\circ}\text{C}$ por cinco trimestres consecutivos indicam El Niño, enquanto valores iguais ou inferiores a $-0,5^{\circ}\text{C}$ indicam La Niña.

Complementarmente, o Índice de Oscilação Sul (SOI) mede variações na pressão atmosférica entre o Taiti e Darwin, servindo como indicador do acoplamento oceano-atmosfera. Com base na magnitude das anomalias de TSM, os eventos de ENOS podem ser classificados em fracos ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ a $\pm 0,9^{\circ}\text{C}$), moderados ($\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ a $\pm 1,4^{\circ}\text{C}$) e fortes ($\geq \pm 1,5^{\circ}\text{C}$), classificação que auxilia na previsão dos impactos climáticos regionais e globais associados a cada fase do fenômeno (INPE,2024).

Os dados climáticos foram processados por meio da plataforma Google Earth Engine (GEE), utilizando algoritmos em JavaScript para acessar e filtrar conjuntos de dados geoespaciais de satélites e modelos climáticos. Parâmetros como precipitação acumulada, temperaturas máximas e mínimas foram selecionados e submetidos a etapas de transformação, incluindo agregação temporal (médias, máximos e mínimos anuais/mensais), normalização de resoluções espaciais e identificação de anomalias climáticas mediante critérios estatísticos (percentis 95/5, desvios padrão).

A visualização dos resultados obtidos através do processamento foi estruturada em duas abordagens complementares: i) gráficos estatísticos (séries temporais, histogramas) gerados no Microsoft Excel, enfatizando tendências e correlações entre variáveis climáticas; e ii) mapas temáticos elaborados no QGIS versão 3.26.3, com técnicas de geoprocessamento (interpolação IDW, classificação por gradientes de cor) para representar a distribuição espacial de extremos climáticos. As etapas metodológicas da pesquisa estão escritas de forma simplificada a seguir (Figura 3).

Figura 3 – Esquema metodológico simplificado

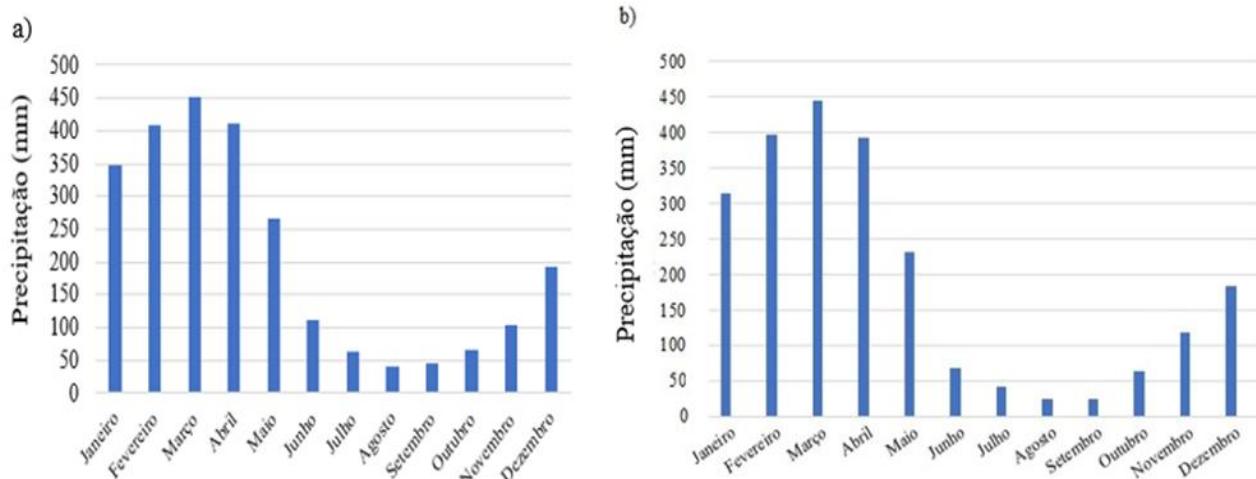


3.Resultados e Discussão

3.1 Análise mensal da climatologia da precipitação

A sazonalidade climática na região amazônica apresenta padrões pluviométricos marcantes, evidenciados pelos dados mensais de precipitação dos municípios de Baião e Breu Branco (Figuras 4.a e 4.b).

