

Marcos Ronielly da Silva Santos
(Organizador)



**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL
DA PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO
IMEDIATA DE TUCURUÍ E MARABÁ
UTILIZAÇÃO DE DADOS DE GEOTECNOLOGIAS E
EXTREMOS CLIMÁTICOS**

Marcos Ronielly da Silva Santos
(Organizador)

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO IMEDIATA
DE TUCURUÍ E MARABÁ: UTILIZAÇÃO DE DADOS DE GEOTECNOLOGIAS E
EXTREMOS CLIMÁTICOS**

1ª edição

**Editora Itacaiúnas
Ananindeua – PA
2025**

©2025 por Marcos Ronielly da Silva Santos (Organizador)
©2025 por diversos autores
Todos os direitos reservados.

1ª edição

Conselho editorial / Colaboradores

Márcia Aparecida da Silva Pimentel – Universidade Federal do Pará, Brasil
José Antônio Herrera – Universidade Federal do Pará, Brasil
Márcio Júnior Benassuly Barros – Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil
Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Wildoberto Batista Gurgel – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
André Luiz de Oliveira Brum – Universidade Federal de Rondônia, Brasil
Mário Silva Uacane – Universidade Licungo, Moçambique
Francisco da Silva Costa – Universidade do Minho, Portugal
Ofélia Pérez Montero - Universidad de Oriente – Santiago de Cuba, Cuba

Editora-chefe: Viviane Corrêa Santos – Universidade do Estado do Pará, Brasil
Editor e web designer: Walter Luiz Jardim Rodrigues – Editora Itacaiúnas, Brasil

Editoração eletrônica/ diagramação: Walter Rodrigues

Projeto de capa: Walter Rodrigues

Revisão: dos autores e organizadores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

S237

Santos, Marcos Ronielly da Silva

Variabilidade espaço-temporal da precipitação na região imediata de Tucuruí e Marabá: utilização de dados de geotecnologias e extremos climáticos [recurso eletrônico] / vários autores; organizado por Marcos Ronielly da Silva Santos. - Ananindeua: Editora Itacaiúnas, 2025.
93 p.: il.: PDF , 1,0 MB.

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-9535-374-9 (Ebook)

DOI: 10.36599/itac-978-85-9535-374-9

1. Climatologia. 2. Precipitação atmosférica. 3. Geotecnologias. 4. Extremos climáticos. 5. Amazônia oriental. I. Título.

CDD 550

CDU 551.577

Índice para catálogo sistemático:

1. Climatologia: 551.577

E-book publicado no formato PDF (*Portable Document Format*). Utilize software [Adobe Reader](#) para uma melhor experiência de navegabilidade nessa obra.

Todo o conteúdo apresentado neste livro é de responsabilidade do(s) autor(es).

Esta publicação está licenciada sob [CC BY-NC-ND 4.0](#)

Esta obra foi publicada pela **Editora Itacaiúnas** em novembro de 2025.



SUMÁRIO

RESUMO E APRESENTAÇÃO DA OBRA

CAPÍTULO 1 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO EM MUNICÍPIOS DA REGIÃO IMEDIATA DE TUCURUÍ/PARÁ: IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

CAPÍTULO 2 – VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DA CHUVA NO MUNICÍPIO DE PACAJÁ/PARÁ

CAPÍTULO 3 – USO DE GEOTECNOLOGIAS NA AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: UMA ABORDAGEM ESPAÇO-TEMPORAL EM MUNICÍPIOS PARAENSES

CAPÍTULO 4 – INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NOVO REPARTIMENTO/PARÁ

CAPÍTULO 5 – VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ/PARÁ: UMA PERSPECTIVA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

SOBRE OS AUTORES / ORGANIZADORES

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO IMEDIATA DE TUCURUÍ E MARABÁ: UTILIZAÇÃO DE DADOS DE GEOTECNOLOGIAS E EXTREMOS CLIMÁTICOS

Marcos Ronielly da Silva Santos (Organizador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,

Tucuruí, PA, Brasil

marcos.santos@ifpa.edu.br

RESUMO E APRESENTAÇÃO DA OBRA

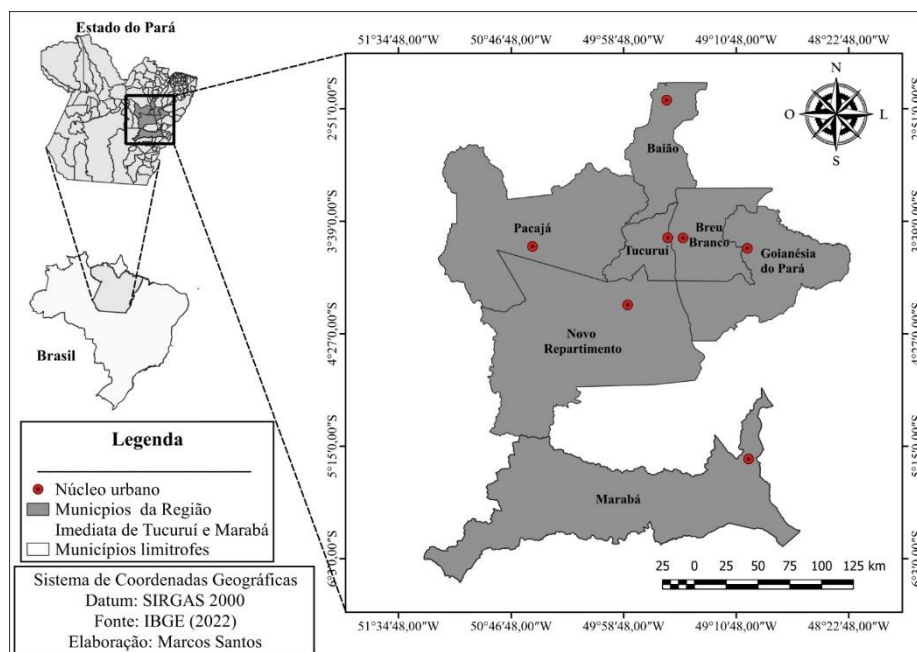
A geotecnologia é uma ferramenta eficiente para diversas áreas do conhecimento, tornando-se disciplina e componente curricular obrigatório em vários cursos e áreas de pesquisa. Esse instrumento possibilita a manipulação de diversos dados de sensoriamento remoto no tempo e espaço. Neste contexto, este livro tem como conhecer a variabilidade espaço temporal da chuva na região imediata de Tucuruí e no município de Marabá, Pará, utilizando dados refinados de geotecnologias. Também busca-se analisar os padrões de chuva durante os anos de ocorrência de extremos climáticos (ENOS - EL NIÑO e LA NIÑA) e os sistemas precipitantes locais. Por meio da pesquisa busca-se desenvolver as habilidades teórico e práticas dos discentes na área de geotecnologias, permitindo a produção e integração com outras disciplinas e temas (engenharia ambiental, saneamento, meio ambiente, climatologia, etc.).

O livro é resultado de trabalhos desenvolvidas no grupo de pesquisa Clima, Sociedade e Ambiente, cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e vinculado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) – Campus Tucuruí. As pesquisas foram desenvolvidas ao longo dos anos de 2023, 2024 e 2025 pelo grupo de estudo GeoClima, formado por discentes e docentes do curso de bacharelado em engenharia sanitária e ambiental e pesquisadores externos associados a Escola Politécnica do Equador (ESPOL), Universidade Federal do Pará (UFPA), Universidade Estadual do Pará (UEPA), Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Universidade Estadual do Ceará (UECE). A todos os profissionais e instituições vinculados, agradecemos o intercâmbio profissional e aprendizado adquiridos nesse compartilhamento de experiência.

A região de Tucuruí e Marabá apresentam elevados quantitativos de chuva, com acumulados que variam de 2200mm/ano e de 400mm/mês, durante o período chuvoso. Atualmente as representações da variabilidade das chuvas estão predominantemente baseadas em dados coletados por meio das estações meteorológicas de superfície, promovendo uma confiança limitada para estudos sobre a variabilidade da chuva local. Neste contexto, o livro apresenta em capítulos a variabilidade da chuva em diferentes escalas de tempo, para a região imediata de Tucuruí e o município de Marabá, utilizando dados de sensoriamento remoto em escala refinada.

O estudo de forma geral apresenta a aplicação da técnica do produto de sensoriamento remoto, disponibilizado pelo Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) com base nas estimativas e dados de alta resolução espaço (5Km) temporal (1 h). A variabilidade espaço-temporal da chuva será representada pela climatologia dos tempos anuais e mensais e relacionada aos sistemas e mecanismos oceano atmosfera que favorecem a precipitação local.

Este conhecimento, será uma ferramenta alternativa e eficaz para o gerenciamento da região, corroborando para estudos de modelagem e permitindo sua replicação para outras áreas. Também será referência para futuras pesquisas na área de hidrodinâmica, produção agrícola e vulnerabilidade socioambiental, uma vez que os níveis de chuva interferem diretamente nas lavouras e nas enchentes dos rios.



A região imediata de Tucuruí é formada por 6 (seis) municípios: Baião, Breu Branco, Goianésia do Pará, Novo Repartimento, Pacajá e Tucuruí. Essa região apresenta uma população estimada em de 403.932 habitantes e uma densidade demográfica de 9,17

hab/km², seu território tem 44.041,02 Km² (IBGE, 2022). Essa área é também caracterizada pela presença da quinta maior usina hidrelétrica do mundo, com geração de energia elétrica de 8.370 MW.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO EM MUNICÍPIOS DA REGIÃO IMEDIATA DE TUCURUÍ/PARÁ: IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Aline Leal do Nascimento

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil
teclog.aline@gmail.com

Ester Cunha Estumano

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil
esterestumano1609@gmail.com

Giordani Rafael Conceição Sodré

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil
giordani@ufpa.br

Monique Sandra Oliveira Dias Barreto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil
monique.barreto@ifpa.edu.br

RESUMO

Devido à mudança climática, a precipitação, a temperatura do ar e a frequência e intensidade dos eventos extremos vêm se alterando, estudos reforçam que alterações do clima modificam padrões nas variáveis climáticas, como a precipitação, temperatura, etc. Compreender a inter-relação de características que desencadeiam essas mudanças, requerem a realização de observações em diversas escalas temporais. Este estudo analisa a distribuição temporal e espacial da precipitação nos municípios de Tucuruí e Goianésia do Pará, com base em dados do CHIRPS no período de 1981 a 2023. A metodologia envolveu o uso de geotecnologias, como o Google Earth Engine e SIG, para identificar padrões pluviométricos e a influência de fenômenos oceânicos-atmosféricos, como o ENOS. Os resultados indicam um regime sazonal acentuado, com picos em março e mínimas em agosto. A atuação de El Niño e La Niña mostrou impacto direto sobre a variabilidade das chuvas, corroborando estudos recentes sobre o clima amazônico. Este conhecimento, será uma ferramenta alternativa e eficaz para o gerenciamento da região, principalmente para enfrentar os impactos das mudanças climáticas, socioeconômicas e ambientais.

Palavras-chave: Chuva. Climatologia. Geotecnologia.

SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF PRECIPITATION IN MUNICIPALITIES IN THE IMMEDIATE REGION OF TUCURUÍ/PARÁ: IMPACTS OF CLIMATE CHANGE

ABSTRACT

Due to climate change, precipitation, air temperature, and the frequency and intensity of extreme events have been changing. Studies reinforce that climate change alters patterns in climatic variables such as precipitation, temperature, and so on. Understanding the interrelationships that trigger these changes requires observations at different time scales. This study analyzes the temporal and spatial distribution of precipitation in the municipalities of Tucuruí and Goianésia, Pará, based on CHIRPS data from 1981 to 2023. The methodology involved the use of geotechnologies, such as Google Earth Engine and GIS, to identify rainfall patterns and the influence of oceanic-atmospheric phenomena, such as ENSO. The results indicate a pronounced seasonal regime, with peaks in March and minimums in August. The influence of El Niño and La Niña has shown a direct impact on rainfall variability, corroborating recent studies on the Amazon climate. This knowledge will be an alternative and effective tool for managing the region, especially to address the impacts of climate, socioeconomic, and environmental changes.

Keywords: Rain. Climatology. Geotechnology.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam um dos desafios mais urgentes e significativos enfrentados pelas sociedades contemporâneas, transcendendo a mera elevação das temperaturas. Essas mudanças englobam uma série de fenômenos, como alterações na precipitação, circulação atmosférica e eventos climáticos extremos, todos os quais exercem um impacto profundo em diversos aspectos do sistema socioeconômico global. Consequentemente, a compreensão dessas mudanças e seus efeitos é crucial não apenas para a preservação ambiental, mas também para a mitigação de riscos e o desenvolvimento sustentável (Artaxo, 2020).

As atividades humanas, principalmente o lançamento de gases do efeito estufa causam nitidamente o aquecimento global. Estudos apontam que o efeito estufa sofre influência principalmente do dióxido de carbono (CO₂), por isso o aquecimento global passou a ser incorporado por cientistas como elemento de análise em diversos estudos. De acordo com o sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) a temperatura da superfície global sofreu um aumento de

1,1°C e as alterações decorrentes desse aumento já afetam todas as regiões do mundo (IPCC, 2023).

A precipitação é uma variável fundamental a ser considerada ao discutir as mudanças do clima. Esta variável climática desempenha um papel essencial na dinâmica dos ecossistemas, na disponibilidade de recursos hídricos e na agricultura, influenciando diretamente a economia e a qualidade de vida das populações locais. A variabilidade na quantidade e distribuição espacial da precipitação pode resultar em impactos significativos, afetando a produção agrícola, o abastecimento de água e a infraestrutura urbana, entre outros aspectos (Santos *et al.*, 2017; Hoffmann *et al.*, 2018; Gomes *et al.*, 2021).

Compreender a inter-relação dos efeitos das mudanças climáticas na precipitação, requer o estudo da variabilidade de escalas temporais. Estudo sobre a variabilidade da precipitação na região amazônica é uma tarefa que demanda uma abordagem metódica. Isso se deve à complexidade inerente aos fatores climáticos, à grandeza geográfica da região e da disponibilidade de dados, limitada de poucas estações meteorológicas. Os dados dessas estações são geralmente interpolados e usados como entrada para modelos climáticos e hidrológicos (Santos, 2021).

Os sistemas precipitantes de meso e grande escala que influenciam a precipitação na Amazônia, destaca-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) caracterizada por uma faixa de nuvens de chuva que se estende do sul da Amazônia até o Oceano Atlântico, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que é uma faixa de nuvens que se formam por meio do encontro dos ventos alísios do Hemisfério Norte e do Hemisfério Sul, criando uma zona de intensa atividade de nuvens e chuvas que percorre todo o globo terrestre na faixa equatorial (INMET, 2023)

O mecanismo oceano atmosfera El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um dos principais fenômenos causadores de extremos climáticos. Ele é caracterizado pelo aquecimento ou resfriamento maior que $\pm 0,5^{\circ}$ C das águas superficiais do oceano pacífico equatorial por um período mínimo e contínuo. Em anos de anomalias positivas a ocorrência do El Niño (fase quente) reduz os níveis de precipitação e o inverso acontece em anos de La Niña (fase fria) com anomalias negativas (Sousa *et al.*, 2015; CPTEC, 2024).

Os dados de sensoriamento remoto são uma alternativa eficiente para estudos de variabilidade espaço temporal da chuva em extensas regiões com escassos dados, sanando as limitações provenientes das estações meteorológicas de superfície (Zambrano-Bigiarini *et al.*, 2017; Cordeiro; Blanco, 2021). Pesquisas apontam a aplicação da geotecnologia como ferramenta eficaz, em observar e avaliar os processos oceânicos, meteorológicos e continentais, principalmente em áreas com ausência de dados de superfície ou em grandes

extensões territoriais como a região sudeste do Pará (Tomlinson *et al.*, 2011; Mu; Biggs; Shen, 2021).

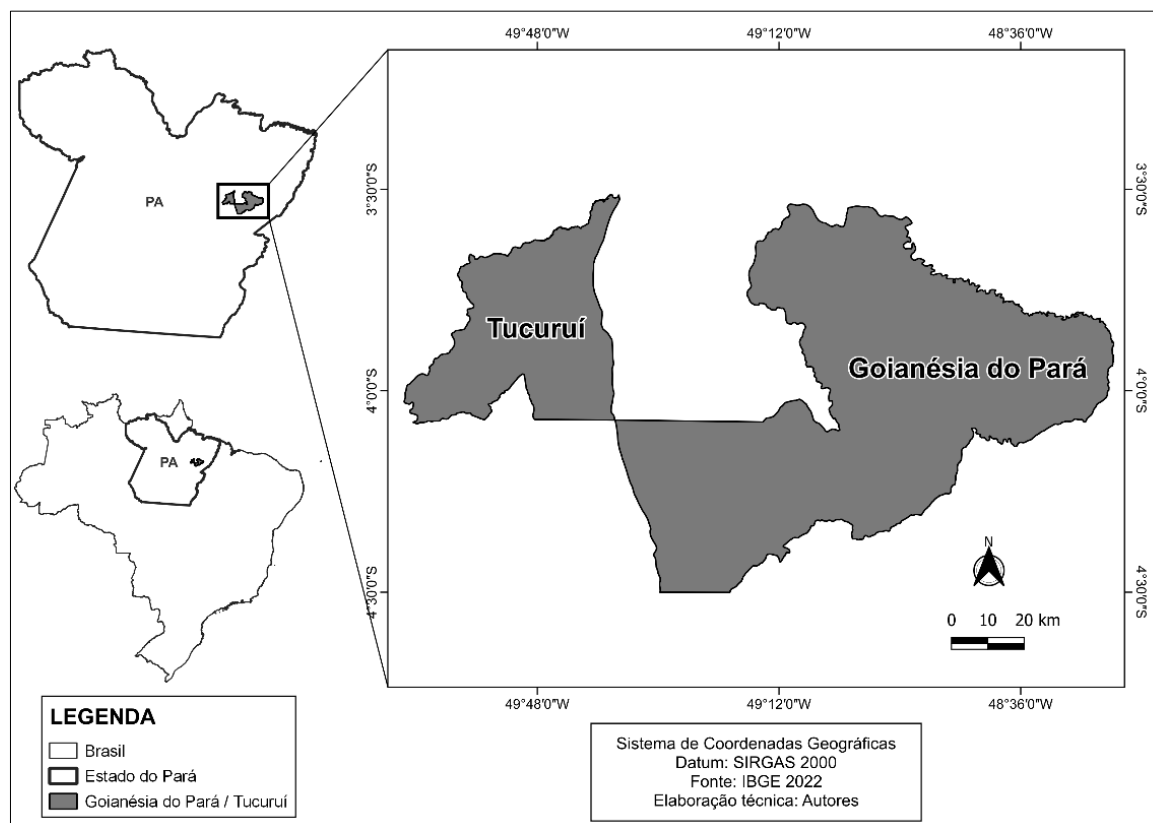
Neste cenário, justifica-se a importância desta pesquisa tendo como objetivo de analisar a variabilidade da distribuição temporal da precipitação mensal e anual do município de Tucuruí e Goianésia do Pará, empregando a geotecnologia. Além disso, o estudo visa analisar a chuva durante os anos de ocorrência de extremos climáticos e os sistemas precipitantes locais, permitindo uma atualização nos dados dessa temática e a aplicação em mais pesquisas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Os municípios Tucuruí e Goianésia do Pará integram, com os municípios de Breu Branco, Novo Repartimento, Pacajá e Baião, a região imediata de Tucuruí conforme a nova atualização regional do Brasil realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2017 (Figura 1). Tucuruí e Goianésia do Pará apresentam uma população estimada em 91.306 habitantes e 26.362 habitantes, respectivamente, e ambas somam um território de 9.108,235 km² (IBGE, 2023) e estão situados no sudeste do estado do Pará.

Figura 1 – Tucuruí e Goianésia do Pará (PA): Geolocalização, 2025.



Fonte: Os autores, 2025.

A região imediata de Tucuruí é conhecida por sediar a construção e operação da Usina Hidroelétrica da empresa Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A – Eletronorte, obra que provocou inúmeros impactos socioambientais e econômicos na região. Situada na Amazônia, a área apresenta dois períodos sazonais bem definidos: a estação chuvosa, compreendendo os meses de dezembro até maio, e a estação menos chuvosa, de junho a novembro (Lopes *et al.*, 2020; Jesus *et al.*, 2021).

Metodologia

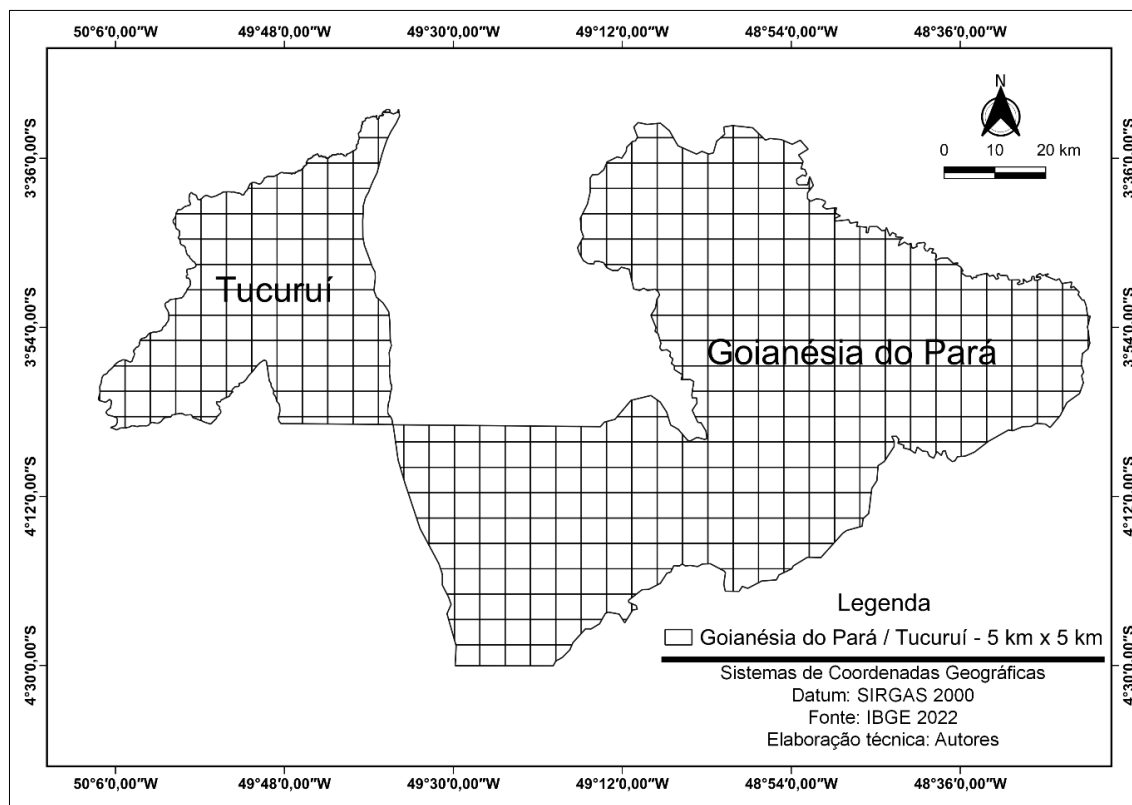
A metodologia aplicada utiliza dados de geotecnologias por meio de satélite, para estimar valores de precipitação (chuva). A fonte dos dados foi a Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), uma técnica de sensoriamento remoto desenvolvida pelo Earth Resources Observation and Science (EROS) da United States Geological Survey (USGS), que fornece dados atualizados de precipitação a nível global por meio das observações de satélite e de dados das estações pluviométricas para validação dos dados. Essas informações são refinadas, atuais e confiáveis, além disso, abrangem a variação das chuvas no espaço-tempo desde janeiro de 1981 até os dias atuais (Segura *et al.*, 2020).