Figura 4– Climatologia mensal da precipitação nos municípios de Baião e Breu-Branco respectivamente
Figure 4–Monthly precipitation climatology in the municipalities of Baião and Breu-Branco respectively



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

Source: Prepared by the authors, 2025

Ambos exibem concentração de chuvas no primeiro semestre, com picos em março (450 mm em Baião e 440 mm em Breu Branco), seguidos por drástica redução no segundo semestre, atingindo mínimos de 48 mm em agosto em Baião e 42 mm em Breu Branco. Tais padrões estão intrinsecamente vinculados à dinâmica da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), cuja oscilação latitudinal modula a distribuição das chuvas na região (De Souza et al., 2021). Estudos feitos por Amanajás e Braga (2012) também apontam que a posição da ZCIT influencia diretamente a variabilidade da precipitação na Amazônia Oriental, afetando a distribuição sazonal das chuvas nesse período.

Em Baião, a ZCIT atua como principal mecanismo indutor da estação chuvosa entre janeiro e maio, culminando em março com precipitação máxima. A proximidade do município com áreas montanhosas introduz um componente orográfico relevante, potencializando a convecção e a formação de chuvas frontais (Houze, 2012). Esse efeito topográfico amplifica os volumes pluviométricos, criando um gradiente de umidade mais acentuado em comparação a regiões planálticas (Martins, 2022). A acentuada diminuição da precipitação a partir de abril reflete o deslocamento meridional da ZCIT, marcando a transição para um período menos chuvoso com reduzida atividade convectiva (Lima, 2025).

Embora Breu Branco também compartilhe dessa influência em sua precipitação, ele apresenta respostas diferenciadas às variações interanuais. A queda abrupta das chuvas após março, mais pronunciada que em Baião (redução de 440 mm para 42 mm em cinco meses), sugere maior sensibilidade a fatores exógenos, como os fenômenos El Niño e La Niña. Essas oscilações influenciam a pressão atmosférica e os padrões de vento, alterando a duração dos períodos de chuva, seja encurtando-os ou prolongando-os. Adicionalmente, a cobertura vegetal e a ausência de barreiras orográficas significativas na região limitam a retenção de umidade, exacerbando a sazonalidade e amplificando a variabilidade interanual.

A comparação entre os municípios revela que, embora ambos estejam submetidos à macro escala climática da ZCIT, as disparidades locais modulam a intensidade e a duração das chuvas. Baião beneficia-se de mecanismos orográficos que prolongam a disponibilidade hídrica, enquanto Breu Branco, mais exposto a planícies, apresenta maior vulnerabilidade às teleconexões climáticas. Essas diferenças destacam a importância de variáveis mesoclimáticas, como relevo e dinâmicas de circulação local, na modulação do ciclo hidrológico.

A compreensão detalhada desses padrões é crítica para o planejamento de atividades dependentes de recursos hídricos, como agricultura e gestão de reservatórios. Em Baião, a persistência de umidade residual pode favorecer cultivos semiperenes, enquanto em Breu Branco, a sazonalidade mais repentina demanda sistemas de irrigação suplementar. A integração de dados climáticos com características locais emerge como estratégia essencial para mitigar riscos associados a extremos pluviométricos, reforçando a resiliência socioecológica frente às mudanças climáticas (Menezes, Fernandes e Rocha, 2015).

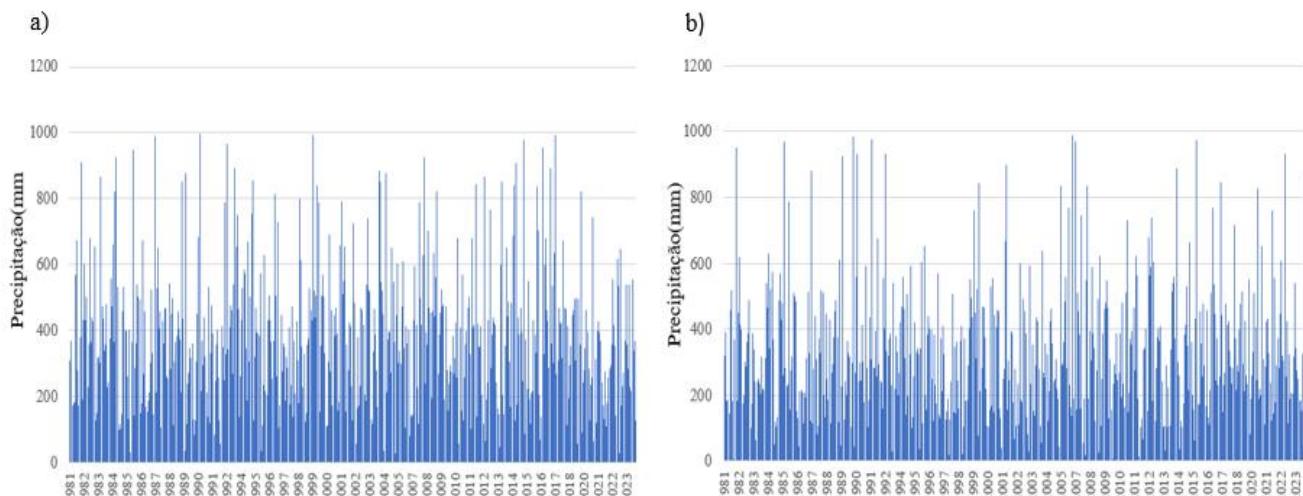
3.2 Análise mensal e anual dos acumulados de precipitação

A análise dos gráficos de precipitação ao longo do período estudado evidencia padrões sazonais bem definidos na região amazônica, com uma estação chuvosa, que ocorre entre dezembro e maio, e uma estação menos chuvosa, entre junho e novembro (Amanajás e Braga, 2012). Esse comportamento está alinhado com o clima equatorial úmido característico da região, influenciado principalmente pela migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), responsável pelos elevados acumulados pluviométricos durante os meses chuvosos (Drumond et al, 2010).

Contudo, ao observar os dados percebe-se uma crescente desigualdade significativa na distribuição das chuvas entre os dois municípios. Enquanto Baião (figura 5. a) apresenta uma precipitação mais uniforme ao longo do período analisado, com picos menos acentuados, Breu Branco (figura 5.b) demonstra maior variabilidade temporal, com eventos de chuva mais intensos e amplitudes mais pronunciadas entre períodos de alta e baixa precipitação.

Figura 5– Acumulados mensais e anuais da precipitação nos municípios de Baião e Breu-Branco respectivamente

Figure 5-Monthly/ annual precipitation climatology in the municipalities of Baião and Breu-Branco respectively



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025
Source: Prepared by the authors, 2025

Essa diferença na magnitude pode ser atribuída a fatores climáticos e geográficos distintos, como a influência direta de sistemas atmosféricos, incluindo a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que atua de forma desigual em cada município, dependendo da localização geográfica e da interação com ventos e outros sistemas regionais.

Além disso, a proximidade de Baião com áreas montanhosas pode favorecer uma distribuição mais regular de chuvas, uma vez que as montanhas tendem a atuar como barreiras orográficas, promovendo precipitação mais constante. Em contrapartida, Breu Branco, por estar em uma área mais aberta, pode ser mais suscetível a eventos extremos de chuva, intensificados por fluxos atmosféricos sazonais ou por fenômenos climáticos como El Niño e La Niña. Essa dinâmica explica a maior variabilidade observada em Breu Branco e destaca a complexidade dos fatores que influenciam a precipitação em diferentes localidades da mesma região amazônica. De acordo com Amanjás (2012) essas interações entre fatores globais e regionais intensifica os períodos de chuvas excessivas, seguidos por estiagens mais prolongadas e intensas, dependendo da região.