A análise foi baseada em séries temporais de dados diários de precipitação extraídos do produto CHIRPS, que combina informações de satélites e estações meteorológicas, com resolução de 0,05° (cerca de 5 km), sob os formatos Esri Bil, GeoTiff e NetCDF (Figura 2). O processamento e extração de dados foram realizados na plataforma Google Earth Engine, com posterior organização em planilhas para elaboração de gráficos. As séries temporais de precipitação foram analisadas pela climatologia mensal e anual utilizando a série temporal de precipitação de janeiro de 1981 a dezembro de 2023, compreendendo um período de 43 anos.

Para obtenção da variabilidade da chuva em escala anual, foram analisados os anos de extremos de clima, condicionados pelo fenômeno de interação oceano atmosfera (ENOS) em sua fase fria – La Niña e fase quente – El Niño, mensurados por dados de anomalia da temperatura superficial do Mar (TSM). Os dados de TSM foram retirados do site da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e corroborados com as classificações de ENOS, disponíveis no site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

A espacialização dos dados foi conduzida no software QGIS, permitindo representar visualmente a distribuição pluviométrica nos anos modulados pela ocorrência das fases positivas e/ou negativas do ENOS.

Figura 2 – Municípios de Tucuruí e Goianésia do Pará (PA): Mapas de grade espacial do CHIRPS, 2025.



Fonte: Os autores, 2025

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa apresentou, de forma pioneira, a climatologia mensal e acumulados mensais e anuais da precipitação pluviométrica (chuva) para o município de Tucuruí e Goianésia do Pará por meio do sensoriamento remoto para o período de estudo de 43 anos.

Escala mensal

A Figura 3 apresenta a climatologia mensal da precipitação, em milímetros, ao longo dos anos, evidenciando dois períodos bem definidos: o chuvoso e o menos chuvoso. Nos municípios de Tucuruí e Goianésia do Pará (Figura 3), o período chuvoso ocorre entre os meses de dezembro e maio, enquanto o período com menores índices pluviométricos se estende de junho a novembro.

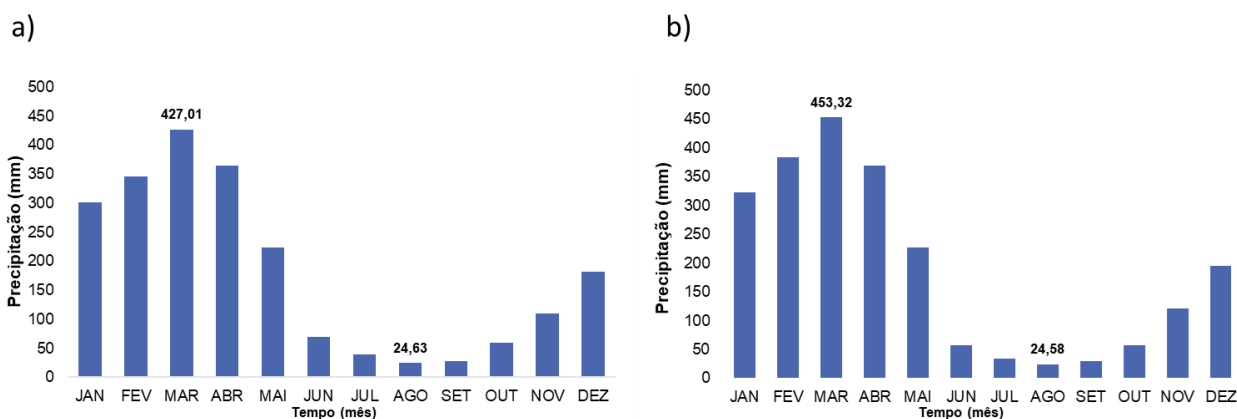
Podemos observar ainda na Figura 3a que há uma transição gradual do período menos chuvoso para o chuvoso com o mês de novembro, já a transição inversa ocorre de forma mais acentuada com o mês de maio. A análise mensal evidenciou março como o mês de maior índice pluviométrico médio com 427,01 mm e desvio padrão de 77,10 mm, enquanto agosto registrou os menores valores com 24,63 mm e desvio padrão de 11,89 mm. Tal padrão é

característico da região Norte, cuja sazonalidade é fortemente influenciada pela posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que intensifica as chuvas entre o verão e o início do outono (Dias et al., 2021; Ribeiro et al., 2023).

Para o município de Goianésia do Pará, a Figura 3b apresenta os acumulados médios da precipitação mensal, evidenciando dois períodos sazonais distintos e bem definidos, característicos da região amazônica. Esses períodos são provocados pela atuação dos principais sistemas precipitantes que ocorrem no período chuvoso e interagem diretamente na promoção da chuva local.

O mês de março apresentou média de 453,32 mm e desvio padrão de 85,56 mm, configurando-se como o mês de maior volume pluviométrico, dentro da estação chuvosa (dezembro a maio). Em contraste, o mês de agosto registrou média de apenas 24,58 mm com desvio padrão de 11,60 mm, sendo o mês com os menores índices de precipitação dentro do período menos chuvoso (junho a novembro). Esses resultados corroboram os dados climatológicos apresentados por Jesus et al. (2021), que apontam março e agosto como os meses mais e menos chuvosos da série histórica, respectivamente.

Figura 3 – Tucuruí e Goianésia do Pará (PA): Climatologia, respectivamente.



Fonte: Os autores, 2025.

O acompanhamento e a análise da precipitação mensal são de grande importância, especialmente no que se refere ao desenvolvimento socioeconômico e socioambiental (Bento et al., 2024). Nos meses de dezembro a maio, que correspondem ao período chuvoso, tanto a agricultura como a pecuária são amplamente favorecidas, pois a maior disponibilidade de água favorece o desenvolvimento de culturas e o crescimento de pastagens, garantindo alimentos suficientes e de boa qualidade (Silva et al., 2009; Jesus et al., 2021). Na piscicultura, a disponibilidade de água no período chuvoso, aumenta o nível de água e a oxigenação nos

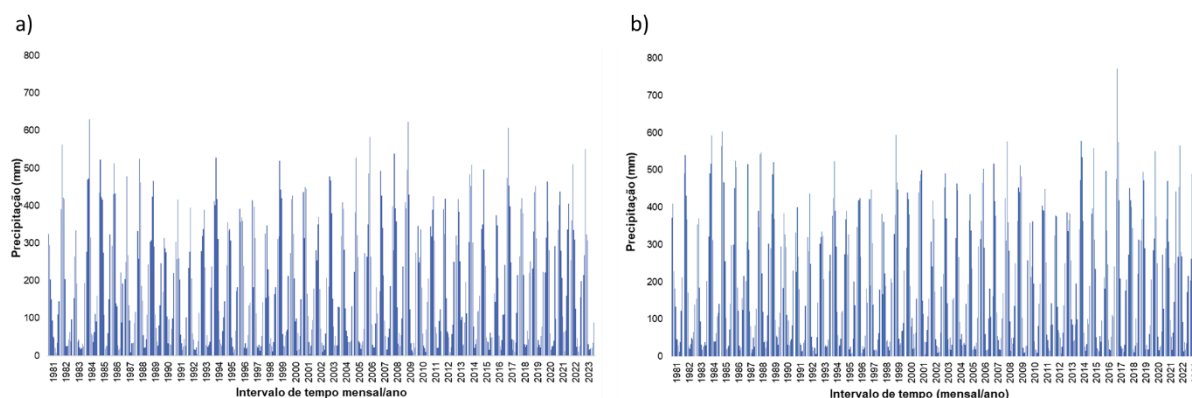
reservatórios, mananciais e aquíferos, favorecendo o crescimento saudável dos peixes, especialmente as espécies sensíveis aos baixos níveis de água, como o Tambaqui, principal espécie aquícola produzida no Pará (IBGE, 2023). Desse modo, a abundância de água durante o período chuvoso garante condições ideais para a continuidade das atividades produtivas.

Escala mês-ano

A Figura 4 mostra o acumulado mensal de precipitação durante o período de 1981 a 2023, revelando um padrão cíclico entre períodos chuvosos e menos chuvosos. Essa variação está ligada, principalmente, à influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), uma faixa de nuvens que se estende ao longo da região equatorial e atua com maior intensidade entre os meses de março e abril. Nessa época, a ZCIT se desloca mais ao sul, favorecendo o aumento das chuvas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, especialmente no final do verão e início do outono, quando as temperaturas são mais elevadas. Também são perceptíveis oscilações interanuais na precipitação sazonal, causadas principalmente pelos fenômenos El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e pelo Dipolo do Atlântico (Dias *et al.*, 2021).

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um importante sistema meteorológico responsável pela formação de um corredor de nuvens que atravessa o Brasil de forma transversal, desde o Sul da região Amazônica até o Oceano Atlântico, principalmente entre os meses de novembro a fevereiro. Sua atuação está associada a eventos de chuva de mesoescala, cuja intensidade e localização são influenciadas por fenômenos climáticos como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que afetam diretamente a variabilidade do regime de chuvas e o volume de precipitação acumulada no território brasileiro (Sousa *et al.*, 2015; CPTEC, 2024).

Figura 4 – Tucuruí e Goianésia do Pará (PA): Acumulados anuais e mensais de precipitação de respectivamente



Fonte: Os autores, 2025.

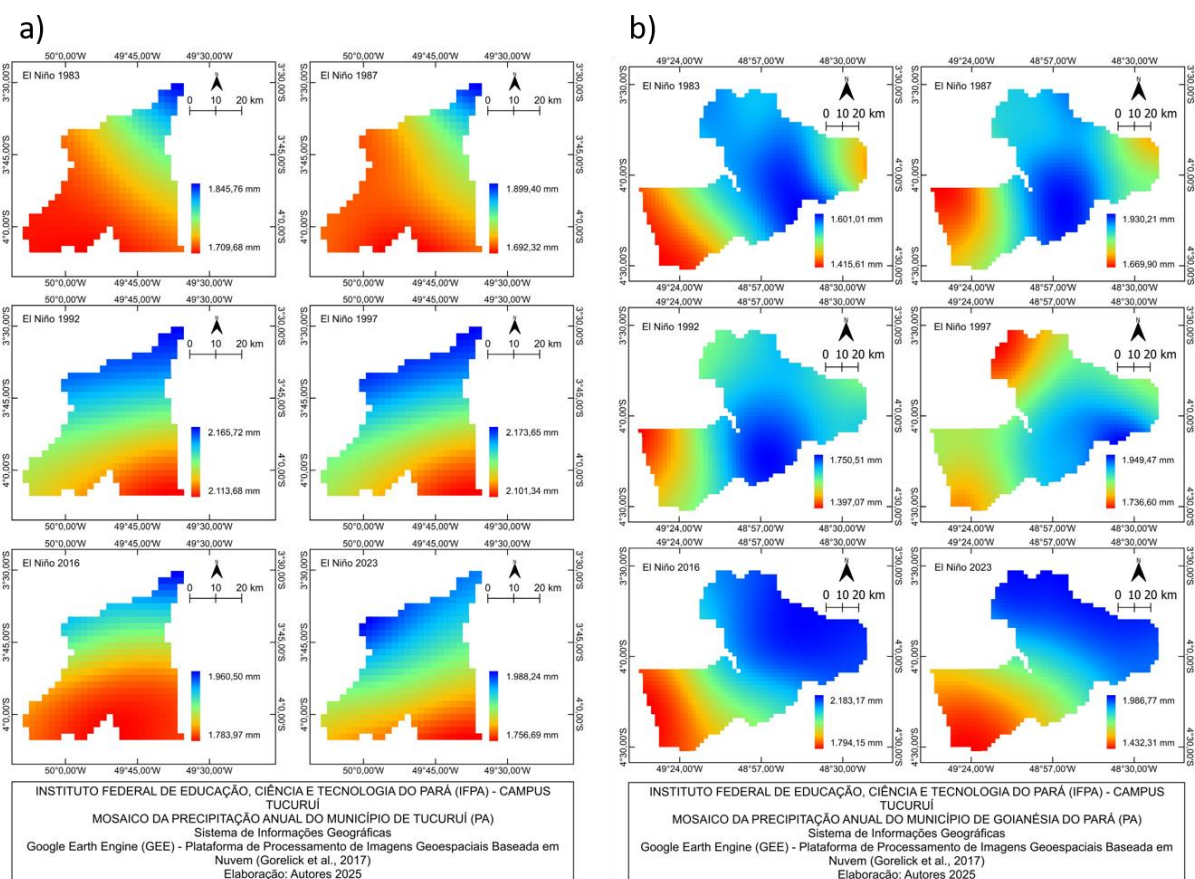
Esses resultados se alinham às observações apontadas por Pörtner *et al.*, (2022) Sousa *et al.*, (2015), que indicam que as mudanças climáticas, intensificadas pelas emissões de gases de efeito estufa, têm provocado alterações significativas nos padrões climáticos do planeta, como a temperatura e precipitação, especialmente em regiões sensíveis como a Amazônia. A intensificação do mecanismo oceano-atmosférico ENOS, tem agravado os impactos climáticos. Na fase El Niño na Amazônia, observa-se nos últimos anos a redução das chuvas, a intensificação de ondas de calor, secas prolongadas e incêndios florestais, em contrapartida, na fase La Niña, há aumento das chuvas e ocorrência de desastres ambientais. Tais fenômenos afetam de forma direta as atividades econômicas, especialmente a agropecuária e a pesca, além de agravar a vulnerabilidade socioambiental das populações locais.

Variabilidade espaço temporal

Durante os 43 anos analisados, observou-se a variação temporal da precipitação com foco na atuação dos principais sistemas meteorológicos e nos mecanismos oceano-atmosfera que influenciam as chuvas na região. Entre os fatores avaliados, destaca-se o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). O El Niño corresponde ao aquecimento anômalo das águas do oceano Pacífico Equatorial, enquanto o La Niña está relacionado ao seu resfriamento.

Essas alterações térmicas impactam diretamente a célula de Walker, modificando os padrões de circulação atmosférica e, conseqüentemente, os regimes de chuva. Em geral, anos de El Niño tendem a apresentar precipitações abaixo da média, enquanto os de La Niña registram volumes acima do normal (Reboita; Santos, 2015).

Figura 5 – Tucuruí e Goianésia do Pará (PA): Mapas da variabilidade anual da chuva e classificação de ENOS (EN – El Niño), respectivamente.



Fonte: Os autores, 2025.

Na Figura 5 vemos a variabilidade espacial da chuva no município de Tucuruí e Goianésia do Pará para os anos de El Niño de maior destaque, 1983, 1987, 1992, 1997, 2016, e 2023. Na figura 5a, referente ao município de Tucuruí observamos que a região que menos recebeu chuva foi a porção sul, com 1.692,32 mm no ano de 1987 sendo o de menor acumulado. Nos anos de 1983 e 1987, os menores acumulados de precipitação ocorreram na região sudoeste. Nos demais anos analisados, os menores volumes foram registrados na região sudeste.

É interessante notar que os anos de 1983 e 1987 se apresentam de forma muito semelhante em relação ao outro, tanto em quantitativo como em distribuição, do mesmo modo que os anos de 1992 e 1997. Também os anos 1992 e 1997 apresentaram a variabilidade espacial de forma homogênea variando apenas 52,04 e 72,31 mm respectivamente.

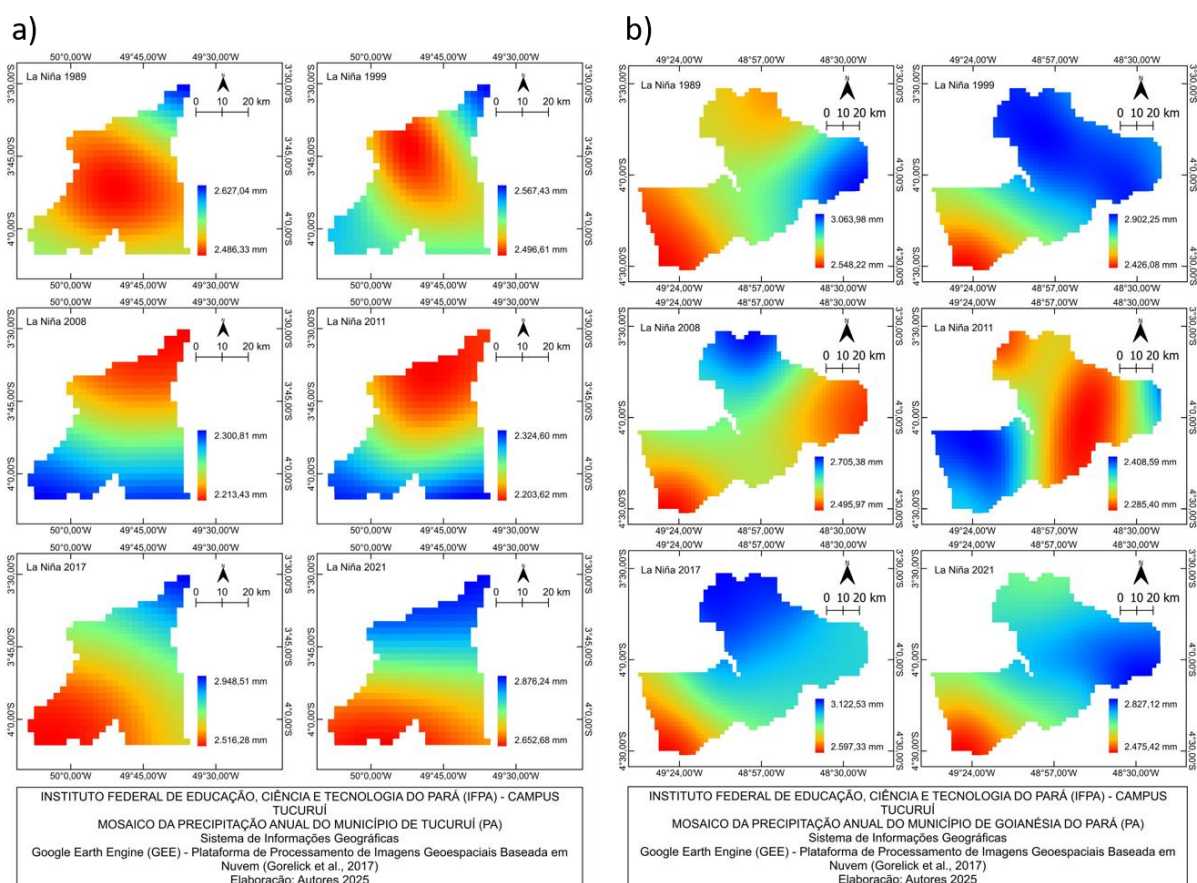
Destaca-se que, entre os anos analisados, 1983 apresentou o menor acumulado de precipitação, totalizando 1.845,76 mm. Além disso, foi o ano com a menor variabilidade espacial, registrando uma diferença máxima de apenas 136,08 mm entre as distintas regiões do município.

Na Figura 5b, que representa o município de Goianésia do Pará, observa-se que a região com menores acumulados, foi a região do oeste, chegando a 1.397,07 mm no ano de 1992.

As regiões de extremo leste e de extremo norte foram as que sofreram variações ao longo dos anos analisados. Destacam-se os anos de 1983 e 1987, que apresentaram uma distribuição de chuvas semelhante, padrão também observado em 2016 e 2023. É importante destacar que, entre os anos analisados, 1983 apresentou o menor acumulado de precipitação com 1.601,01 mm, sendo o ano de menor variabilidade espacial, com uma diferença máxima de apenas 185 mm entre as regiões do município.

Em comparação com o município de Tucuruí, Goianésia do Pará apresenta uma maior variabilidade espacial da precipitação, o que pode ser atribuído à sua maior extensão territorial. Essa característica se evidencia, principalmente, no ano de 2023, quando a variabilidade atingiu 554,46 mm, configurando-se em uma clara divisão do território em duas zonas bem definidas: uma com maiores volumes de precipitação e outra com menores, separadas por uma faixa de transição localizada na região central do município.

Figura 6 - Tucuruí e Goianésia do Pará (PA): Mapas da variabilidade anual da chuva e classificação de ENOS (LN – La Niña), respectivamente.



Fonte: Os autores, 2025.

Na Figura 6 vemos a variabilidade espacial da chuva no município de Tucuruí e Goianésia do Pará para os anos de La Niña de maior destaque, 1989, 1999, 2008, 2011,

2017 e 2021. Na figura 6a vemos que dentre os anos analisados, Tucuçu apresentou acumulado máximo de chuva de até 2.948,51 mm no ano de 2017, evidenciando um ano de maior variabilidade espacial, com 432,23 mm. Nota-se também na Figura 6a que os anos de 2008 e 2011 foram muito semelhantes em quantitativo e distribuição espacial.

Para a Figura 6b, o município de Goianésia do Pará ao comparar os anos de La Niña se assemelha ao município de Tucuçu ao apresentar os anos de forma heterogênea entre si e heterogêneo de forma individual, porém com uma maior variabilidade espacial que chegou ao máximo de 525, 20 mm no ano de 2017. É importante destacar que, entre os anos analisados, 2017 apresentou o maior acumulado de chuva com 3.122,53 mm, evidenciando um ano de elevado volume de precipitação no município.