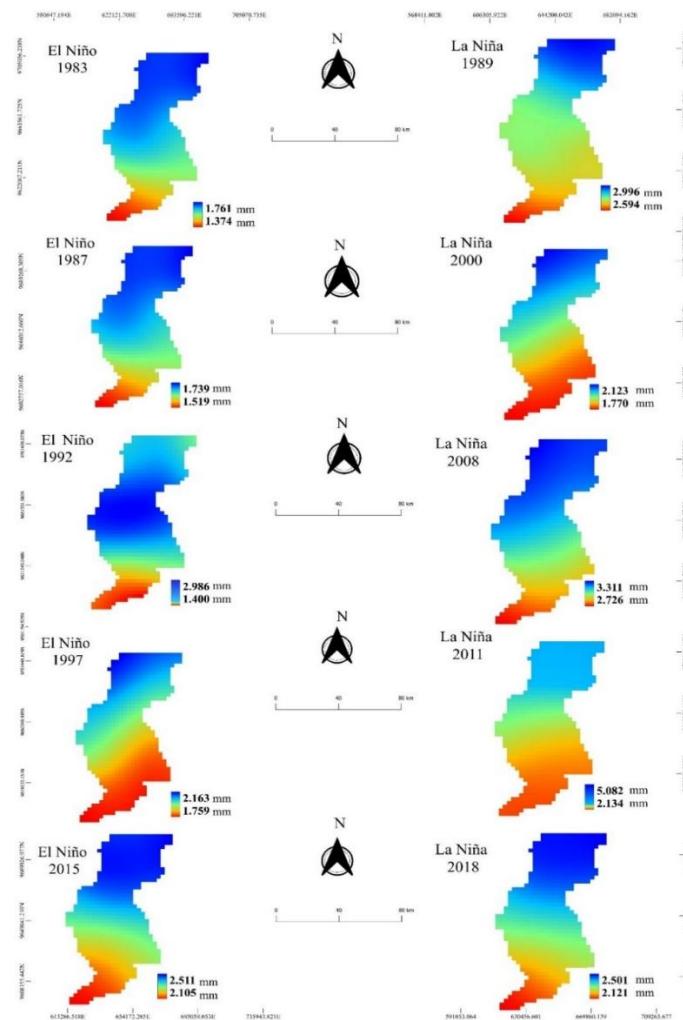
Portanto, observar e compreender essas mudanças nos padrões pluviométricos e a crescente desigualdade nas chuvas nos municípios é essencial para subsidiar o planejamento de políticas públicas e estratégias adaptativas. De acordo com Loureiro et al (2014) o monitoramento contínuo e detalhado da variabilidade pluviométrica, aliado a ações de mitigação, como a preservação da cobertura florestal e a gestão sustentável do uso do solo, é fundamental para reduzir os impactos dessas mudanças sobre as populações e os ecossistemas locais.

3.3 Análise dos anos de ENOS - extremos climáticos no município de Baião

A variabilidade pluviométrica em anos de ocorrência do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) em sua fase quente (El Niño) evidenciou extremos significativos nos acumulados de precipitação, com registros máximos de 2.986 mm no ano de 1992 e mínimos de 1.374 mm em 1983 (Figura 6).

Figura 6- Distribuição espaço-temporal da precipitação em anos de El Niño (EN) – 1983/1987/1992/1997 e 2015 e em anos de La Niña (LN) – 1989/2000/2008/2011 e 2018

Figure 6- Spatio-temporal distribution of precipitation in El Niño (EN) years – 1983/1987/1992/1997 and 2015 and in La Niña (LN) years – 1989/2000/2008/2011 and 2018



Fonte: CHIRPS, 2024. Elaborado pelos autores, 2025

Source: CHIRPS, 2024. Prepared by the authors, 2025

Esses dados corroboram com estudos anteriores, como o de Carvalho (1989), que já havia identificado redução na atividade convectiva e nos índices pluviométricos na Amazônia durante o evento El Niño de 1982-1983. Embora o fenômeno esteja associado a condições de supressão pluviométrica, a porção norte do município demonstrou notável resiliência hídrica, resultado da interação entre sistemas úmidos impulsionados pelos ventos alísios atlânticos, da presença de vegetação densa e de um relevo pouco fragmentado. Esses fatores favorecem a retenção de umidade tanto no solo quanto na atmosfera, além de potencializarem os processos convectivos em escala local (Primavesi, Arzabi e Pedreira, 2007).

Durante a fase fria do ENOS (La Niña), observa-se um aumento expressivo nos volumes de precipitação no município, com destaque para o ano de 2011, que registrou o maior acumulado anual do período analisado, totalizando 5.080 mm (figura 6). Esse aumento está relacionado ao resfriamento das águas

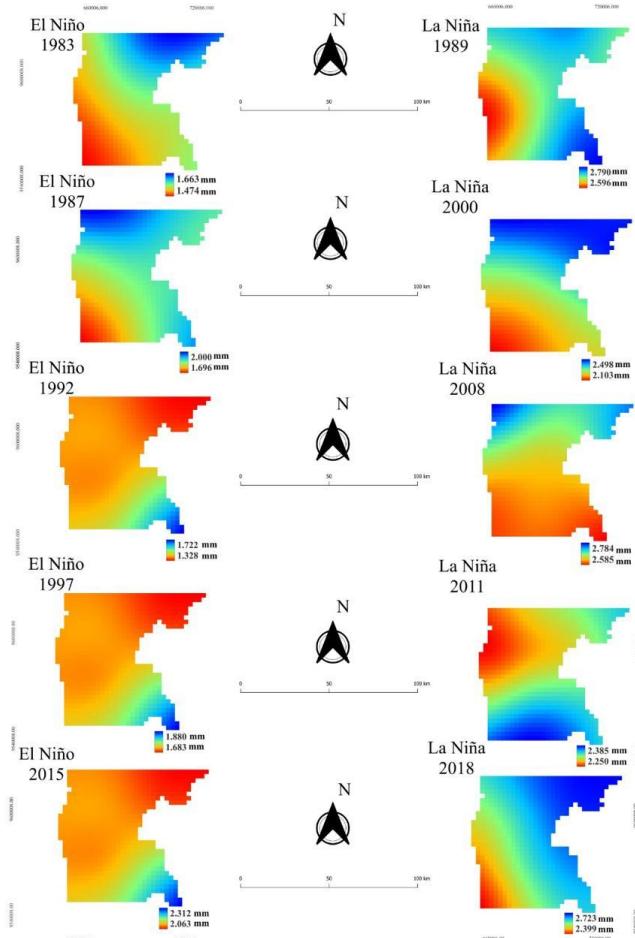
superficiais do Oceano Pacífico, o qual intensifica a convergência de umidade e o fortalecimento dos sistemas meteorológicos atuantes na região (Nobre, Sampaio & Salazar, 2007). Por outro lado, o menor volume de precipitação durante anos de La Niña foi observado em 2000, com um total anual de 2.123 mm. De acordo com Nogueira et al. (2010), os impactos do ENOS sobre os regimes pluviométricos variam significativamente em função da localização geográfica e da intensidade do fenômeno. No caso do município de Baião, sua posição geográfica lhe confere menor sensibilidade às anomalias térmicas do Pacífico, contribuindo para um comportamento pluviométrico relativamente mais estável, mesmo sob condições climáticas extremas.

3.4 Análise dos anos de ENOS - extremos climáticos no município de Breu Branco

No município de Breu Branco a variabilidade pluviométrica, durante anos de ocorrência do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), revela contrastes significativos, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7- Distribuição espaço-temporal da precipitação em anos de El Niño (EN) – 1983/1987/1992/1997 e 2015 e em anos de La Niña (LN) – 1989/2000/2008/2011 e 2018

Figure - Spatio-temporal distribution of precipitation in El Niño (EN) years – 1983/1987/1992/1997 and 2015 and in La Niña (LN) years – 1989/2000/2008/2011 and 2018



Fonte: CHIRPS, 2024. Elaborado pelos autores, 2025
Source: CHIRPS, 2024. Prepared by the authors, 2025

Os eventos de El Niño em Breu Branco-PA, como o ocorrido em 1992, que registrou 1.328 mm de precipitação, seguem padrões climáticos amplamente documentados. (Gash e Marengo, 2004) destacam que o aquecimento anômalo do Pacífico equatorial durante El Niño desloca sistemas convectivos para o oceano, reduzindo as chuvas no norte do Brasil, especialmente na Amazônia Oriental. Essa dinâmica é corroborada por Nobre. (2016), que apontam a intensificação de períodos menos chuvosos na região, com impactos críticos na agricultura e recursos hídricos. Embora eventos extremos de El Niño como o de 1997 e 2015 tenham apresentado precipitação mais elevadas, De Souza, Kayano e Ambrizzi (2005) explicam que interações com oscilações locais, como a variabilidade da temperatura do Atlântico Tropical, podem modular esses extremos, sem invalidar a tendência geral de estiagem no norte durante El Niño.

De acordo com Santos et al (2013) Sob influência da La Niña, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) se intensifica, aumentando as chuvas na Amazônia oriental. Em Breu Branco, por exemplo, 1989 registrou 2.790 mm de precipitação, bem acima da média. Segundo Fisch, Marengo e Nobre (1998), a La Niña também distribui as chuvas mais uniformemente, atingindo até o sul do Pará. Mesmo em anos de extremos menos intensos, como 2008 (2.103 mm), os volumes geralmente superam a média, beneficiando os ecossistemas, mas aumentando o risco de alagamentos em áreas vulneráveis.