Comparando os mapas de El Niño e de La Niña podemos afirmar que os dois apresentaram grandes diferenças, além do quantitativo de chuva, que é o padrão. Para os anos de El Niño estes se apresentaram mais homogêneos, com baixa variabilidade e com regiões de maior e menor acumulados definidos, o que já não se observa nos anos de La Niña.

Diante dessa variabilidade climática e da intensificação de eventos extremos associados às mudanças no comportamento atmosférico, torna-se urgente adotar medidas que contribuam tanto para a mitigação quanto para a adaptação às mudanças climáticas. A compreensão de sistemas como a ZCAS e sua relação com fenômenos globais como o ENOS é fundamental para implementar estratégias de adaptação. Isso inclui o fortalecimento da educação e da conscientização ambiental, promovendo práticas sustentáveis e a implementação de tecnologias de monitoramento e controle das emissões de poluentes, tanto às fontes móveis, como as fixas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados fornecidos pelo CHIRPS demonstrou de maneira satisfatória a variação temporal da precipitação para os municípios de Tucuçu e Goianésia do Pará com valores mais representativos e em melhor escala.

A climatologia apresentada por dados de sensoriamento remoto está conforme esperada para a região, elucidando a sazonalidade local das chuvas com dois períodos distintos bem delimitados. Os dados obtidos e analisados fornecem informações sobre a variabilidade da chuva em Tucuçu e Goianésia do Pará, além de apresentar alternativas de mitigação e adaptação as mudanças climáticas.

O fenômeno ENOS tem um impacto significativo na variabilidade climática das chuvas na região Amazônica, durante o El Niño a precipitação tende a diminuir, enquanto durante a La Niña o oposto.

Os achados deste estudo contribuem para uma compreensão mais aprofundada da sazonalidade e dos extremos pluviométricos nos municípios de Tucuruí e Goianésia do Pará. As análises revelam a forte influência de eventos climáticos globais sobre a precipitação regional, destacando a utilidade das geotecnologias para diagnóstico climático em áreas de baixa densidade de estações meteorológicas. Tais informações são cruciais para orientar ações em planejamento urbano, agricultura e gestão de recursos hídricos, podendo também ser utilizado como base para estudos futuros e isto abre espaço para aplicação em outras pesquisas científicas.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Pesquisa Científica, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBICTI) do IFPA – Campus Tucuruí, e a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA), pelo apoio financeiro durante o desenvolvimento deste projeto, agradecemos também a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 34, p. 53-66, 2020. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.005>

BENTO, J. A. N.; et al. Impacto das mudanças climáticas sobre o nível de renda na América Latina. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 2, p. e268031, 2024. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.268031>

CHIRPS - Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station. Disponível em: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps3>

CORDEIRO, A. L. M.; BLANCO, C. J. C. Assessment of satellite products for filling rainfall data gaps in the Amazon region. **Natural Resource Modeling**, v.34, n.2, p.12298, 2021. <https://doi.org/10.1111/nrm.12298>

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Ocorrência de ENOS**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br>. Acesso em: 20 jun. 2025.

DIAS, G. F. M.; et al. ASSOCIAÇÃO ENTRE OS EVENTOS DE ENOS E A DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIM (MA-PA). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2021. <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.59320>

GOMES, F. B. R.; et al. ESTUDO DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL E TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 365–390, 2021. <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14571>

HOFFMANN, E. L.; et al. Variabilidade das chuvas no Sudeste da Amazônia paraense, Brasil (Rainfall variability in southeastern Amazonia, Paraense, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1251-1263, 2018. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1251-1263>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Tucuuruí**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/tucuruui.html>. Acesso em: 20 jun. 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Goianésia do Pará**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/goianesia-do-para.html>. Acesso em: 20 jun. 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Goianésia do Pará - História & Fotos**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/goianesia-do-para/historico>. Acesso em: 20 de jun. 2025.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **O que é Zona de Convergência Intertropical? Entenda agora!**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/zona-de-convergencia-intertropical-zcit>. Acesso em: 20 jun. 2025.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **O que é Zona de Convergência do Atlântico Sul? Entenda agora!**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/0noticias/zona-de-convergencia-do-atlantico-sul-zcas>. Acesso em: 20 jun. 2025.

IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

JESUS, E. S.; et al. Climatologia, Tendência e Mudanças Climáticas nas Chuvas em Diferentes Municípios do Sudeste do Pará. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET)**, 2021. Campina Grande. Anais [...]. Campina Grande, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/357092232>. Acesso em: 20 de jun. 2025.

LOPES, L. N. A.; et al. Analysis of the variability of precipitation in front of land use changes in the municipality of Tucuuruí-PA. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, pág. e186932726-e186932726, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2726>

MU, Y.; BIGGS, T.; SHEN, S. S. 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**, v. 261, p. 105741, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105741>

NOA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **Cold & Warm Episodes by Season**. Climate Prediction Center. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 20 jun. 2025.

Pörtner, H.-O.; et al. 2022: **Technical Summary**. [Pörtner, H.-O.; et al. (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Pörtner, H.-

O.; et al. (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 37–118. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.002>

REBOITA, M. S.; SANTOS, I. de A. INFLUÊNCIA DE ALGUNS PADRÕES DE TELECONEXÃO NA PRECIPITAÇÃO NO NORTE E NORDESTE DO BRASIL. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, p. 28-48, 2015. <https://doi.org/10.5380/abclima.v15i0.37686>

Ribeiro, R. M. R.; Vitorino, M. I.; Moura, M. N. VARIABILIDADE SAZONAL DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL E SUA INFLUÊNCIA SOBRE O NORTE DA AMÉRICA DO SUL. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 16(5), p. 2798–2810. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2798-2810>

SANTOS, M. R. S. O clima e a vulnerabilidade socioambiental: interações na região costeira da Amazônia. Orientadora: Maria Isabel Vitorino. 2021. **Tese** (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/15864>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SANTOS, M. R. S.; et al. ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA CHUVA, NA MESORREGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM-PARÁ: CONTRIBUIÇÕES DA TÉCNICA DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 62, p. 49–58, 2017. <https://doi.org/10.14393/RCG>

SEGURA, H.; et al. Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical Andes/western Amazon. **Climate Dynamics**, v.54, p. 2613–2631, 2020. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-020-05132-6>

SILVA, L. L.; et al. Influência das precipitações na produtividade agrícola no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 454-461, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400013>

SOUSA, A. M. L.; et al. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.01, p. 015-029, 2015. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.1.p013-024>

TOMLINSON, C. J.; et al. Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: a review. **Meteorological Applications**, v.18, n. 3, p. 296-306, 2011. <https://doi.org/10.1002/met.287>

ZAMBRANO-BIGIARINI, M.; et al. Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile (supplementary material). **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, n. 2, p. 1295-1320, 2017. <https://doi.org/10.5281/zenodo.251069>

VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DA CHUVA NO MUNICÍPIO DE PACAJÁ/PARÁ

Rodolfo Altair Bulcão

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil
rodolfoaltair95@gmail.com

Devanilda Ranieri Martins da Fonseca

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil
devanilda.fonseca@ifpa.edu.br

Marcos Samuel Matias Ribeiro

Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará, Paragominas, PA, Brasil
marcos.matias@ufra.edu.br

Midson Cesar Feitosa Cardoso

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil
midson.cardoso@ifpa.edu.br

RESUMO

O estudo da variabilidade da precipitação, em associação às mudanças climáticas, constitui uma temática de grande relevância na comunidade científica internacional, uma vez que, tais mudanças alteram os padrões pluviométricos e impactam diretamente as sociedades humanas. Neste contexto, o estudo tem como objetivo examinar a variabilidade espaço-temporal da chuva no município de Pacajá, localizado no estado do Pará, utilizando dados de sensoriamento remoto. Avaliando os padrões de chuva em anos caracterizados pela ocorrência de extremos climáticos, e os sistemas precipitantes atuantes na região. A metodologia é baseada na utilização dos dados de reanálise do produto Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), com estimativas de alta resolução espacial (5 km) e temporal (24 h). A variabilidade da chuva é representada pela climatologia anual e mensal, relacionada aos sistemas e mecanismos oceânico-atmosféricos que favorecem a precipitação local. Em Pacajá, o mês de setembro apresenta a menor média de chuva (35 mm), e março o maior acumulado (423 mm). A análise da distribuição espacial da precipitação nos anos de El Niño (1983, 1987, 1992, 1997, 2015) e La Niña (1989, 2000, 2008, 2011, 2018) apresenta variações significativas nos volumes observados. Os resultados obtidos subsidiarão o planejamento e a gestão socioambiental regional, contribuindo para estudos de modelagem e aplicação em outras áreas de maneira

interdisciplinar.

Palavras-chave: Clima, Geotecnologia, Chuva, Regiões, Amazônia.

SPATIOTEMPORAL VARIABILITY OF RAINFALL IN THE MUNICIPALITY OF PACAJÁ/PARÁ

ABSTRACT

The study of precipitation variability, in association with climate change, is a topic of great relevance in the international scientific community, since such changes alter rainfall patterns and directly impact human societies. In this context, the study aims to examine the spatiotemporal variability of rainfall in the municipality of Pacajá, located in the state of Pará, using remote sensing data. Evaluating rainfall patterns in years characterized by the occurrence of climate extremes, and the precipitating systems acting in the region. The methodology is based on the use of reanalysis data from the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) product, with estimates of high spatial (5 km) and temporal (24 h) resolution. Rainfall variability is represented by annual and monthly climatology, related to oceanic-atmospheric systems and mechanisms that favor local precipitation. In Pacajá, September has the lowest average rainfall (35 mm), and March the highest accumulated rainfall (423 mm). The analysis of the spatial distribution of precipitation in the years of El Niño (1983, 1987, 1992, 1997, 2015) and La Niña (1989, 2000, 2008, 2011, 2018) shows significant variations in the observed volumes. The results obtained will support regional socio-environmental planning and management, contributing to modeling studies and application in other areas in an interdisciplinary manner.

Keywords: Climate, Geotechnology, Rain, Regions, Amazonia

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os estudos científicos relacionados à variabilidade da precipitação e à adaptação às mudanças climáticas vêm ganhando destaque, devido à frequência crescente de eventos extremos que impactam diretamente as sociedades humanas. Nesse cenário, torna-se fundamental compreender os fatores que modulam a distribuição das chuvas, especialmente em regiões sensíveis como a Amazônia brasileira. (Tibúrcio, Corrêa, 2012; Santo, Vitorino, Pereira *et al.*, 2019). Neste contexto, as alterações climáticas associadas a distribuição espaço-temporal das chuvas ganham grande visibilidade, pois trazem profundas implicações sociais, econômicas, políticas e ambientais.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2012), as alterações no clima global tendem a intensificar os extremos climáticos, o que pode resultar em desastres naturais como secas prolongadas, enchentes e ondas de calor, afetando diretamente a vida das populações. A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais estudadas na região, devido à sua relação direta com outras características atmosféricas, como a temperatura e a umidade (Moraes et al., 2005; Albuquerque et al., 2010). Pesquisas sobre a variabilidade espaço-temporal da chuva na região sudeste do estado do Pará, são reduzidas principalmente quando os estudos são baseados em dados de geotecnologias e analisados em distintas escalas de tempo (Santos *et al.*, 2017).

Atualmente os estudos sobre precipitação estão fundamentados em dados de superfície, evidenciando que a representação da variabilidade espaço-temporal das chuvas pode estar limitada aos dados pontuais, que servem de entrada para modelos climáticos e hidrológicos, e são geralmente obtidos por meio de interpolação da precipitação medida por estações meteorológicas (Amanajás, Braga, 2012). O clima na região amazônica é caracterizado pela presença de um vasto espectro de variações espaço-temporais na atividade convectiva, com altos índices pluviométricos, principalmente durante o verão e outono austral (Paccini et al., 2023).

O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), pode ser classificado de acordo com a anomalia de Temperatura do Mar (aTSM) em que o El Niño se caracteriza às condições em que o oceano Pacífico Equatorial é mais quente, enquanto a La Niña indica temperaturas mais frias do que a média histórica. Suas influências nos totais de cobertura de chuva são provocadas pela alteração da célula de Walker, que é consequência do ENOS, em que há a tendência de acumulados abaixo da média em anos de El Niño e acima para La Niña (Reboita e Santos, 2014). Neste cenário, justifica-se a importância e relevância desta pesquisa em utilizar pela primeira vez dados de reanálise de sensoriamento remoto para verificar os impactos das mudanças do clima na variabilidade de chuvas nos municípios de Pacajá-PA.

MATERIAIS E MÉTODOS

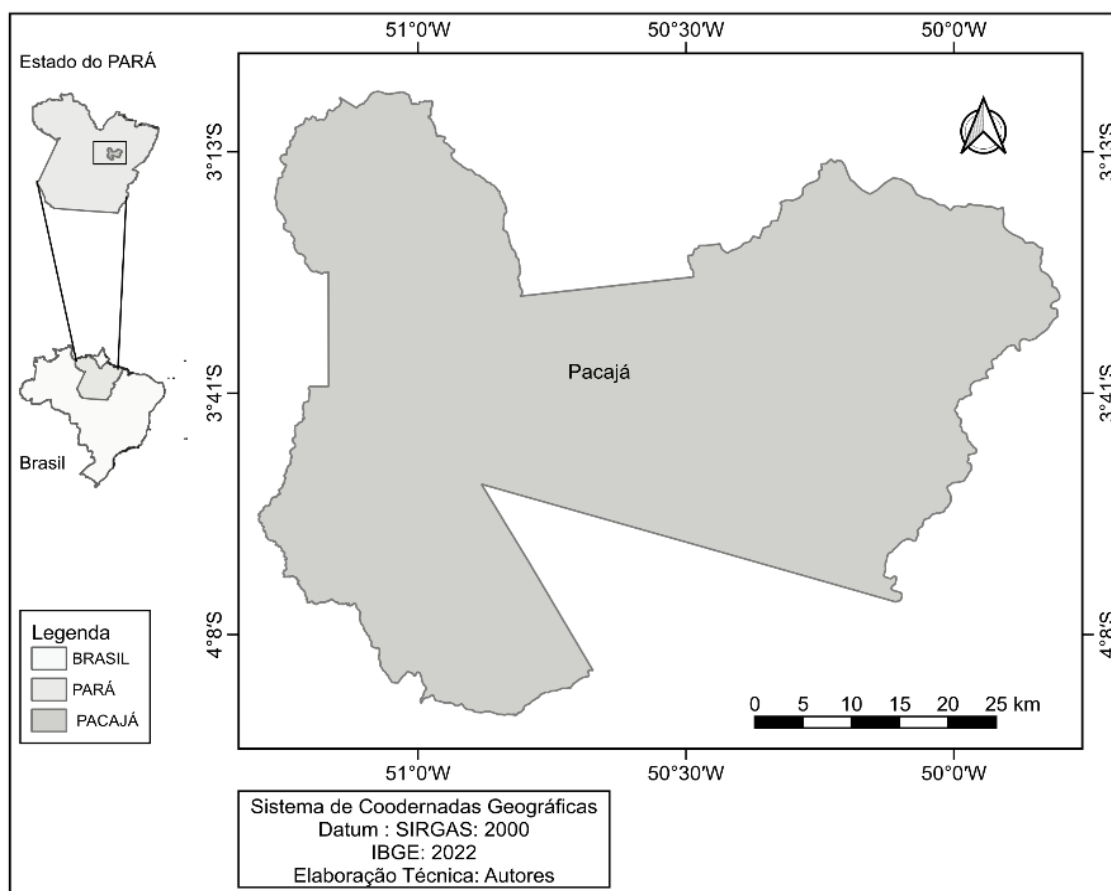
Área de estudo

O município de Pacajá, situado na mesorregião sudoeste paraense e microrregião de Altamira (PA) possui extensão territorial de aproximadamente 11.832 km². Segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), sua população é de cerca de 43.600 habitantes, o que resulta em densidade demográfica de

aproximadamente 3,7 hab./km². A sede municipal encontra-se a 105 m de altitude e o clima é classificado como tropical úmido (Aw), com temperaturas médias variando entre 21 °C e 30 °C ao longo do ano. O município faz limites ao Norte com Portel-PA, ao Leste com Tucuruí-PA e Baião-PA, ao Sul com Novo Repartimento-PA e ao Oeste com Anapu-PA. Pacajá é uma importante área de conexão pela Rodovia Transamazônica (BR-230), (IBGE 2024).

A história do município está diretamente ligada à construção da Rodovia Transamazônica, iniciada na década de 1970. A base econômica de Pacajá é fortemente sustentada pela agropecuária. De acordo com dados do IBGE (2023), a bovinocultura de corte responde por cerca de 50 % do Produto Interno Bruto local, com rebanho estimado em 573.000 cabeças de gado em 2019. Ainda segundo o mesmo relatório, a produção agropecuária municipal representa aproximadamente R\$ 868 milhões em valor adicionado, sendo complementada por atividades de leite e pequenos cultivos familiares (IBGE, 2023). A agricultura familiar também é significativa, destacando-se a comercialização local em feiras municipais, fomentada por programas de apoio rural e assistência técnica.

Figura 1 – Mapa Localização do Município de Pacajá-PA.

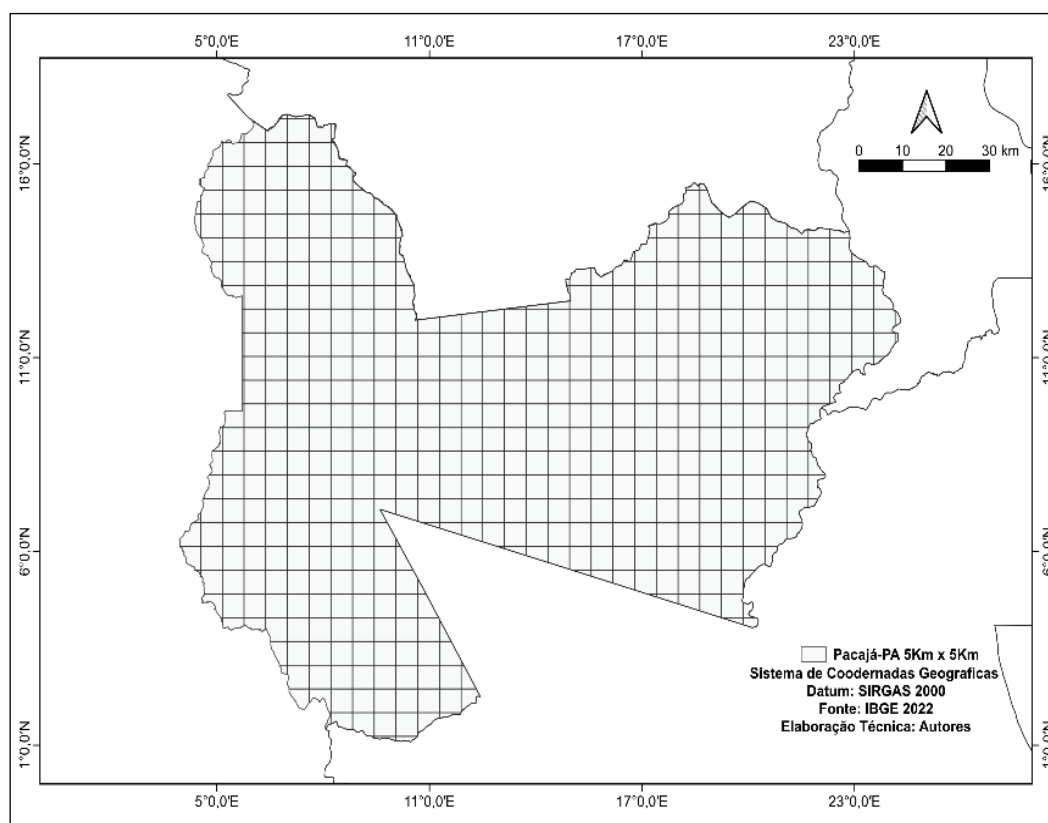


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Metodologia

A metodologia aplicada utiliza dados de geotecnologias por meio de satélite, para estimar valores de precipitação (chuva). A fonte dos dados foi a Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), técnica de sensoriamento remoto desenvolvida pelo Earth Resources Observation and Science (EROS) da United States Geological Survey (USGS), que fornece dados atualizados de precipitação a nível global por meio de observações de satélite e validados através das informações coletadas de estações pluviométricas para validação dos dados. Essas informações são refinadas, atuais e confiáveis, além disto, abrangem a variação das chuvas no espaço-tempo desde janeiro de 1981 até os dias atuais (Segura *et al.*, 2020).

Figura 2 – Mapa da grade espacial do CHIRPS (5Km x 5Km) do município de Pacajá-PA, 2025.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Os dados utilizados possuem resolução espacial de 5 km x 5 km e resolução temporal diária (Figura 2), abrangendo o período de janeiro de 1981 a dezembro de 2023, totalizando uma série temporal de 43 anos (Figura 2). As informações de precipitação foram obtidas a partir das bases da NOAA (2021) e do CPTEC (2021). O processamento e a modelagem dos dados foram realizados na plataforma Google Earth Engine, utilizando a linguagem de

programação JavaScript. Posteriormente, os arquivos foram exportados em formato CSV para a elaboração dos gráficos mensais e anuais.

A fonte dos dados foram a Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), que é uma técnica de sensoriamento remoto desenvolvida pelo Earth Resources Observation and Science (EROS) da United States Geological Survey (USGS), que oferece dados globais de precipitação a partir de observações de satélite e validados com os dados de estações pluviométricas.

O CHIRPS é um conjunto de dados de precipitação, com abrangência quase global (50°S-50°N e todas as longitudes), desenvolvido em colaboração com o USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, com o intuito de fornecer informações completas (ininterruptas e atualizadas) e confiáveis de dados de precipitação. Esse dataset está disponível em formato matricial (.tif, .bil e .netcdf), com resolução espacial de 0,05°, formando uma série histórica atualizada, com registro diário (mm dia⁻¹), desde 1981.

Métodos e dados

Para identificar os anos de ocorrência dos eventos relacionados ao fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) utilizou-se as informações provenientes do Índice Oceânico Niño (Oceanic Niño Index – ONI) utilizando dados da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) disponibilizados no site: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>. A classificação ONI considera um ano de ENOS os casos em que a média móvel trimestral da anomalia de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) para a região localizada na faixa central do Pacífico Equatorial conhecida como Niño 3.4, seja superior a 0,5°C para eventos de El Niño e inferiores a -0,5°C para eventos de La Niña, por no mínimo, cinco períodos de três meses consecutivos (NOAA, 2024).