Os resultados da pesquisa oferecem subsídios essenciais para a mitigação de riscos ambientais, com destaque para setores vulneráveis como a agricultura e a gestão de recursos hídricos. A identificação de tendências climáticas e de variações extremas permite antecipar cenários adversos, promovendo estratégias de adaptação mais robustas. Assim, reforça-se a importância de políticas públicas que incorporem dados refinados e atualizados de precipitação para fortalecer a resiliência local frente às mudanças climáticas e assegurar a sustentabilidade dos recursos naturais.

4. Conclusão

A análise da variabilidade temporal da precipitação nos municípios, com o uso de sensoriamento remoto como o CHIRPS, demonstrou ser uma ferramenta eficaz para compreender e monitorar os padrões climáticos locais. A identificação de sazonalidades e eventos extremos, como os observados em 1981 e 2009, evidenciou a significativa influência de fenômenos climáticos globais, como El Niño e La Niña, sobre as dinâmicas de precipitação na região amazônica. Esses fenômenos, ao alterarem os padrões de chuvas, destacam a necessidade de estudos contínuos para avaliar suas implicações no contexto regional.

A escassez de estudos anteriores sobre a variabilidade pluviométrica nos municípios analisados representou uma limitação significativa durante a pesquisa, dificultando a realização de análises comparativas com séries históricas regionais consolidadas. Diante desse cenário recomenda-se que pesquisas futuras: integrem a análise pluviométrica com variáveis socioeconômicas e ambientais, visando avaliar os impactos sobre os sistemas produtivos locais e ampliem os estudos comparativos para outros municípios da Amazônia Oriental, contribuindo para a regionalização do conhecimento;

A metodologia empregada, que integra dados de sensoriamento remoto com análises climáticas, demonstrou ser replicável em outras regiões afetadas por desafios similares de variabilidade climática. Essa abordagem não apenas avança o conhecimento científico, mas também apoia o planejamento estratégico, fornecendo subsídios técnicos para a tomada de decisões.

Referências

Amanajás, J.C.; Braga, C.C. (2012). Padrões espaço-temporais pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 423-434.

BAIÃO (PA). Decreto nº 084/2023 – Declara Situação de Emergência nas áreas do Município de Baião

atingidas por estiagem. Baião: Prefeitura Municipal de Baião, 2023. Disponível em: <https://baiao.pa.gov.br/wp-content/uploads/2023/01/DECRETO-No.-084-2023-GP-Declara-Situacao-de-Emergencia-nas-a.pdf>. Acesso em: 14 maio 2025.

Cavalcante, R. B. L.; Da Silva Ferreira, D. B.; Pontes, P. R. M.; Tedeschi, R. G.; Da Costa, C. P. W.; De Souza, E. B. Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. **Atmospheric Research**, v. 238, p. 104879, 2020.

CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2015). **Atlas Pluviométricas do Brasil**. Fortaleza-CE, 2015. Disponivel em <https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/23611/1/pa_baiao_relatorio_idf_2015.pdf>. Acesso em 20 de janeiro de 2025.

De Souza, E.B.; Ferreira, D.B.S.; Guimarães, J.T. F.; Franco, V. S.; Azevedo, F. T. M.; Souza, P. J. O. P. (2021). Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia legal brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo regcm4. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 18.

DE Souza, E. B; Kayano, M. T.; Ambrizzi, T. Variabilidade intrassazonal e submensal sobre a Amazônia oriental e o Nordeste do Brasil durante a estação chuvosa de outono. **Climatologia Teórica e Aplicada**, v. 81, p. 177-191, 2005.

Drumond, A., Nieto, R., Trigo, R., Ambrizzi, T., Souza, E., & Gimeno, L. (2010). Uma identificação Lagrangiana das principais fontes de umidade que afetam o Nordeste do Brasil durante as estações pré-chuvosa e chuvosa. **PLoS Um**, 5(6), e11205

Ferreira, D. B. da S.; Souza, E. B.; Oliveira, J. V. de. 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**, [S. l.], v. 27, p. 197–222, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v27i0.64630. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14269>. Acesso em: 15 abr. 2024.

Fisch,G.; Marengo, J.A.; Nobre, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta amazônica**, v. 2, pág. 101-101, 1998.

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M. (2015). The Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS) dataset. **Scientific Data**, 2.

Gash, J.H.C.; Marengo, J. Clima amazônico: resultados e pesquisas futuras. **Climatologia Teórica e Aplicada**, v. 78, p. 187-193, 2004.

Gomes, D.J.C, Beltrão, N.E.S, Pereira, F.M, Reis, A.C.M, Pinheiro, A.M.P, da Silva, DF (2022). Estimativa de aquisição dos dados CHIRPS e GPCC em anos de extremos climáticos, Bacia Hidrográfica do rio Guamá-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 15 (3), 1583-1598.

HOUZE JR., R. A. Orographic effects on precipitating clouds. **Reviews of Geophysics**, v. 50, n. 1, 2012.

IBGE- Instituto brasileiro de geografia e estatística. **Estimativa de população**. Disponível em:<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html> acesso em:

11 de janeiro de 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *Monitoramento e classificação do fenômeno El Niño–Oscilação Sul (ENOS)*. São José dos Campos, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/noticias/monitoramento-enso>. Acesso em: 14 maio 2025.

INMET. Relatório Anual da Rede de Monitoramento Meteorológico do Brasil. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/publicacoes>. Acesso em: 03 de agosto de 2025.

IPCC. *Mudanças climáticas 2022: impactos, adaptação e vulnerabilidade*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

Junior, J. M. D. O., De Oliveira, A. S., Jacomini, R. G., Moura, V. M., Moraes, F. M., De Souza, C. M. V., ... & Lima, L. A. D. O. **Legislação, Regulação E Educação Ambiental No Contexto Do Plano Nacional De Adaptação Às Mudanças Climáticas**.

Lima, Gabriel Vinicius Barros. Zona de Convergência Intertropical e Variabilidade da Precipitação no Estado Amazonas. 2025.

Loureiro, R. S. D., Saraiva, J. M., Saraiva, I., Senna, R. C., & Fredó, A. S. (2014). Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. **Revista brasileira de meteorologia**, 29, 83-94.

Lopes, M.; N. G.; De Souza, E. B.; Ferreira, D. B. Silva. (2013). Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 12.

MARTINS, Alceu da Câmara. Fatores climáticos e sistemas meteorológicos que atuam sobre o Brasil-uma revisão bibliográfica. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MENEZES, F.P., FERNANDES, L, L; ROCHA, Edson José Paulino. O uso da estatística para regionalização da precipitação no Estado do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, 2015.

Nobre, C.A.; Sampaio, G.; Salazar, L. Mudanças climáticas e Amazônia (2007). **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 22-27.

Nobre, G. M. **Parceria estratégica entre o Brasil e Noruega: cooperação em clima, meio ambiente e desenvolvimento sustentável da Amazônia 2006-2013**. 158f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional da Amazônia) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional da Amazônia, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2016.

Nogueira, J. L., et al. (2010). Variabilidade espacial da precipitação no Pará associada a alguns eventos do ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 25(1), 97-107.

Primavesi, O. P., Arzabe, C., Pedreira, M. D. S. (2007). Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos.

Rocha, T. B.B.; Junior. F.C.V.; Silveira, C. D.S.; Martins, E. S.P.R; Gonçalves, S.T.N; SILVA, E. M Da;

Sakamoto, M.S (2018). Indicadores de Veranicos e de Distribuição de Chuva no Ceará e os Impactos na Agricultura de Sequeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, V. 36, n.3.

Sales, G. B., Souza, E. B., Ferreira, D. B. S. (2022). Hydrometeorological Monitoring Gaps in the Amazon Basin: Challenges for Climate Change Adaptation. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, 40.

Santos, C. A.; Costa dos; Satyamurty. P.; Santos, E. M. Tendências de índices de extremos climáticos para a região de Manaus-AM. **Acta Amazônica**, v. 42, p. 329-336, 2012.

SEGURA, H., ESPINOZA, J. C., JUNQUAS, C., LEBEL, T., VUILLE, M., GARREAUD, R. Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical Andes/western Amazon. **Climate Dynamics**, 1-19, 2020.

TWARDOSZ, R.; CEBULSKA, M.; WALANUS, A. Anomalously heavy monthly and seasonal precipitation in the Polish Carpathian Mountains and their foreland during the years 1881–2010. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-15, 2015.

Vianello, R. L.; Alves, A. R.(1991) **Meteorologia e aplicações**. Viçosa: UFV. p.449.

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.