Detalhes da metodologia e implementação desse dataset podem ser encontrados em Funk et al. (2015), em síntese, os autores combinaram observações de precipitação de estações terrestres (série histórica diária e mensal) com satélites de medição de precipitação, seguido de análises de similaridade e interpolação de dados. A plataforma Google Earth Engine (GEE) oferece acesso, manipulação e análise em tempo real de grandes volumes de dados geoespaciais.

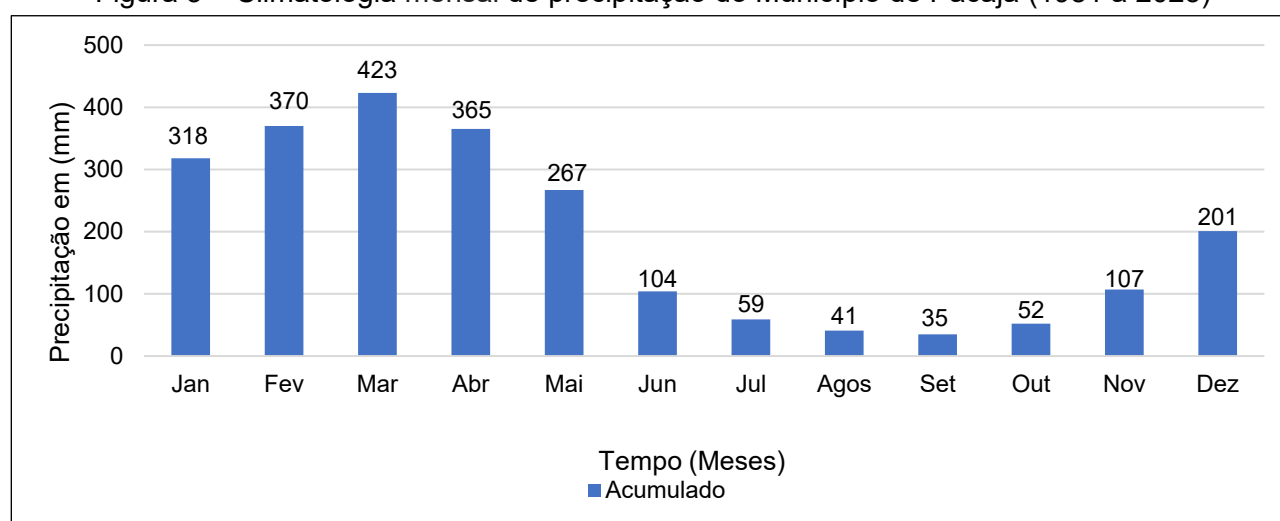
Seu extenso catálogo público reúne petabytes de imagens de satélite provenientes de diversos sensores, com atualizações diárias que tornam o acervo ainda mais abrangente. Gratuito e amplamente acessível, o GEE tem se destacado pela interface amigável voltada a profissionais da área de geotecnologia, o que explica seu crescente uso na comunidade de sensoriamento remoto. Nos últimos anos, a plataforma tem contribuído

significativamente para pesquisas em geociências em diferentes escalas — local, regional e global (Ghosh; Kumar; Kumari, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a figura 3, no município de Pacajá (PA) o mês de setembro apresenta a menor média de precipitação (35 mm), enquanto março registra a maior (423 mm), evidenciando um clima estacional, com estação chuvosa de novembro a maio e uma menos chuvosa entre julho e outubro. No sudoeste paraense, cerca de 90 % da precipitação anual ocorre entre novembro e maio, destacando-se fevereiro e março, com índices superiores a 320 mm (Albuquerque et al., 2010; INMET, 2020). Esse comportamento está de acordo com o que afirmam Moraes et al. (2005), que identificaram no estado do Pará, uma estação chuvosa predominante entre dezembro e maio, com estação seca de junho a novembro. Assim, os dados observados em Pacajá seguem o padrão climático regional, marcado por forte sazonalidade das chuvas (Figura 3).

Figura 3 – Climatologia mensal de precipitação do Município de Pacajá (1981 a 2023)



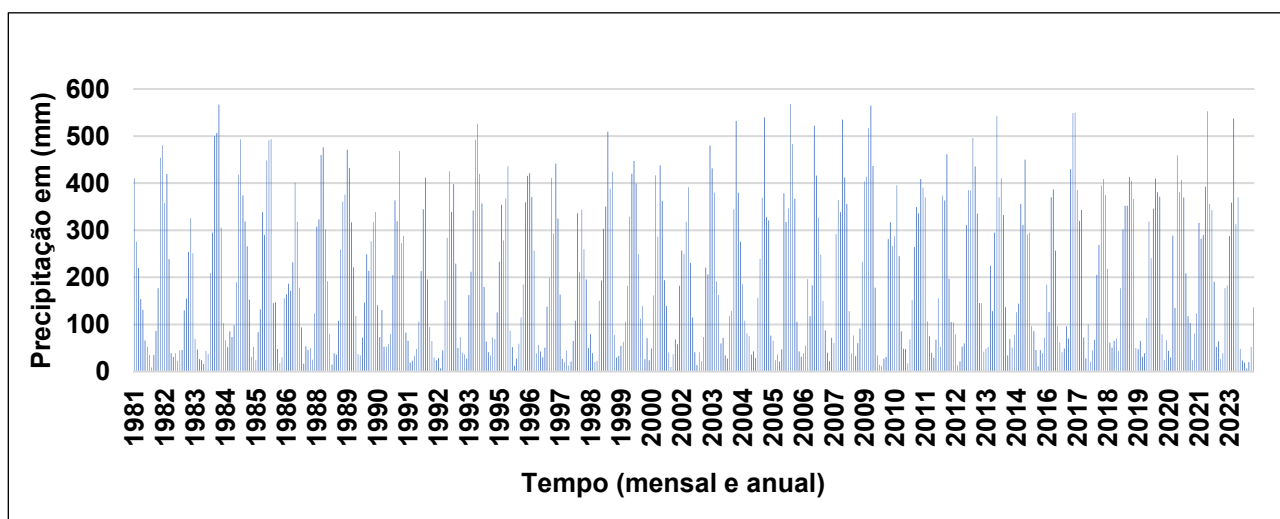
Fonte: Elaborado pelo autor (CHIRPS 2025)

A figura 4 exibe a precipitação acumulada mensal no município de Pacajá/PA ao longo de um período de 43 anos, de 1981 a 2023. Ela revela informações importantes sobre o comportamento do regime de chuvas na região, permitindo uma análise descritiva detalhada. A precipitação acumulada apresenta variações expresivas entre meses e anos, evidenciando um padrão sazonal bem definido, característico do clima tropical úmido da Amazônia.

É possível observar picos de precipitação que frequentemente ultrapassam 500 mm, indicando períodos de chuvas intensas, que seguem um ciclo anual, demonstrando a

influência das estações climáticas da região. Além disso, observa-se meses com precipitação inferior a 30 mm, sinalizando períodos de estiagem. Esses períodos de baixa pluviosidade são recorrentes e refletem oscilações sazonais. A região amazônica apresenta ampla variação espaço-temporal da precipitação, influenciada por sistemas atmosféricos de grande e mesoescala, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Linhas de Instabilidade (LI's), Sistemas Convectivos de Mesoescala Circulares (SCMC) e as brisas marítima e fluvial (Molion, 1987; Cohen et al., 1995; Sodré et al., 2015).

Figura 4 – Precipitação acumulada mensal/ano no município de Pacajá/Pará ao longo de 43 anos



Fonte: Elaborado pelo autor (CHIRPS 2025)

Os dados do CHIRPS são relevantes pela expressiva cobertura temporal e resolução espacial (Bai et al., 2018). A caracterização espaço-temporal desses dados é fundamental para entender padrões, mudanças de intensidade e frequência da variabilidade pluviométrica (Silva Neto et al., 2020; Melo; Lima, 2021). Tais informações contribuem para estudos climatológicos e auxiliam em práticas de gestão hídrica e planejamento de atividades econômicas que dependem diretamente do regime de chuvas.

Neste contexto, a produtividade agropecuária está associada à variabilidade espacial e temporal da precipitação, verificando que estas variações se constituem como um dos fatores responsáveis pela alternância das produções anuais, contribuindo significativamente nas perdas e ganhos da produção. A irregularidade no quantitativo e distribuição espacial da chuva é um dos fatores limitantes para o desenvolvimento da produção agrícola na Amazônia (Amanajás e Braga, 2012; Moura, 2014). A compreensão do comportamento da evolução ao longo dos anos permite a adoção de estratégias mais

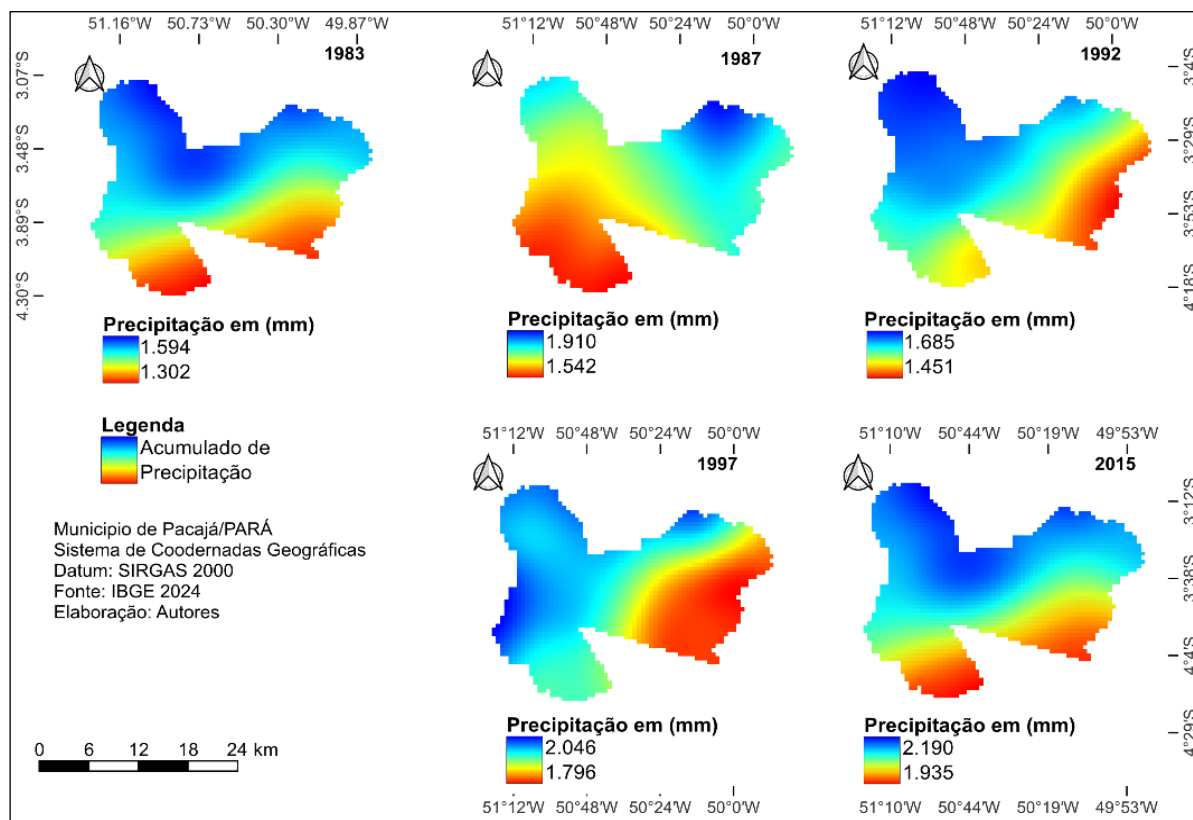
eficazes para mitigar os impactos das variações climáticas, garantindo o uso sustentável dos recursos hídricos.

Os mapas apresentados na figura 5, mostram a distribuição espacial da precipitação acumulada (em milímetros) durante os anos de ocorrência do fenômeno El Niño no município de Pacajá/Pará. Em 1983, os índices pluviométricos variaram entre 1.302 mm e 1.594 mm, com maiores valores no nordeste e menores no sudoeste. Já em 1987, houve um aumento nos volumes, variando de 1.542 mm a 1.910 mm, mantendo o padrão espacial anterior, mas com intensificação na parte central e nordeste. No ano de 1992, a precipitação apresentou leve redução, com valores entre 1.451 mm e 1.685 mm, mantendo a distribuição de maiores chuvas no Norte e menores no sul.

De modo geral, o sudoeste paraense, onde se localiza o município de Pacajá, apresenta um regime pluviométrico típico de clima tropical úmido, com a estação chuvosa concentrada entre dezembro e maio (Moraes, et al 2005). No entanto, durante anos de El Niño, observa-se uma tendência de redução nas chuvas, especialmente nas porções mais ao sul do município. Essa diminuição é influenciada por alterações nos padrões atmosféricos, como o deslocamento para o hemisfério norte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), além de fatores locais como relevo e cobertura vegetal, que modulam a distribuição espacial das chuvas na região (Nobre et al., 2001; Marques et al., 2009).

Em 1997, observou-se um aumento expressivo nos índices, variando entre 1.796 mm e 2.046 mm, com maior homogeneidade espacial e elevação nas regiões central e leste. Em 2015, registrou-se a maior precipitação acumulada da série, entre 1.935 mm e 2.190 mm, com ampliação das áreas de alta precipitação, especialmente no centro e leste do município. De modo geral, os dados evidenciam uma tendência de aumento dos volumes de precipitação ao longo do tempo, principalmente nos anos de 1997 e 2015, além de uma expansão das áreas com maiores acumulados pluviométricos, o que pode estar relacionado à intensificação do fenômeno El Niño e sua influência sobre o regime de chuvas em Pacajá/Pará.

Figura 5 – Variabilidade espaço temporal da chuva, durante os anos de ocorrência do EL Niño no município de Pacajá/Pará



Fonte: Elaborado pelo autor (CHIRPS 2025)

Essa análise comparativa das precipitações durante os anos de El Niño, como 1983, 1987, 1992, 1997 e 2015, permite perceber claramente as alterações no comportamento do clima local. Observa-se um aumento nos volumes de precipitação ao longo do tempo, especialmente nos anos de 1997 e 2015, o que pode estar associado à intensificação do fenômeno El Niño e suas consequências sobre o regime de chuvas nas regiões de Pacajá/PA.

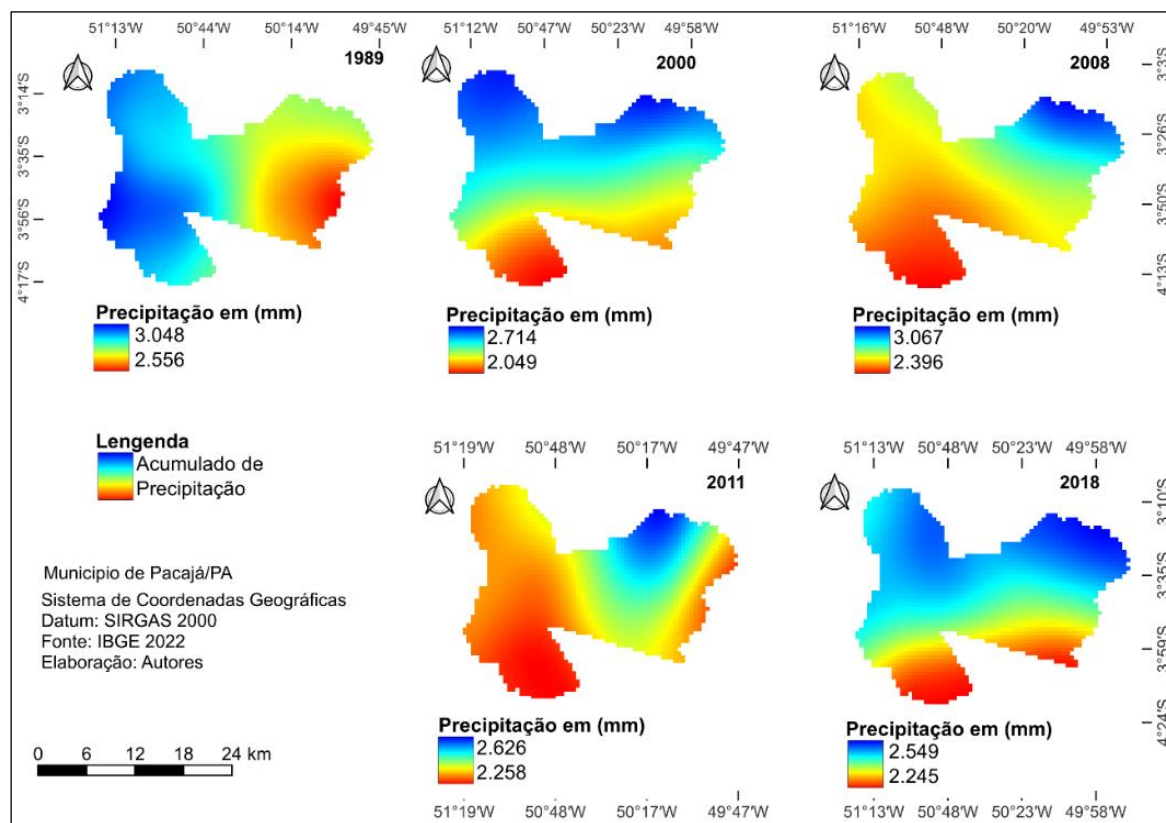
A figura 6 mostra a variabilidade espaço-temporal da precipitação no município de Pacajá/Pará, durante os anos de ocorrência do fenômeno La Niña: 1989, 2000, 2008, 2011 e 2018. Os mapas apresentados evidenciam os acumulados de chuva em milímetros, destacando as mudanças na distribuição das precipitações ao longo do território municipal. Em 1989, houve uma concentração de chuvas, com volumes variando entre 2.556 mm e 3.048 mm.

No ano de 1989 as regiões oeste do município registraram os maiores acumulados, indicados pelas cores azuis nos mapas, enquanto o leste teve menores volumes, evidenciando uma distribuição assimétrica. No ano de 2000, os volumes de precipitação diminuíram, variando entre 2.049 mm e 2.714 mm. Apesar da redução, o padrão espacial

manteve-se semelhante ao de 1989, com chuvas mais intensas no oeste e menores no leste. Essa mudança indica uma possível classificação da intensidade da La Niña sobre o volume de chuvas naquele ano.

Em 2008, observou-se um novo aumento expressivo nas chuvas, com acumulados entre 2.396 mm e 3.067 mm, onde as regiões norte e leste do município apresentaram os maiores volumes, com ampliação das áreas chuvosas. Esse ano destacou-se por ter uma das maiores médias de precipitação entre os períodos analisados, demonstrando forte influência do fenômeno climático. Já em 2011, os índices voltaram a cair levemente, ficando entre 2.258 mm e 2.626 mm. Também em 2011 a distribuição espacial também mudou, o norte registrou os maiores volumes, enquanto o sul apresentou chuvas mais fracas, mostrando um padrão diferente dos anos anteriores.

Figura 6 – Variabilidade espaço temporal da chuva, durante os anos de ocorrência do La Niña no município de Pacajá/Pará



Fonte: Elaborado pelo autor (CHIRPS 2025)

O ano de 2018, registraram-se os menores volumes de precipitação dos anos estudados, com variações entre 2.245 mm e 2.549 mm, tendo a distribuição das chuvas relativamente homogênea, predominando com volumes intermediários, o que pode indicar uma influência mais fraca ou atípica da La Niña nesse período.

Esses resultados estão de acordo com o que afirma De Souza et al. (2000), ao destacarem que o impacto da La Niña tende a favorecer a ocorrência de chuvas acima da média na região amazônica, devido à intensificação do ramo ascendente da célula de Walker sobre a troposfera equatorial da América do Sul. Em resumo, os dados mostram que, embora o fenômeno La Niña esteja associado a mudanças nos padrões de chuva em Pacajá, os efeitos variam consideravelmente de ano para ano, tanto em quantidade quanto na distribuição espacial das precipitações. Isso reflete a complexidade das interações entre fenômenos climáticos globais e as dinâmicas locais de precipitação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo atingiu seus objetivos ao caracterizar a variabilidade espaço-temporal da precipitação no município de Pacajá/PA, com base em uma série histórica de 43 anos, a partir dos dados do CHIRPS. Os resultados evidenciaram um padrão sazonal bem definido, com maior concentração de chuvas entre os meses de novembro e maio, além de variações nos anos influenciados pelos fenômenos El Niño e La Niña.

De modo geral, os eventos de El Niño estiveram associados à redução nos volumes de precipitação, com intensidades variáveis entre os episódios analisados. Por outro lado, os anos de La Niña apresentaram tendência de chuvas acima da média devido a sua intensidade.

Os padrões de precipitação observados estão diretamente associados a sistemas atmosféricos de grande relevância na região, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a célula de Walker, as linhas de instabilidade e os sistemas convectivos de mesoescala. A integração entre as análises espacial e temporal, aliada ao emprego de tecnologias de sensoriamento remoto, permitiu uma compreensão mais aprofundada e abrangente das dinâmicas climáticas que influenciam o regime de chuvas no contexto amazônico.

REFERÊNCIAS

Albuquerque, Monik Fernandes de; Souza, Everaldo Barreiros de; Oliveira, Maria do Carmo Felipe de; Souza Júnior, José Augusto de. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, p. 151-168, jun. 2010.

Amanajás, José Carlos; Braga, Cláudio Cesar. Padrões espaço-temporais pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**,

São Paulo, v. 27, n. 4, p. 423-434, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000400006>.

Bai, P.; Liu, Y.; Zhu, S. Evaluation of CHIRPS precipitation estimates over China. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, n. 3, p. 1877-1891, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-22-1877-2018>.

BRASIL. **Instituto Nacional de Meteorologia – INMET**. Normais climatológicas do Brasil (1991–2020). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>.

Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 18, n. 62, p. 49-58, 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/39441>.

Cohen, J. C. P.; Silva Dias, M. A. F.; Nobre, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. **Monthly Weather Review, Boston**, v. 123, n. 11, p. 3163-3174, 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123%3C3163:ECWASA%3E2.0.CO%3B2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123%3C3163:ECWASA%3E2.0.CO%3B2).

CPTEC, **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Ocorrência de ENOS. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>.

De Souza, Everaldo B.; Silva, Vanice P.; Silva, Jânio A. P. P.; Pereira, Ruan L. R. Análise da variabilidade da precipitação no setor nordeste da Amazônia e suas relações com os fenômenos de grande escala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 1, p. 1-10, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/jM4d4B5q5t5g5vWdG4tqjP/>.

Funk, C. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations—a **new environmental record for monitoring extremes**. *Scientific Data*, v. 2, p. 150066, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.

Funk, Christopher et al. The climate hazards group infrared precipitation with stations—a quasi-global daily precipitation dataset. **Journal of Hydrometeorology**, v. 15, n. 4, p. 1701-1719, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0069.1>.

Ghosh, S.; kumar, D.; kumari, R. Cloud-based large-scale data retrieval, mapping, and analysis for land monitoring applications with google earth engine (GEE). **Environmental Challenges**, v. 9, p. 100605, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100605>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa da população 2023**.

IBGE. Estimativas populacionais e setor produtivo por município (Pacajá, 2023–2024). **Tabelas e dados obtidos no Sistema IBGE Cidades**.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: a special report of working Groups I and II of the IPCC. Cambridge: **University Press**, 2012. 582 p.

Marques, J. E. L. et al. Changes in the Amazon Basin water cycle: The influence of land use and climate change. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 13, p. 1-13, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-13-1-2009>.

Melo, R. F.; Lima, L. D. Análise de episódios El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a variabilidade interanual de chuvas em Rio Branco, Acre, intervalo 1971-2010. **Scientia Naturalis**, v. 3, n. 1, p. 2260-2272, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/5281/3546>.

Molion, L. C. B. On the dynamic climatology of the Amazon basin and associated rain producing mechanisms. In: Dickinson, R. E.; da Silva, L. A. P. (ed.). **The geophysics of Amazonia vegetation and climate interactions**. New York: John Wiley and Sons, 1987. p. 31-52.

Moraes, B.C. de, Costa, J.M.N. da, Costa, A.C.L. da, Costa, M.H. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. **Acta Amazônica**, 35, 207–214. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000200010>.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Oceanic Niño Index (ONI)**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **Índices Climáticos**. Disponível em <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>.

Nobre, Carlos A. et al. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, n. 5, p. 833-852, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014).

Paccini, L. et al. Assessing Precipitation Over the Amazon Basin as Simulated by a Storm-Resolving Model. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 128, n. 18, 2022, e 2023. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2022JD038421>.

Reboita, M. S.; Santos, I. de A. Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no norte e nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba**, v. 15, p. 158-175, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/31346>.

Santos, M. R. S.; Vitorino, M. I.; Pimentel, M. A. da S.; Souto, J. I. de O. Análise da distribuição espaço-temporal da chuva, na mesorregião metropolitana de Belém-Pará: **contribuições da técnica de sensoriamento remoto**.

Segura, E. et al. Climate data refinement for a Brazilian precipitation dataset from 1981 to 2018. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 1, p. 87-101, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.6206>.

Silva Neto, V. L. et al. Mapeamento de chuvas intensas para o Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-77863510006>.

Sodré, G. R. C. et al. Estudo observacional da convecção de mesoescala em diferentes superfícies no estado do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife/PE, v. 8, p. 45-55, 2015. Disponível em: <https://www.revista.ufpe.br/rbqf/article/view/320>.

Tibúrcio, L., H.; Corrêa, M., D., P., Análise da vulnerabilidade da microrregião de Itajubá por meio do IVG com vistas à mitigação dos impactos causados pelas mudanças climáticas. **Ambiente e Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 123-139, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2012000300008>.

USO DE GEOTECNOLOGIAS NA AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: UMA ABORDAGEM ESPAÇO-TEMPORAL EM MUNICÍPIOS PARAENSES

Alena Vitória Araujo Peixoto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil

alenaaraujo21@gmail.com

Rayane da Silva Ferreira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil

srayane031@gmail.com

Glauby do Rego Bezerra

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil

glauby.bezerra@ifpa.edu.br

Milena de Nazaré Santos Quaresma

Universidade Estadual do Pará, Belém, PA, Brasil

milenasquaresma@gmail.com

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.

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 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.

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 Amazônia, é uma das regiões mais importante e diversa do planeta, sua vasta extensão abriga uma biodiversidade única e desempenha um papel fundamental no equilíbrio climático global. Apesar dos avanços no estudo das chuvas na região, há uma lacuna nos dados referentes aos municípios paraenses, especialmente quanto aplicados as técnicas de geotecnologia e análises em diversas escalas temporais. Os dados de sensoriamento remoto são uma alternativa eficiente para estudos de variabilidade espaço temporal da chuva em extensas regiões com escassos dados, sanando as limitações provenientes das estações meteorológicas de superfície (Zambrano Bigiarini et al., 2017).

Os dados de sensoriamento remoto, com sua ampla cobertura espacial e atualizações frequentes, suprem a escassez de estações meteorológicas ao identificar padrões de precipitação em áreas de baixa densidade de monitoramento. Estudos como o de Oliveira (2018), realizado na bacia do Rio Moxotó no semiárido nordestino, comprovam a eficácia dessa abordagem em contextos climáticos distintos. Apesar das diferenças regionais, a metodologia demonstra-se plenamente adaptável ao contexto amazônico, contribuindo significativamente para superar as limitações impostas pela ausência de dados meteorológicos consistentes, especialmente diante da complexidade climática e geográfica da região.

Nos municípios amazônicos de Baião e Breu Branco, no estado do Pará, a ausência de pluviômetros e de séries históricas consistentes compromete o planejamento ambiental e agrícola. Nesse sentido, abordagens baseadas em sensoriamento remoto e análise de séries temporais como as utilizadas por Rocha et al. (2018) na caracterização de veranicos no Nordeste podem ser adaptadas à realidade local, subsidiando a construção de indicadores climáticos regionais.

Diante dessas premissas , o objetivo deste trabalho é analisar a variabilidade temporal e espacial da chuva nos municípios de Baião e Breu-Branco no estado do Pará, por meio da utilização de dados provenientes de sensoriamento remoto com uma série histórica de 43 anos compreendendo o período de janeiro de 1981 a dezembro de 2023, visando contribuir significativamente para adaptação das comunidades locais a mitigações de

possíveis riscos associados a eventos de extremos climáticos, fornecendo dados de chuva em escala refinada para embasamento de futuras pesquisas comparativas e mais abrangentes sobre o clima e suas interfaces nas áreas sociais, econômicas e ambientais dos municípios brasileiros.

MATERIAL E MÉTODOS

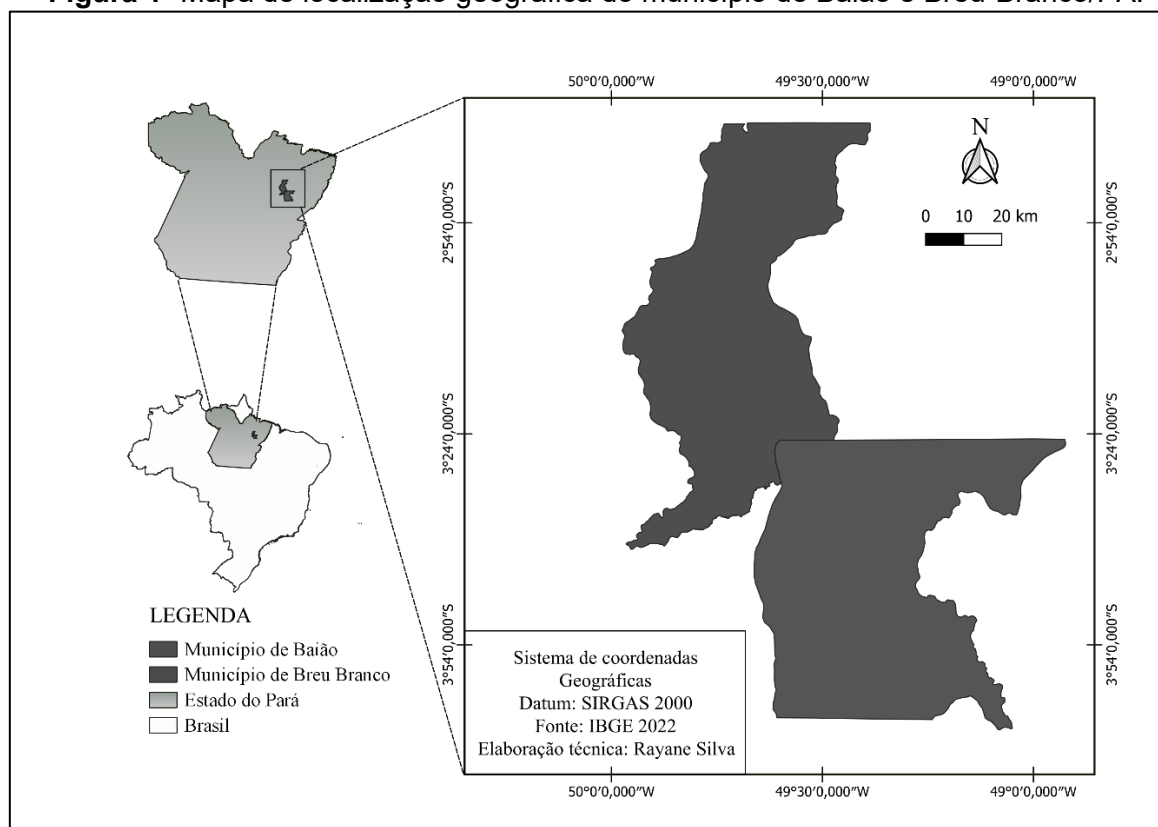
Caracterização da área de estudo

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.

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, conseqüentemente, 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.

Figura 1- Mapa de localização geográfica do município de Baião e Breu Branco/PA.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

Metodologia

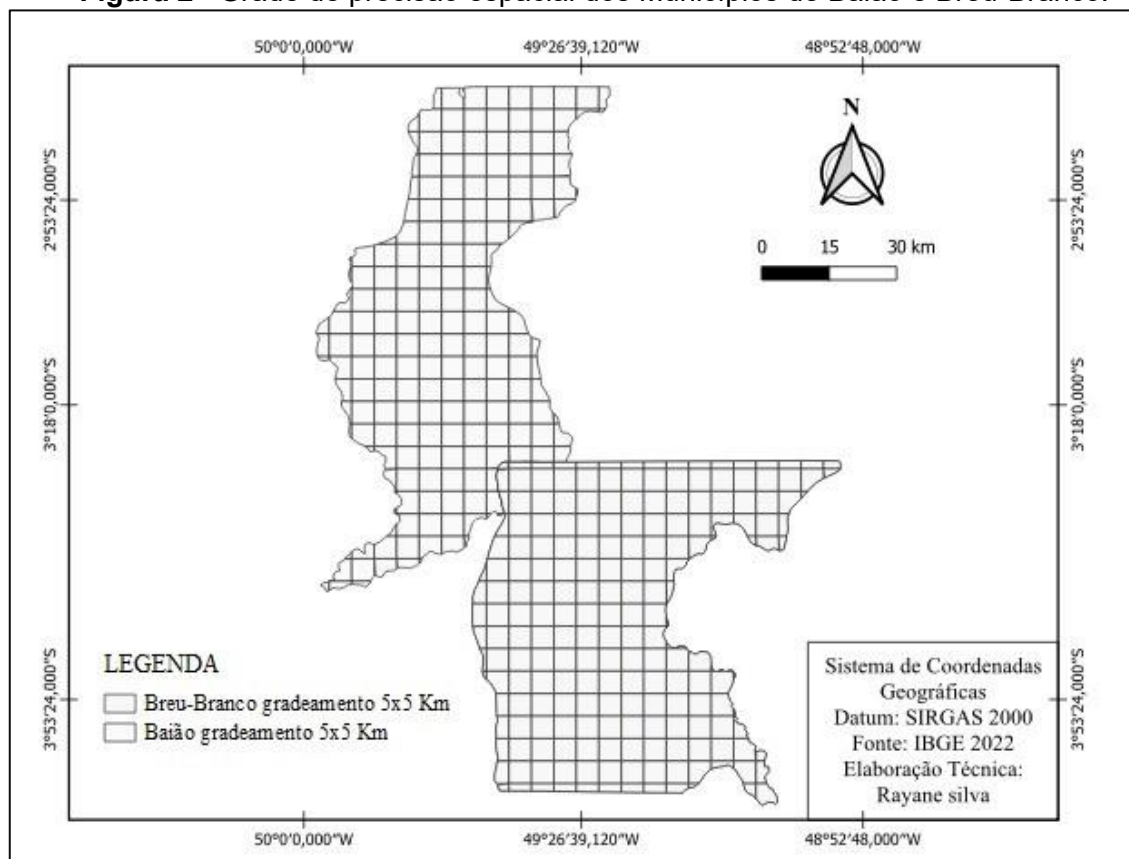
Este estudo fundamenta-se no uso de técnicas de sensoriamento remoto e ferramentas de geotecnologias, que oferecem estimativas de precipitação (chuva). O principal conjunto de dados utilizados é fornecido pelo Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS). O CHIRPS é um dado de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

Figura 2– Grade de precisão espacial dos Municípios de Baião e Breu-Branco.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

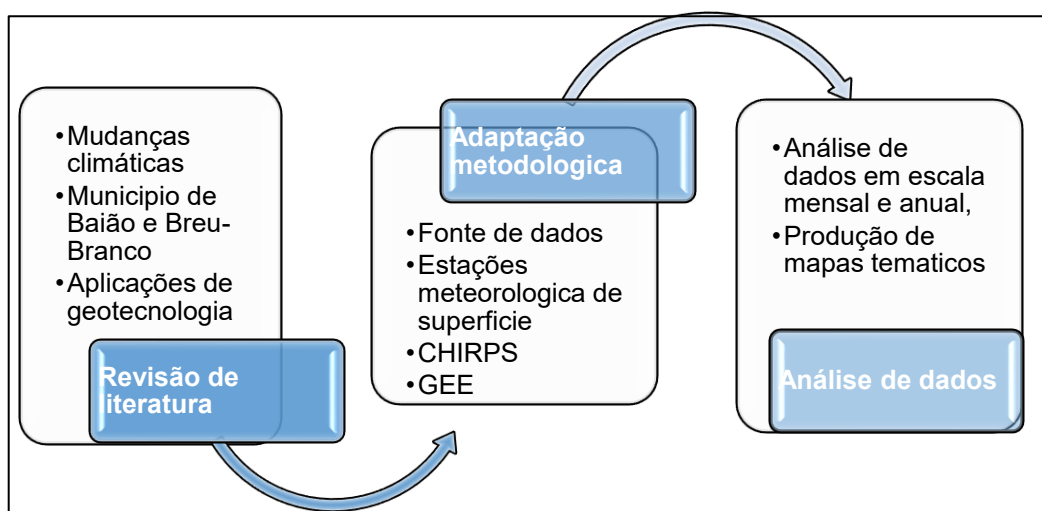
Os anos de ENOS, considerando as fases de EL niño e La niña foram classificados de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O El Niño e a La Niña são fases opostas de um fenômeno climático acoplado, de natureza oceânico-atmosférica, 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). As etapas metodológicas estão descritas de forma simplificada na Figura 3.

Figura 3 – Esquema metodológico simplificado



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

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.

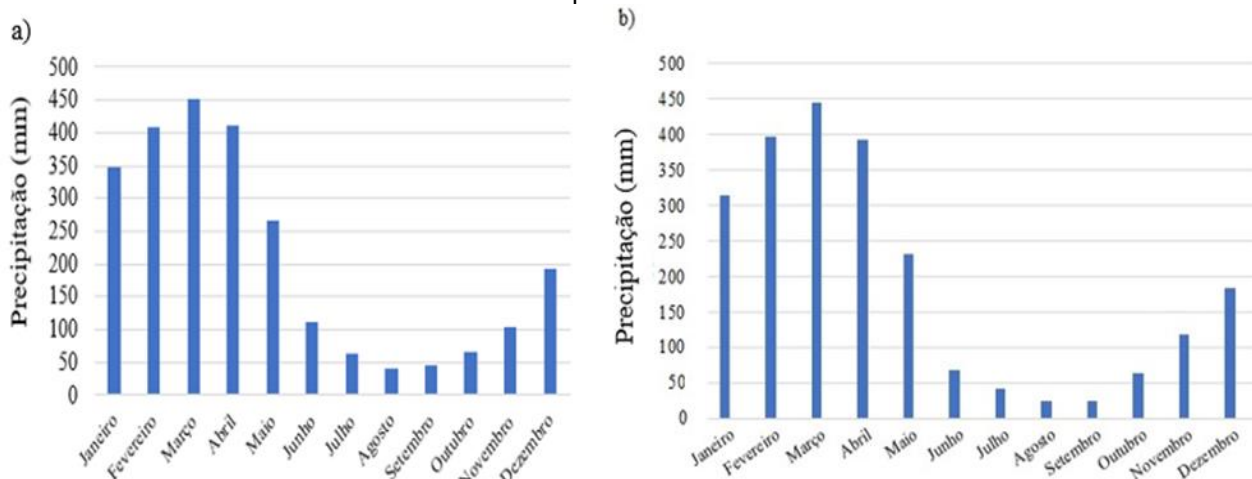
RESULTADOS E DISCUSSÃO

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). 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.

Figura 4– Climatologia mensal da precipitação nos municípios de Baião e Breu-Branco respectivamente



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

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. 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.

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 a 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.

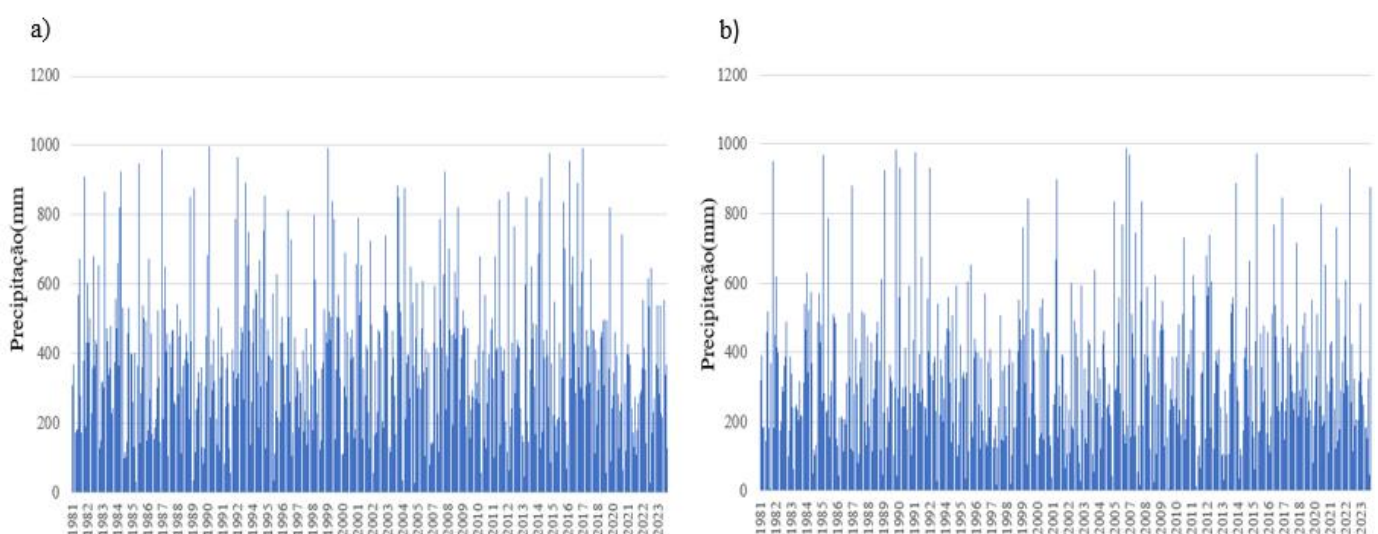
Análise mensal e anual da climatologia da precipitação

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. 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.

Figura 5– Climatologia mensal/Anual da precipitação nos municípios de Baião e Breu-Branco respectivamente



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

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. 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.

Análise dos anos de extremos climáticos no município de Baião

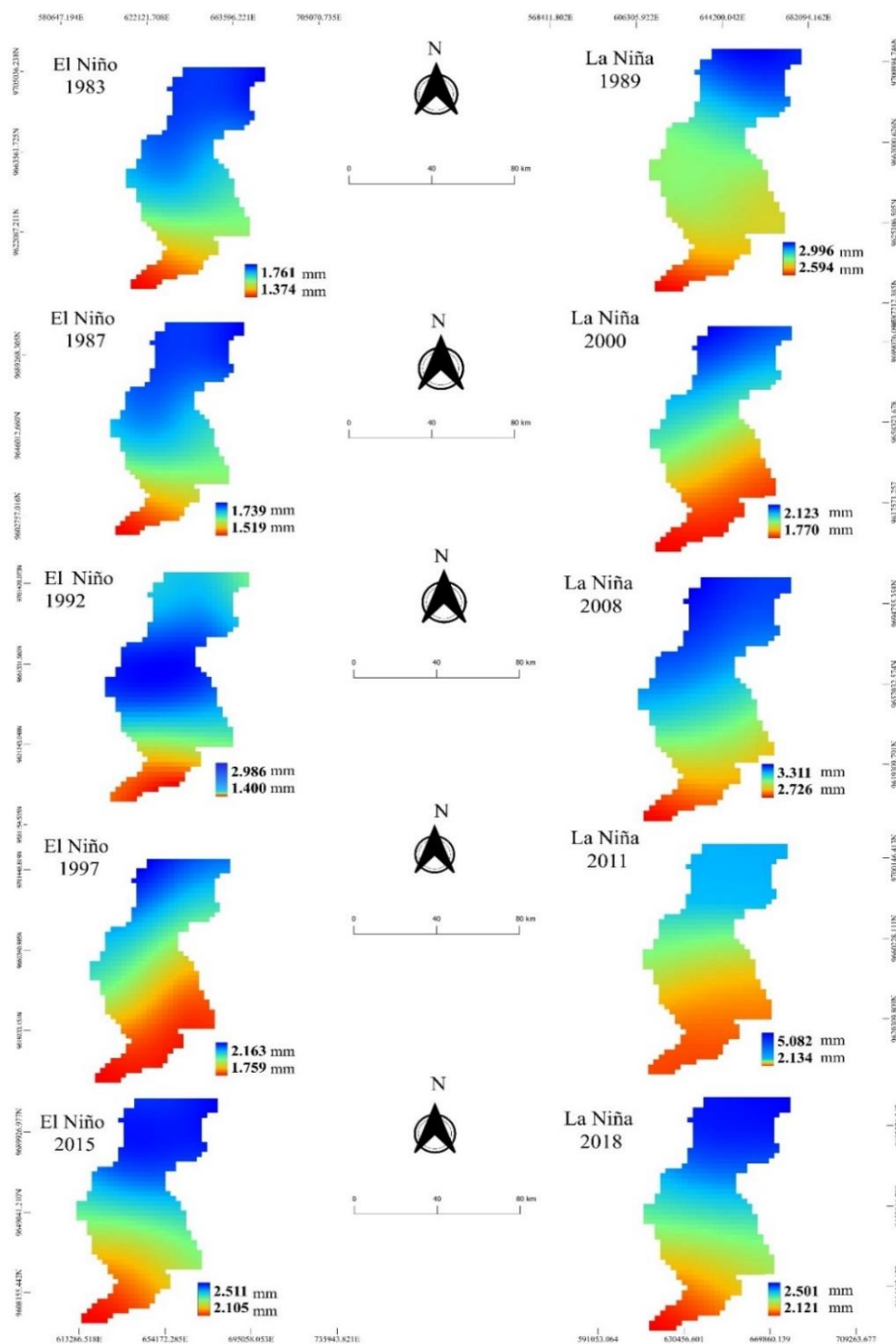
A variabilidade pluviométrica em anos de ocorrência do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) em sua fase quente (El Niño) evidenciou extremos significativos nos acumulados de precipitação, com registros máximos de 2.986 mm no ano de 1992 e mínimos de 1.374 mm em 1983 (Figura 6). Esses dados corroboram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

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.

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



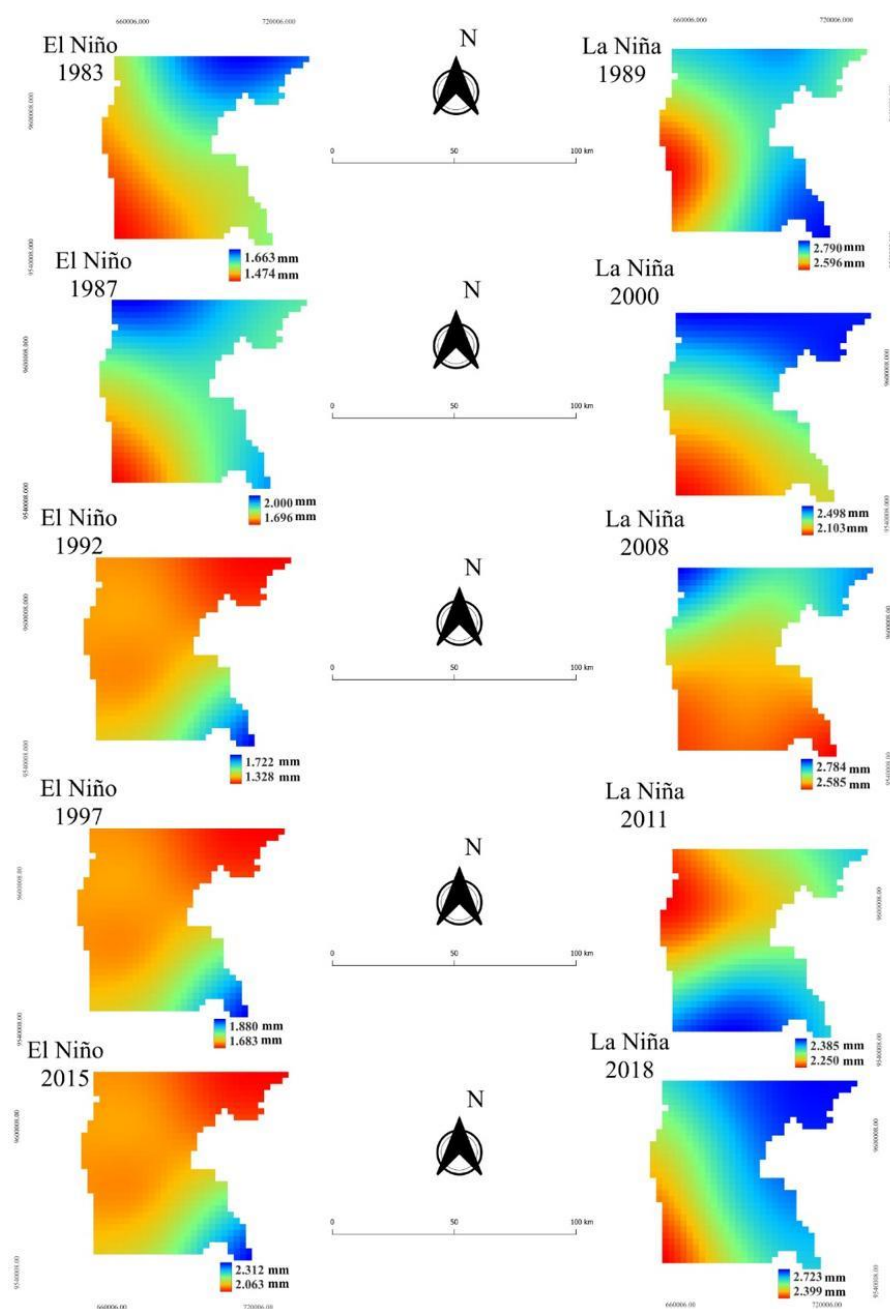
Fonte: CHIRPS, 2024. Elaborado pelos autores, 2025

Análise dos anos de 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. 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.

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



Fonte: CHIRPS, 2024. Elaborado pelos autores, 2025

O fenômeno La Niña é parte da variabilidade climática natural do sistema Terra-Oceano-Atmosfera, um dos mecanismos-chave durante a La Niña é o fortalecimento dos ventos alísios, que empurram as águas quentes superficiais para o oeste do Pacífico, permitindo que águas mais frias subjacentes aflorem na costa da América do Sul, com isto caracterizando o resfriamento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico equatorial central e oriental. Esse resfriamento reforça a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), como destacado por Santos et al. (2013), promovendo chuvas mais intensas e persistentes sobre grande parte da Amazônia oriental.

Em Breu Branco, esse padrão é evidente em anos como 1989, quando foram registrados 2.790 mm de precipitação. Fisch; Marengo e Nobre. (1998) observaram também que, sob influência da La Niña, a distribuição das chuvas torna-se mais uniforme, alcançando inclusive áreas do sul do Pará. Mesmo em eventos de menor intensidade, como em 2008, com 2.103 mm é possível notar que os volumes de precipitação costumam permanecer acima da média histórica, favorecendo o desenvolvimento dos ecossistemas locais, embora também elevem os riscos de alagamentos e inundações em áreas mais vulneráveis.

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.

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.

A escassez de estudos anteriores sobre a variabilidade pluviométrica nos municípios analisados representou uma limitação metodológica significativa, dificultando a realização

de análises comparativas com séries históricas regionais consolidadas. Diante do caráter pioneiro desta abordagem, 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 utilizada, baseada na integração de dados de sensoriamento remoto com análises climáticas, mostrou-se replicável em outras regiões enfrentando desafios semelhantes relacionados à variabilidade climática. Esse enfoque contribui não apenas para o avanço científico, mas também para o planejamento estratégico, ao oferecer uma base sólida para a tomada de decisões. Em suma, os achados deste estudo ressaltam a relevância de abordagens interdisciplinares e tecnológicas para enfrentar os desafios impostos pelas alterações climáticas na Amazônia e em outras regiões sensíveis do planeta.

REFERÊNCIAS

Amanajás, J.C.; Braga, C.C. (2012). Padrões espaço-temporal 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. Disponível 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.

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

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.

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.

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**.

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.

Oliveira, C. G. B. (2018). **Análise Espaço-Temporal da Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó – PE, Utilizando O Sensoriamento Remoto**. Monografia. Instituto Federal de Pernambuco-IFPE, Recife, PE, Brasil.

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.

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.

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.

INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NOVO REPARTIMENTO/PARÁ

Benedito Pereira dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil
adailton230278@gmail.com

Davi Rodrigues Rabelo

Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza
davi.geo.rabelo@gmail.com

Francisca Socorro Peixoto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Bragança, PA, Brasil
socorro.peixoto@ifpa.edu.br

Terlys de Araújo Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil
terlys.silva@ifpa.edu.br

RESUMO

O estudo sobre a variabilidade da chuva, associado às mudanças climáticas é uma das temáticas mais discutidas pela comunidade científica internacional, uma vez que os efeitos das mudanças climáticas modificam os acumulados de precipitação e afetam diretamente as sociedades. Neste contexto, a pesquisa tem como objetivo apresentar a variabilidade espaço-temporal da chuva no município de Novo Repartimento/Pará, utilizando dados de sensoriamento remoto. Também busca-se analisar os padrões de chuva durante os anos de ocorrência de extremos climáticos e os sistemas precipitantes locais. A metodologia utilizada será baseada na utilização dos dados de reanálise da técnica do produto Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) com base nas estimativas e dados de alta resolução espacial (5Km) e temporal (24 h). A variabilidade da chuva será representada pela climatologia dos tempos anuais e mensais, e relacionada aos sistemas e mecanismos oceano atmosfera que favorecem a precipitação local. Espera-se que este conhecimento, seja uma ferramenta para o gerenciamento socioambiental da região, corroborando para futuros estudos de modelagem, e permitindo sua replicação para outras áreas de forma interdisciplinar.

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON THE SPATIAL-TEMPORAL VARIABILITY OF PRECIPITATION NEW DEPARTMENT/PARÁ

ABSTRACT

The study of rainfall variability associated with climate change is one of the most discussed topics in the international scientific community, as the effects of climate change modify accumulated precipitation and directly affect societies. In this context, the research aims to present the spatiotemporal variability of rainfall in the municipality of Novo Repartimento, Pará, using remote sensing data. It also seeks to analyze rainfall patterns during years of extreme weather events and local precipitation systems. The methodology used will be based on reanalysis data from the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) product, based on estimates and high spatial (5 km) and temporal (24 h) resolution data. Rainfall variability will be represented by annual and monthly climatology and related to the ocean-atmosphere systems and mechanisms that favor local precipitation. This knowledge is expected to be a tool for socio-environmental management of the region, supporting future modeling studies and enabling its replication to other areas in an interdisciplinary manner.

INTRODUÇÃO

Estudos científicos em variabilidade de precipitação e adaptação às mudanças climáticas vêm se expandindo nas últimas décadas, devido à grande ocorrência de eventos extremos que afetam diretamente a sociedade humana. Logo, torna-se necessário o conhecimento aprofundado dos possíveis moduladores da distribuição de chuvas nas regiões (Tibúrcio, Corrêa, 2012; Santo, Vitorino, Pereira *et al.*, 2019). Neste contexto, as mudanças climáticas associadas a distribuição da chuva ganham grande visibilidade, pois trazem profundas implicações sociais, econômicas, políticas e ambientais. Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2012), as alterações no clima global irão influenciar diretamente na vida das populações dada por diferentes impactos como: extremos de clima, redução de chuvas e aumento de temperaturas.

O clima na região amazônica é modulado pela interação de diversos fenômenos oceano-atmosfera, e por sistemas atmosféricos que atuam em distintas escalas espaço-temporais. A precipitação é a variável climatológica mais estudada na região, pois se relaciona com outras características físicas, como a temperatura e umidade (Moraes *et al.*, 2005; Albuquerque *et al.*, 2010). Pesquisas sobre a variabilidade espaço-temporal da chuva na região sudeste do estado do Pará, são tímidas, principalmente quando os estudos são

baseados em dados de geotecnologias e analisados em distintas escalas de tempo (Santos *et al.*, 2017).

Atualmente os estudos sobre precipitação estão fundamentados em dados de superfície, evidenciando que a representação da variabilidade espaço-temporal das chuvas pode estar severamente limitada aos dados pontuais, que servem de entrada para modelos climáticos e hidrológicos, e são geralmente obtidos por meio de interpolação da precipitação pontual medida por estações meteorológicas (Amanajás, Braga, 2012). O clima na região amazônica é caracterizado pela presença de um vasto espectro de variações espaço-temporais na atividade convectiva, caracterizado por altos índices pluviométricos, principalmente durante o verão e outono austral.

A precipitação regional é promovida pela interação de diversos sistemas meteorológicos e mecanismos oceano atmosfera que interagem em distintas escalas de tempo gerando a convecção local (Cohen; Dias; Nobre, 1989; Santos; Vitorino; Pereira, 2019). No decorrer do estudo, realizou-se uma análise do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), em que o El Niño se caracteriza às condições em que o oceano Pacífico Equatorial é mais quente, enquanto o La Niña indica temperaturas mais frias do que a média histórica.

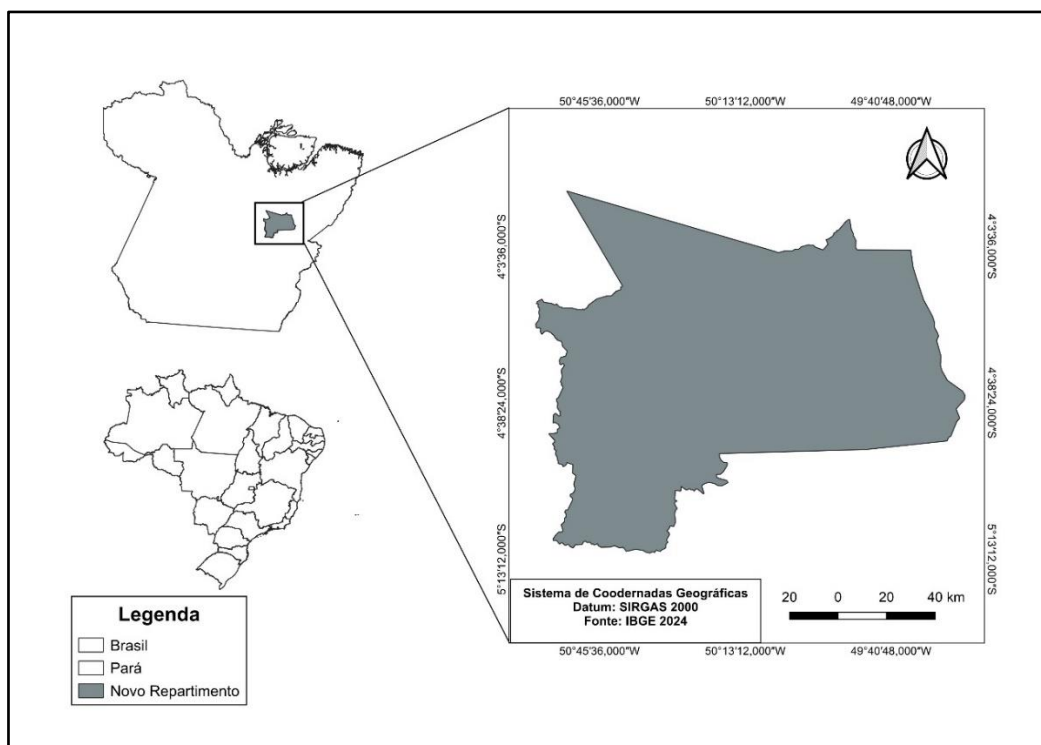
Suas influências nos totais de cobertura de chuva são provocadas pela alteração da célula de Walker, que é consequência do ENOS, em que há a tendência de acumulados abaixo da média em anos de El Niño e acima para La Niña (Reboita e Santos, 2014). Neste cenário, justifica-se a importância e relevância desta pesquisa em utilizar pela primeira vez dados de reanálise de sensoriamento remoto para verificar os impactos das mudanças do clima na variabilidade de chuvas no município de Novo Repartimento-PA.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O Município de Novo Repartimento, pertencente a mesorregião do estado do Pará com uma área territorial de 15.398,716 km², Novo Repartimento Localiza-se a uma latitude 04°19'50" sul e a uma longitude 49°47'47" oeste, estando a uma altitude de 200 metros limita-se com os municípios de Tucuruí-PA, Breu Branco-PA, Goianésia do Pará, Jacundá-PA, Nova Ipixuna-PA, Itupiranga-PA, Marabá-PA, Anapu-PA e Pacajá-PA (IBGE 2022).

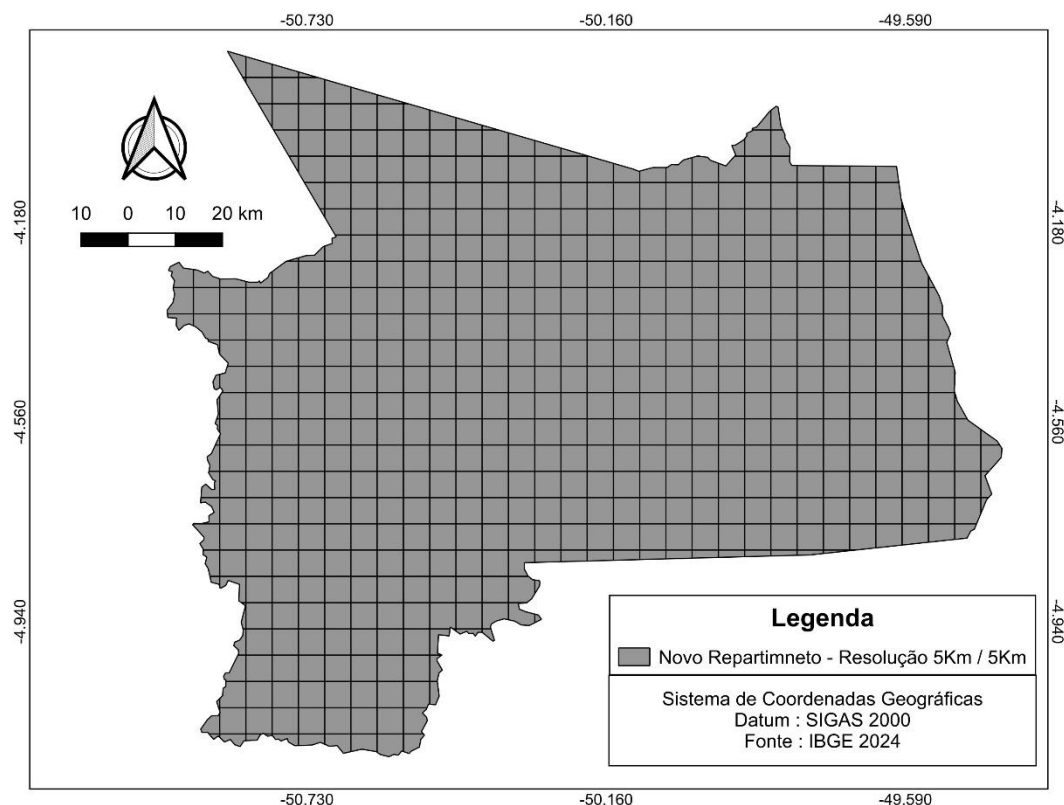
Figura 1. Mapa de localização geográfica do município de Novo Repartimento



Técnica Aplicada

A metodologia aplicada utiliza dados de geotecnologias por meio de satélite, para estimar valores de precipitação (chuva). A fonte dos dados foi a Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), uma técnica de sensoriamento remoto desenvolvida pelo Earth Resources Observation and Science (EROS) da United States Geological Survey (USGS), que fornece dados atualizados de precipitação a nível global por meio de observações de satélite e de dados estações pluviométricas para validação dos dados. Essas informações são refinadas, atuais e confiáveis, além disto, abrangem a variação das chuvas no espaço-tempo desde janeiro de 1981 até os dias atuais (Segura *et al.*, 2020).

Figura 2. Grade do CHIRPS para o município de Novo Repartimento



Fonte: do Autor (2025)

Os dados utilizados, fornecidos pelo CHIRPS, têm resolução espacial de 5 km x 5 km e temporal a cada 24h (Figura 2) durante uma série temporal de ocorrências de janeiro de 1981 a dezembro de 2023, compreendendo um período de 43 anos de estudo. Os dados obtidos foram modelados na plataforma Google Earth Engine por meio de programação em linguagem JAVASCRIPT e, posteriormente, exportados os arquivos em formato CSV para a construção dos gráficos mensais e anuais (NOAA, 2021; CPTEC, 2021).

Métodos e dados

A metodologia utiliza dados geotécnicos de satélite, que estimam a precipitação. A fonte dos dados foram a Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), que é uma técnica de sensoriamento remoto desenvolvida pelo Earth Resources Observation and Science (EROS) da United States Geological Survey (USGS), que oferece dados globais de precipitação a partir de observações de satélite e validados com os dados de estações pluviométricas. O CHIRPS é um conjunto de dados de precipitação, com abrangência quase global (50°S-50°N e todas as longitudes), desenvolvido em colaboração com o USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, com o intuito de fornecer informações completas (ininterruptas e atualizadas) e confiáveis de dados de

precipitação. Esse dataset está disponível em formato matricial (.tif, .bil e .netcdf), com resolução espacial de 0,05°, formando uma série histórica atualizada, com registro diário (mm dia⁻¹), desde 1981.

Os dados são refinados, confiáveis e atualizados (Paca et al., 2020). O CHIRPS possui dados com resolução espacial de 5x5 Km e temporal a cada 24 horas de forma contínua desde o ano de 1981, tendo o presente estudo utilizado dados de janeiro de 1981 a dezembro de 2023, compreendendo um período de 43 anos. Os dados obtidos foram modelados na plataforma Google Earth Engine (GEE) através de programação em linguagem JAVASCRIPT e obtendo como resultado dados em arquivos CSV, sendo exportados em formato de planilhas utilizando o software Microsoft Excel para a confecção de gráficos e o software Qgis 3.28.5 foi utilizado na confecção dos mapas de geolocalização da área de estudo Novo Repartimento/PA e da grade espacial do CHIRPS (**Figura 2**).

Para a classificação dos anos de ocorrência do ENOS (El Niño Oscilação Sul) utilizou-se a classificação baseada no Índice Oceânico Niño (Oceanic Niño Index – ONI) utilizando dados da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) disponibilizados no site: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>.

A classificação ONI considera um ano de ENOS os casos em que a média móvel trimestral da anomalia de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) para a região localizada na faixa central do Pacífico Equatorial conhecida como Niño 3.4, seja superior a 0,5°C para eventos de El Niño e inferiores a -0,5°C para eventos de La Niña, por no mínimo, cinco períodos de três meses consecutivos (NOAA, 2024).

O avanço e otimização desse recurso tecnológico permitiu significativa alavancagem nos estudos de comportamento climático extremos de secas e inundações (et al., 2022; Aksu et al., 2022; Ghizat Fofana et al., 2022; Filho et al., 2022). Detalhes da metodologia e implementação desse dataset podem ser encontrados em Funk et al. (2015), em síntese, os autores combinaram observações de precipitação de estações terrestres (série histórica diária e mensal) com satélites de medição de precipitação, seguido de análises de similaridade e interpolação de dados.

A plataforma GEE permite o acesso, a manipulação e análise em tempo real de grandes volumes de dados geográficos. Por meio do GEE é possível ter acesso a enorme catálogo de dados públicos contendo petabytes de imagens de satélite oriundas de múltiplos sensores. Além disso, diariamente, novas imagens são adicionadas ao catálogo, que é acessível gratuitamente a todos os usuários. O GEE é considerado uma plataforma de fácil operação (para profissionais da área de geotecnologia) e que cresceu em popularidade na comunidade de sensoriamento remoto nos últimos anos, contribuindo em

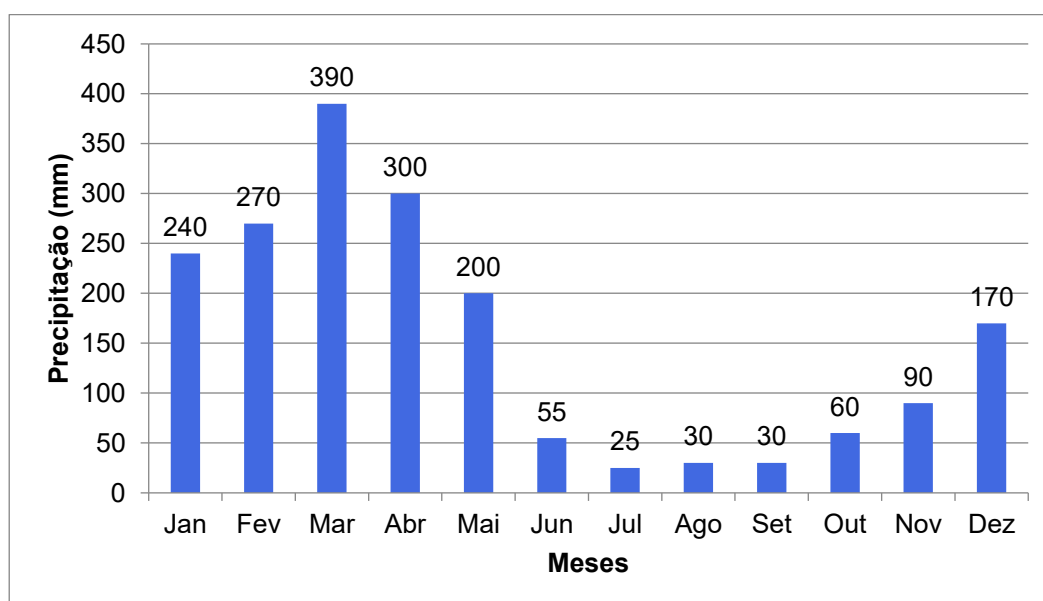
diversos estudos da geociência em nível local, regional e global (Ghosh; Kumar; Kumari, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da Precipitação Mensal em Pacajá/PA e Novo Repartimento/PA

Na Figura 3 Os maiores quantitativos de chuva em Novo Repartimento/PA começam no mês de dezembro, início da estação chuvosa, estendendo-se até o mês de maio. Por outro lado, a estação menos chuvosa do ano começa a se manifestar em junho e se estende até novembro. Dentre todos esses meses, março se destaca como o mês em que as chuvas são mais intensas, chegando a acumular até 392,14 mm. Em contraste, julho é o mês que apresenta os menores acumulados de chuvas, com um apenas 30,95mm. Destaca-se que os estudos de Menezes et al. (2015) e Amanajás & Braga (2012) apresentaram o mês de março como o mais chuvoso em todas as regiões homogêneas quanto à pluviosidade formadas, o que corrobora com os resultados deste estudo.

Figura 3. Climatologia mensal da precipitação de Novo Repartimento



Fonte: do Autor (2025)

Precipitação Mensal/ano Acumulada ao longo dos Anos no Município de Novo Repartimento/PA

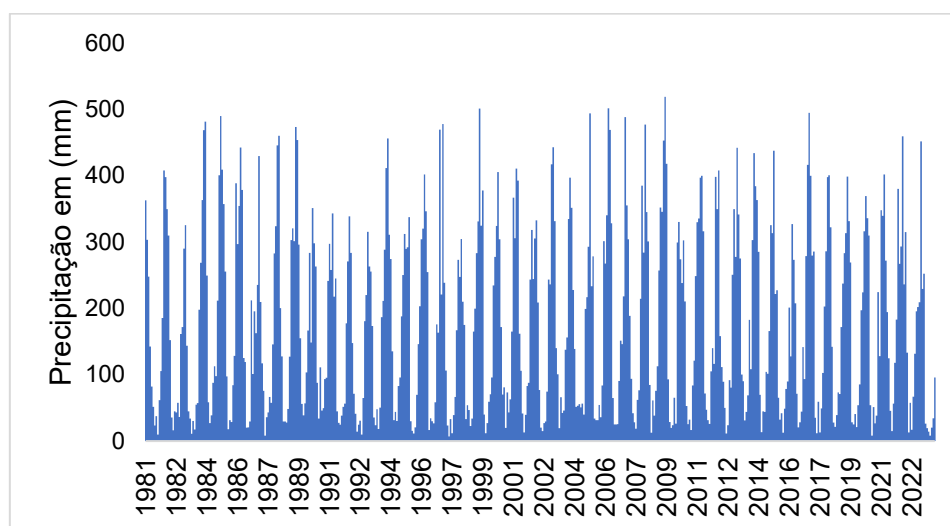
Na Figura 4 representa a variação mensal acumulada da precipitação no município de Novo Repartimento/PA, também ao longo de 43 anos (1981–2023). Inserido nessa região,

o estado do Pará apresenta altos índices de precipitação devido à sua localização na zona tropical do planeta. Além disso, o clima local sofre influência de mecanismos oceânico-atmosféricos como a Oscilação do Atlântico Norte (OAN), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), os quais interferem diretamente no volume de chuvas (Camponogara et al., 2011).

A análise da série histórica permite identificar padrões e tendências relacionados às chuvas na região. Observa-se que a precipitação varia significativamente entre meses e anos, com picos indicando períodos de chuva intensa e valores baixos que sugerem meses de estiagem com acumulados próximos a 60 mm. Esse comportamento é típico de regiões com clima tropical úmido, onde há sazonalidade bem definida ao longo do ano. Essas oscilações precisam ser consideradas no planejamento de atividades dependentes da regularidade hídrica.

Outro aspecto relevante é a constância dos valores máximos registrados ao longo do tempo. Apesar das oscilações naturais, observa-se que o regime de chuvas se manteve relativamente estável ao longo das quatro décadas analisadas. A ocorrência de eventos extremos, representados pelos picos mais elevados, sugere anos com chuvas anormalmente intensas, muitas vezes associadas a fenômenos climáticos como El Niño e La Niña. A análise dessa série histórica é essencial para a gestão dos recursos hídricos e o planejamento de atividades agrícolas e urbanas na região amazônica.

Figura 4.: Precipitação acumulada mensal/anual em Novo Repartimento



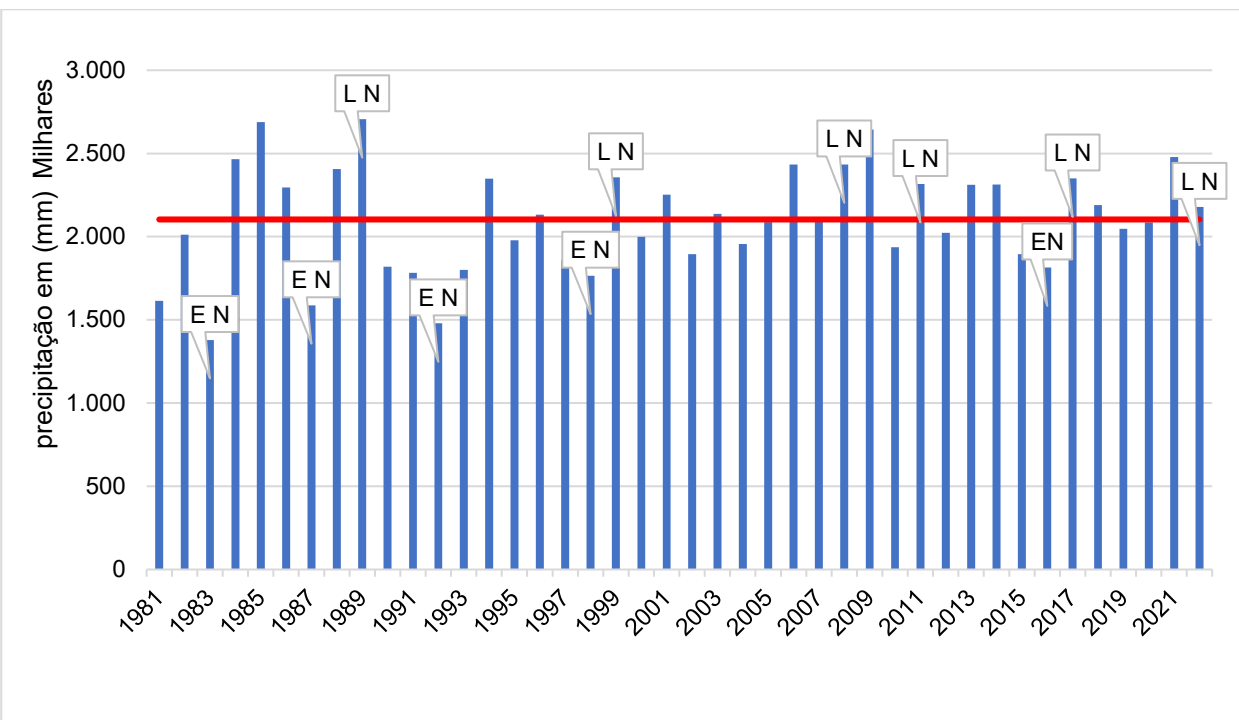
Fonte: do Autor (2025)

Na figura 5 os fenômenos El Niño e La Niña têm um impacto significativo no clima, incluindo os padrões de chuva na região amazônica. Este fenômeno ocorre quando a água do oceano na zona equatorial fica mais quente, e menos umidade na Amazônia e no Nordeste. O El Niño provoca secas severas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (IPAM).

Já o La Niña: Este fenômeno ocorre quando a água do oceano na zona equatorial fica mais fria. Isso resulta em mais seca na região andina e no sul do Brasil, e em mais umidade na Amazônia. A La Niña favorece a formação de chuvas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil.

A Figura 5 também mostra que a média climatológica anual da chuva em Novo Repartimento com dados providos do CHIRPS é de 2.103,44 mm, o menor acumulado anual foi no ano de 1983 com 1.379,02 mm e o ano de maior acumulado foi 1989 com 2.705,55 mm.

Figura 5.: Acumulado anual em Novo Repartimento e ocorrência de ENOS



Fonte: do Autor (2025)

Influência nos padrões do El Niño

Os mapas apresentados na Figura 6 mostram a distribuição espacial da precipitação acumulada (em milímetros) durante os anos de ocorrência do fenômeno El Niño no município de Novo Repartimento/Pará. Em 1983, os índices pluviométricos variaram entre 1.272 mm e 1.475 mm, com maiores valores no nordeste e menores no sudoeste. Em 1987, houve um aumento nos volumes, variando de 1.488 mm a 1.770 mm, mantendo o padrão espacial anterior, mas com intensificação na parte central e nordeste. No ano de 1992, a precipitação apresentou leve redução, com valores entre 1.427 mm e 1.617 mm, mantendo a distribuição de maiores chuvas no Norte e menores no sul.

Já em 1997, observou-se um aumento expressivo nos índices, variando entre 1.742 mm e 1.972 mm, com maior homogeneidade espacial e elevação nas regiões central e

leste. Em 2015, registrou-se a maior precipitação acumulada da série, entre 1.655 mm e 2.057 mm, com ampliação das áreas de alta precipitação, especialmente no centro e leste do município. De modo geral, os dados evidenciam uma tendência de aumento dos volumes de precipitação ao longo do tempo, principalmente nos anos de 1997 e 2015, além de uma expansão das áreas com maiores índices pluviométricos, o que pode estar relacionado à intensificação do fenômeno El Niño e sua influência sobre o regime de chuvas em Novo Repartimento/Pará.

Nas Figuras 6 e 7 observa-se a variabilidade espacial dos anos de El Niño e La Niña respectivamente de maior destaque. Sendo os anos de El Niño de maior destaque, 1983, 1987, 1992, 1997 e 2015. Para La Niña foram 1989, 2000, 2008, 2011, 2018

Figura 6.: Mapa da precipitação de Novo Repartimento em anos de El Niño

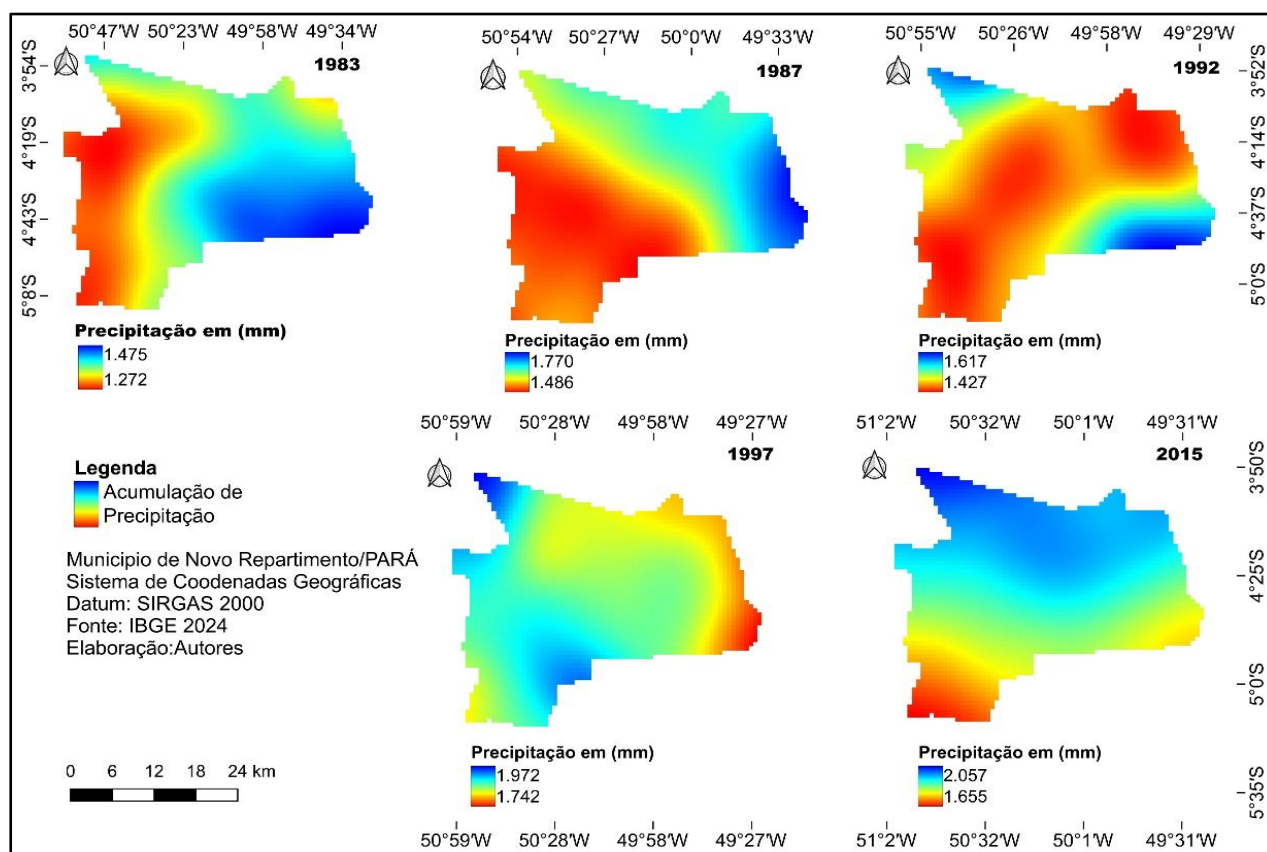
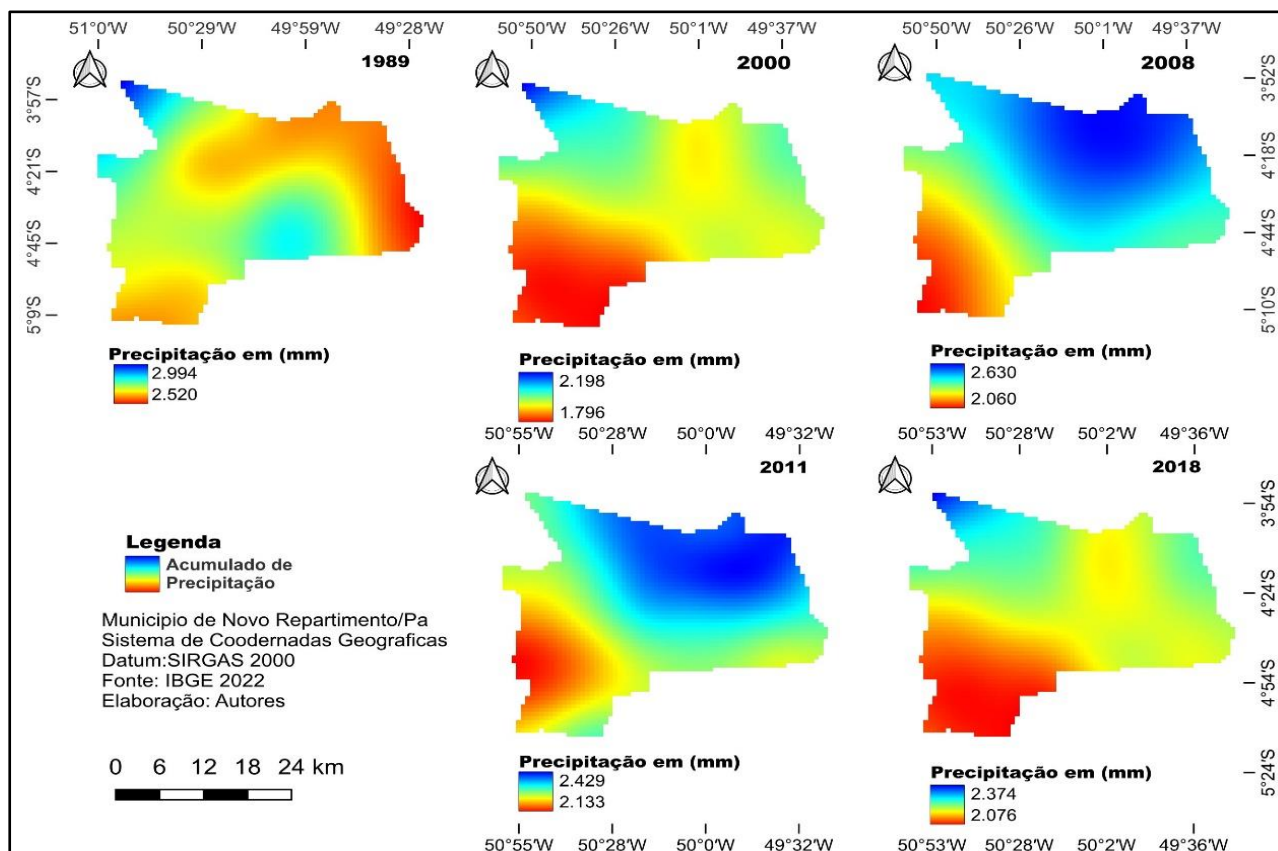


Figura 7.: Mapa da precipitação de Novo Repartimento em anos de La Niña



Fonte: do Autor (2025)

CONCLUSÕES

A variação espacial e temporal da precipitação é um campo de estudo vital para a compreensão do clima e suas complexidades. Essa variação tem um impacto significativo sobre o clima, a vegetação, os recursos hídricos e as atividades humanas. À medida que avançamos para um futuro em que a mudança climática é uma realidade inegável, a análise contínua dessas variações não apenas nos ajuda a adaptar-nos a novas condições, mas também a adotar medidas proativas para mitigar os efeitos adversos.

Mostramos que eventos climáticos como El-Nino e La-Niña interferem diretamente nas chuvas. À medida que avançamos para um futuro em que a mudança climática é uma realidade inegável, a análise contínua dessas variações não apenas nos ajuda a adaptar-nos a novas condições, mas também a adotar medidas proativas para mitigar os efeitos adversos. Esses resultados podem ajudar em pesquisas relacionadas a climas e podem ser aplicados em dados de estudos de áreas de risco, em aplicação de sistema de drenagem e agricultura.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos órgãos de fomento pelo apoio e incentivo à pesquisa, bem como aos laboratórios de pesquisa que fornecem infraestrutura e recursos essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Seu suporte foi fundamental para a realização deste estudo e para o avanço do conhecimento na área.

REFERÊNCIAS

- Aksu, H., Cavus, Y., Aksoy, H. et al. **Spatiotemporal analysis of drought by CHIRPS precipitation estimates**. *Theor Appl Climatol* **148**, 517–529, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-03960-6>.
- ALBUQUERQUE, M. F.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, M., do C. F.; SOUZA JÚNIOR, J. A. de. **Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008)**. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 6, n. 6, p. 151-163, 2010. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v6i0.25606>.
- AMANAJÁS, J., C.; BRAGA, C., C., **Padrões espaço-temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando Análise Multivariada**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, n.4, 323 – 338, 2012.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; POULTER, B.; BARLOW, J. B.; ANDERSON, L. O.; MALHI, Y.; SAATCHI, S; PHILIPS, O. L.; GLOOR, E. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biological Reviews**, v. 89, n. 4, p. 913-931, 2014.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; POULTER, B.; BARLOW, J. B.; ANDERSON, L. O.; MALHI, Y.; SAATCHI, S; PHILIPS, O. L.; GLOOR, E. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biological Reviews**, v. 89, n. 4, p. 913- 931, 2014.
- BRASIL. **Análise da vulnerabilidade da população brasileira aos impactos sanitários das mudanças climáticas**. Brasília, 2005.
- COHEN, J., C., P.; DIAS, M., A., F., S.; NOBRE, C., A., Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. *Climanálise – Boletim do Monitoramento e Análise Climática*, v. 4, n.11, p. 34 – 40, 1989.
- CONFALONIERI, U., E., C.; MARINHO, D., P.; RODRIGUEZ, R., E., **Public health vulnerability to climate change in Brazil**. *Climate Research*, v. 40, n. 23, p. 175-186, 2009. <https://doi.org/10.3354/cr00808>.

COSTA, H. C.; MARCUZZO, F. F. N.; FERREIRA, O. M.; ANDRADE, L. R.; Espacialização e Sazonalidade da Precipitação Pluviométrica do Estado de Goiás e Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v.5, n.1, p.87-10, 2012.

CPTEC, **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Ocorrência de ENOS. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acessado 20/11/2021 as 10h:49min.

DE MORAES CORDEIRO, A., L., BLANCO, C., J., C., Assessment of satellite products for filling rainfall data gaps in the Amazon region. **Natural Resource Modeling**, v.34, n.2, p.12298, 2021.

DE SOUSA, A., M., L., DA ROCHA, E., J., P., VITORINO, M., I., DE SOUZA, P., J., O., P., BOTELHO, M., N., Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.01, p. 015-029, 2015.

FEARNSIDE, P. M. **Brazil's Amazonian forest carbon: the key to Southern Amazonia's significance for global climate**. *Regional Environmental Change*, v. 18, n. 1, p. 47-61, 2018.

Filho, G. M. R.; Coelho, V. H. R.; Freitas, E. S.; Xuan, Y.; Brocca, L.; **Almeida, C. N.; Regional-scale evaluation of 14 satellitebased precipitation products in characterising extreme events and delineating rainfall thresholds for flood hazards, Atmospheric Research, 276, 2022.** <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106259>.

Fofana, M.; Adoukpe, J.; Larbi, I.; Hounkpe, J.; Toure, H. K. A.; **Bokar, H.; Dotse, S.; Limantol, A. M.; Urban flash flood and extreme rainfall events trend analysis in Bamako, Mali, Environmental Challenges, Volume 6, 2022.** <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100449>.

Funk, C. Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A.; Michaelsen, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a **new environmental record for monitoring extremes**. *Scientific data*, v. 2, p. 150066, 2015.

GHOSH, S.; KUMAR, D.; KUMARI, R. Cloud-based large-scale data retrieval, mapping, and analysis for land monitoring applications with google earth engine (GEE). **Environmental Challenges**, v. 9, p. 100605, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100605>.

Ghozat, A., Sharafati, A. & Hosseini, **SA Monitoramento por satélite da seca meteorológica em diferentes regiões do Irã: aplicação do produto de precipitação CHIRPS**. *Environ Sci Pollut Res* 29, 36115-36132, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18773-3>.

HOFFMANN, E. L.; DALLACORT, R.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; BARBIERI, J. D. Variabilidade das chuvas no Sudeste da Amazônia paraense, Brasil (Rainfall variability in southeastern Amazonia, Paraense, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1251-1263, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa da população**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>>. Acesso em: 16/10/2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: a special report of working Groups I and II of the IPCC. Cambridge: **University Press**, 2012. 582 p.

KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. **A review of the Southern oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies**. *Tellus*, v.36A, p.490-504, 1984.

MENEZES, J. A.; CONFALONIERI, U.; MADUREIRA, A. P.; BRITO DUVAL, I.; SANTOS, R. B.; MARGONARI, C. **Mapping human vulnerability to climate change in the Brazilian Amazon: The construction of a municipal vulnerability index**. PloS one, v. 13, n. 2, p. e0190808, 2018.

MORAES, B. C. D., COSTA, J., M., N., D., COSTA, A., C., L., D., COSTA, M., H., Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta amazônica**, v.35, p.207-214, 2005.

MU, Y.; BIGGS, T.; SHEN, S. S. 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**, v. 261, p. 105741, 2021.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **Índices Climáticos**. Disponível em <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>. Acessado em 09/12/2021.

PACA, V. H. D. M.; ESPINOZA-DÁVALOS, G., E.; MOREIRA, D., M.; COMAIR, G., Variability of trends in precipitation across the Amazon River Basin Determined from the CHIRPS Precipitation Product and from Station Records. **Water**, v. 12, n. 5, p. 1244, 2020.

PEREIRA, G. SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, N. 3, p. 139-148, 2013.

RAMOS DA SILVA, R.; WERTH, D.; AVISSAR, R. Regional Impacts of Future Land-Cover Changes on the Amazon Basin Wet-Season Climate. **Journal of Climate**, v.21, p.1153-1170. 2008.

- REBOITA, M. S.; SANTOS, I. de A. Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no norte e nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, 2014.
- RICKEY, J. E.; NOBRE, C. A.; DESER, C. **Amazon River discharge and climate variability: 1903 to 1985**. *Science*, v.246, p.101-103. 1989.
- ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. **Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation**. *Monthly Weather Review*, v.115, n.8, p.1606-1626. 1987.
- SANTOS, M. R. S., VITORINO, M. I., DA SILVA PIMENTEL, M., A., DE OLIVEIRA SOUTO, J., I., Análise da distribuição espaço-temporal da chuva, na mesorregião metropolitana de Belém-Pará: contribuições da técnica de sensoriamento remoto. **Caminhos de Geografia**, v.18, n.62, p.49-58, 2017.
- SANTOS, M., R., S., VITORINO, M., I., PEREIRA, L., C., C., Spatiotemporal variation in the precipitation of the amazon coastal zone: use of remote sensing and multivariate analysis. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.25, n. p. 35-53, 2019.
- 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.
- SILVA, E., R., M., D.; BARBOSA, I., C., D., C.; SILVA, H., J., F., D.; COSTA, L., G., S.; ROCHA, E., J., P., D., Análise do Desempenho da Estimativa de Precipitação do Produto CHIRPS para Sub-Bacia do Rio Apeú, Castanhal-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.03, p.1094-1105, 2020.
- SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v.1. 2003.
- SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. **Theoretical and Applied Climatology**, v.81, p.177-191. 2005.
- SOUZA; E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.2, p.113-122. 2004.
- SWANN, A. L. S. LONGO, M.; KNOX, R. G.; LEE, E.; MOORCROFT, P. Future deforestation in the Amazon and consequences for South American climate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214, p. 12-24, 2015.

- SWANN, A. L. S. LONGO, M.; KNOX, R. G.; LEE, E.; MOORCROFT, P. Future deforestation in the Amazon and consequences for South American climate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214, p. 12-24, 2015.
- TIBÚRCIO, L., H.; CORRÊA, M., D., P., Análise da vulnerabilidade da microrregião de Itajubá por meio do IVG com vistas à mitigação dos impactos causados pelas mudanças climáticas. **Ambiente e Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 123-139, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2012000300008>.
- TOMLINSON, C. J., CHAPMAN, L., THORNES, J. E., BAKER, C. Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: A review. **Meteorological Applications**, v.18, n.3, p. 296-306, 2011.
- VÁSQUEZ, P. L. M. N.; MOLION, L. C. B.; ARAUJO ABDALAD, M.; MOREIRA, D. M.; SANCHEZ, A. Historical analysis of interannual rainfall variability and trends in southeastern Brazil based on observational and remotely sensed data. **CLIMATE DYNAMICS**, v. 50, n. 3, p. 801-824, 2018.
- ZAMBRANO-BIGIARINI, M., NAUDITT, A., BIRKEL, C., VERBIST, K., RIBBE, L. Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.21, n.2, 1295-1320, 2017.
- ZHAO, F.; FENG, S.; XIE, F.; ZHU, S.; ZHANG, S. Extraction of long time series wetland information based on Google Earth Engine and random forest algorithm for a plateau lake basin-A case study of Dianchi Lake, Yunnan Province, China. **Ecological Indicators**, v. 146, p. 109813, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109813>.
- SILVA NETO, V. L.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; ALVES, M. V. G.; SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B. Mapeamento de chuvas intensas para o Estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2020.
- LÓPEZ-BERMEJO, C., MONTOYA, R. D., CARO-LOPERA, F. J., DIAZ-GRACIA, J. A. Validation of the accuracy of the CHIRPS precipitation dataset at representing climate variability in a tropical mountainous region of South America. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, v. 127, p. 103184, 2022.
- SHRESTHA, N. K.; QAMER, F. M.; PEDREROS, D.; MURTHY, M. S. R.; WAHID, S. M.; SHRESTHA, M. Evaluating the accuracy of Climate Hazard Group (CHG) satellite rainfall estimates for precipitation based drought monitoring in Koshi basin, Nepal. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 13, p. 138-151, 2017.

- PALHARINI, R. S. A.; VILA, D. A.; RODRIGUES, D. T.; PALHARINI, R. C.; MATTOS, E. V.; PEDRA, G. U. Assessment of extreme rainfall estimates from satellite-based: Regional analysis. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 23, p. 100603, 2021.
- BAI, L.; SHI, C.; LI, L.; YANG, Y.; WU, J. Accuracy of CHIRPS Satellite-Rainfall Products over Mainland China. *Remote Sensing*, v. 10, p. 362, 2018.
- SILVA NETO, V. L.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; ALVES, M. V. G.; SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B. Mapeamento de chuvas intensas para o Estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2020.
- MOLION, L. C. B. On the dynamic climatology of the Amazon basin and associated rain producing mechanisms. In: *The Geophisiology of Amazonia Vegetation and Climate Interactions*. New York, John Wiley and Sons. 1987.
- COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. *Monthly Weather Review*, Boston, v. 123, n.11, p. 3163-3174, 1995.
- SODRÉ, G. R. C.; VITORINO, M. I. ; Cohen, J.C.P. ; MORAES, B. C. Estudo observacional da convecção de mesoescala em diferentes superfícies no estado do Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife/PE, v. 8, p. 45-55, 2015.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões Espaço-Temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando Análise Multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos/ SP, v.27, n.4, p.423-434, 2012.
- CAMPONOGARA, G.; SILVA DIAS, M. A. F. Precipitação diária e estrutura vertical da atmosfera em Belém-PA. *Ciência e Natura*, Santa Maria/RS, v. espec., p. 263-266, 2011.
- SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L. E.; Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE - *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife/PE, v.02, p. 250-268, 2012.
- Moraes, B.C. de, Costa, J.M.N. da, Costa, A.C.L. da, Costa, M.H. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. *Acta Amazônica*, 35, 207–214. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000200010>
- Azevedo, F. T. M., Souza, E. B., Franco, V. S., & Souza, P. F. S. (2017). Prognóstico sazonal de precipitação regionalizada na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(5). **BAI, J. et al.** Validação e análise espaço-temporal de dados de precipitação obtidos por sensoriamento remoto CHIRPS para o estado de Mato Grosso, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 35, 2024. DOI: 10.55761/abclima.v35i20.18858.

SILVA NETO, V. L.; SOUZA, L. B.; VIOLA, M. R.; MORAIS, M. A. V. Variabilidade espacial e temporal da precipitação no Estado do Tocantins, Brasil. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 3, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i3.13545.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 4, p. 423–434, 2012. DOI: 10.1590/S0102-77862012000400006.

MOURA, M. N. Padrões climáticos de precipitação e a produção de soja na Amazônia. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10988>.

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ/PARÁ: UMA PERSPECTIVA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

Flávio Rodrigues Saraiva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil
academicoflavio08@gmail.com

Andrés Danilo Velástegui Montoya

Escuela Superior Politécnica del Litoral, Equador
dvelaste@espol.edu.ec

Gilberto Caldeira Barreto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará,
Tucuruí, PA, Brasil
gilberto.barreto@ifpa.edu.br

Maria Isabel Vitorino

Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil
vitorino@ufpa.br

RESUMO

A Amazônia é um bioma de grande biodiversidade e riqueza onde as chuvas são essenciais para manter o equilíbrio do ecossistema. O seu alto índice pluviométrico permite a dinâmica que sustentam a vida. Desta maneira a precipitação é a variável climática mais expressiva na Amazônia e estudá-la é fundamental. Contudo, os estudos sobre esta variável ainda apresentam limitações em relação a fonte dos dados. Neste contexto, o objetivo é analisar a variabilidade pluviométrica no município de Marabá, sudeste do estado do Pará, empregando dados obtidos por meio de sensoriamento remoto. A metodologia foi desenvolvida principalmente em quatro etapas: 1) Download dos dados CHIRPS de precipitação (1981 a 2023); 2) Processamento e modelagem dos dados no Google Earth Engine (GEE) por meio de Javascript; 3) Confecção dos mapas da precipitação espaço-temporal no software QGIS; 4) Relação dos resultados com os anos de extremo climático. A variabilidade espaço-temporal da precipitação foi representada pela climatologia anual e mensal, e correlacionada aos sistemas e mecanismos oceano-atmosfera que influenciam a precipitação local. A análise anual revelou que a distribuição das chuvas varia significativamente em anos de ocorrência do fenômeno ENOS, sendo 1985 o ano de maior acumulado, com 2.603,15 mm, e com menor acumulado 1983 com 1.438,69 mm. Na escala mensal, observa-se que o período chuvoso compreende os meses de novembro a abril e o menos chuvoso de maio a outubro. Este conhecimento proporciona uma ferramenta

alternativa e eficaz para o gerenciamento dos recursos hídricos da região, além de embasar novos estudos de modelagem.

Palavras-chave: mudanças do clima; geotecnologia; chuva; CHIRPS; Amazônia.

SPATIOTEMPORAL VARIABILITY OF PRECIPITATION IN THE MUNICIPALITY OF MARABÁ/PARÁ: A PERSPECTIVE OF CLIMATE EXTREMES

ABSTRACT

The Amazon is a biome of great biodiversity and richness, where rainfall is essential for maintaining ecosystem balance. Its high rainfall levels enable the dynamics that sustain life. Therefore, precipitation is the most significant climate variable in the Amazon, and studying it is essential. However, studies on this variable still have limitations regarding data sources. In this context, the objective is to analyze rainfall variability in the municipality of Marabá, southeastern Pará state, using data obtained through remote sensing. The methodology was developed primarily in four stages: 1) Downloading CHIRPS precipitation data (1981 to 2023); 2) Processing and modeling the data in Google Earth Engine (GEE) using Javascript; 3) Creating spatiotemporal precipitation maps in QGIS software; 4) Relating the results to years of extreme weather. Spatiotemporal precipitation variability was represented by annual and monthly climatology and correlated with the ocean-atmosphere systems and mechanisms that influence local precipitation. The annual analysis revealed that rainfall distribution varies significantly in years during which the ENSO phenomenon occurs, with 1985 having the highest accumulated rainfall, at 2.603,15 mm, and 1983 having the lowest, at 1.438,69 mm. On a monthly scale, the rainy season runs from November to April, with the less rainy season from May to October. This knowledge provides an alternative and effective tool for managing the region's water resources and supports further modeling studies.

Keywords: climate change; geotechnology; rain; CHIRPS; Amazon.

INTRODUÇÃO

A floresta amazônica é importante para o equilíbrio do planeta (Nian *et al.*, 2024), possui a maior reserva de água doce do mundo, além de cobrir cerca de 40% do continente sul-americano, representando um grande estoque de carbono, o que contribui para a regulação do clima (Chaddad *et al.*, 2022; Flores *et al.*, 2024). A região amazônica apresenta uma alta pluviosidade, com uma média de 2000 a 2200 mm de chuva anual (Espinosa Villar

et al., 2008; Zhang, *et al.*, 2025), também é responsável por influenciar no clima de todo o continente, por exemplo, contribui nas chuvas das regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil (Franco, 2025). Devido a sua grande importância a Amazônia atrai olhares de diversos governos, reforçando que se deve preservá-la, ao mesmo tempo é de interesse de empresas os seus recursos (Orihuela e Mendieta, 2021; Neves et al., 2023).

A Amazônia apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal na precipitação, sendo que os dados sobre precipitação são essenciais para serviços econômicos, gestão de recursos hídricos e estudos de variabilidade climática (Mu e Jones, 2022). Na Amazônia encontra-se o que é conhecido como rios voadores, que são grandes correntes de vapor d'água que circulam na atmosfera, fundamentais para o ciclo hidrológico de várias partes do continente sul-americano (Pereira et al., 2020; Franco, 2025). A precipitação, sendo a variável climatológica mais expressiva e mais estudada na região, é fundamental para caracterizar a variabilidade climática, pois está relacionada intimamente com outras variáveis, consolidando sua importância no estudo e compreensão do clima regional (Amanajás e Braga, 2012; Pereira et al., 2013; Alves et al., 2021). O seu clima é modulado pela interação de fenômenos oceano-atmosfera e por sistemas atmosféricos que atuam em diferentes escalas espaço-temporais (Hoffman et al., 2018). Contudo as ameaças que a Amazônia vem sofrendo, como desmatamento, barramento de rios e as mudanças climáticas, podem alterar os padrões de chuva (Mu e Jones, 2022).

As mudanças climáticas globais estão afetando a economia, a sociedade e os ecossistemas em todo o mundo, inclusive no Brasil. Prevê-se redução das chuvas no Nordeste e aumento significativo da temperatura na Amazônia. Esses efeitos já causam eventos extremos como secas e inundações, afetando comunidades e a biodiversidade regional. (Mano *et al.*, 2023). Além disso, estima-se variações tanto positivas quanto negativas na quantidade de chuvas. Apesar das incertezas em relação às previsões, é possível que ocorram mudanças significativas, como o desaparecimento de florestas e a transformação em savanas, principalmente no sudeste da Amazônia, até o final deste século (Flores *et al.*, 2024).

A análise da quantidade de chuva ao longo do ano, nas diferentes estações e em cada mês na região amazônica é fundamental para o planejamento de qualquer tipo de atividade, independentemente do seu tamanho, uma vez que pode ser impactada pelas variações na precipitação (Costa *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2024). Por isso, tem havido um interesse crescente em estudar a precipitação para compreender melhor como ela varia. No entanto, é importante ressaltar que essa variação mensal não é uniforme em toda a região amazônica (De Moraes *et al.*, 2005; Coutinho *et al.*, 2018). A falta de dados

meteorológicos confiáveis na região é um desafio significativo, em grande parte devido à distribuição esparsa dos pontos de coleta e às falhas frequentes nos registros históricos (Nawaz *et al.*, 2021; Rabelo *et al.*, 2022; Cordeiro e Blanco, 2021; Mu e Jones, 2022).

Vários estudos utilizam do sensoriamento remoto para auxiliar na modelação da variabilidade da chuva em grandes regiões com poucas estações pluviométricas. No Irã, dados de precipitação de sensoriamento remoto e o algoritmo CONNECT foram aplicados para investigar variações espaço-temporais em grandes inundações, mostrando que o aumento nos acumulados das precipitações está relacionado ao aumento de inundações, sem mudanças significativas na frequência e duração (Sadeghi, *et al.*, 2021). Em Gana, dados de sensoriamento remoto combinados de pluviômetro foram usados para desenvolver curvas de intensidade, duração e frequência, revelando que altas intensidades de precipitação estão associadas a durações curtas (Agakpe *et al.*, 2024). Desta maneira, como a geotecnologia do CHIRPS pode auxiliar na compreensão da variabilidade da chuva na região amazônica?

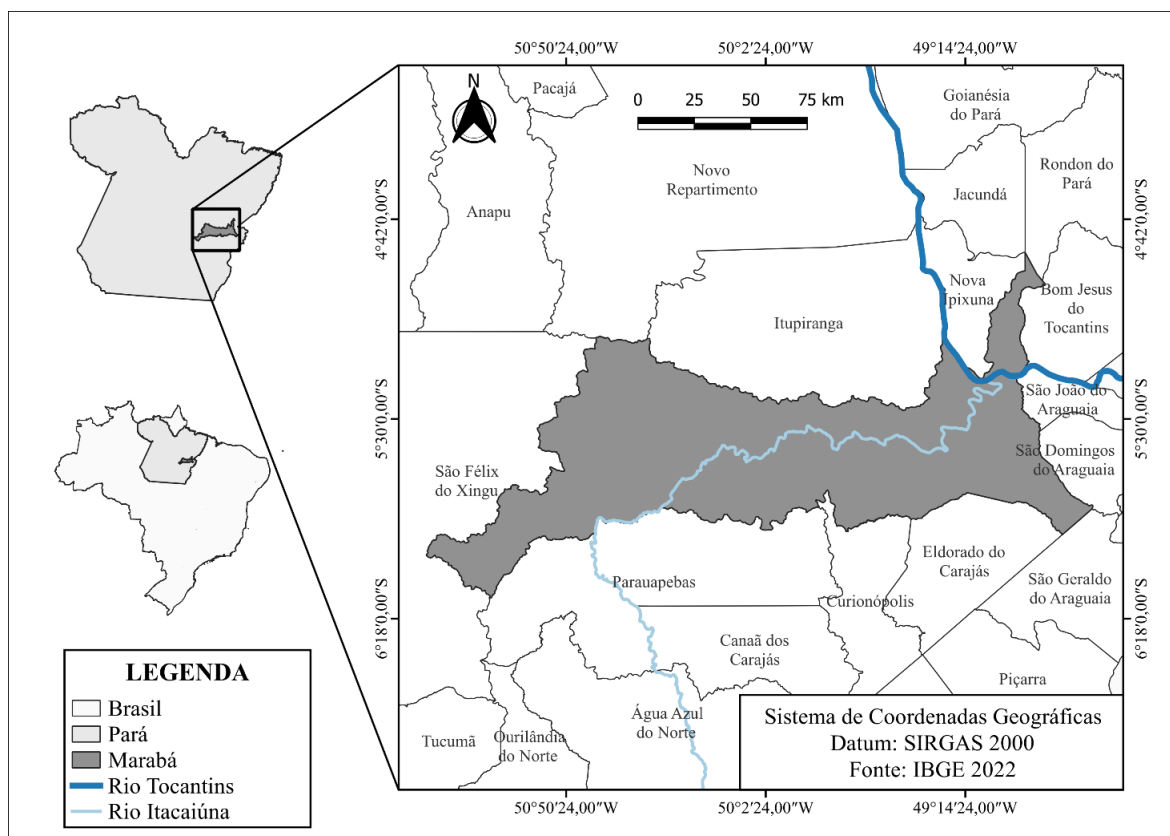
Neste contexto, este estudo tem como objetivo conhecer a variabilidade espaço temporal da chuva no município de Marabá/Pará, empregando dados obtidos por meio do produto CHIRPS, para a atualização dos estudos sobre precipitação na região. Além disso, essa pesquisa também pode auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas voltadas ao planejamento municipal e aos impactos socioambientais.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O município de Marabá, situado na região sudeste do estado do Pará, apresenta uma população de 266.533 habitantes, com extensão territorial de 15.128,058 km² (IBGE, 2023). Seu território possui um relevo predominantemente acidentado, um clima tropical semiúmido e é cortado por vários rios, sendo os principais deles o rio Tocantins e o rio Itacaiúnas (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante é mesotérmico úmido a subúmido (AW – Tropical), com uma estação seca durante o inverno. A umidade relativa do ar mantém-se em níveis elevados ao longo de todo o ano, com médias que oscilam entre 75% e 90% (Medeiros *et al.* 2020; Brasil *et al.*, 2024). Esse clima é caracterizado por sua sazonalidade, com precipitação anual variando entre 1.300 e 1.900 mm (Alvares *et al.*, 2013).

Figura 1. Mapa de localização geográfica do município de Marabá



Fonte: do Autor 2025

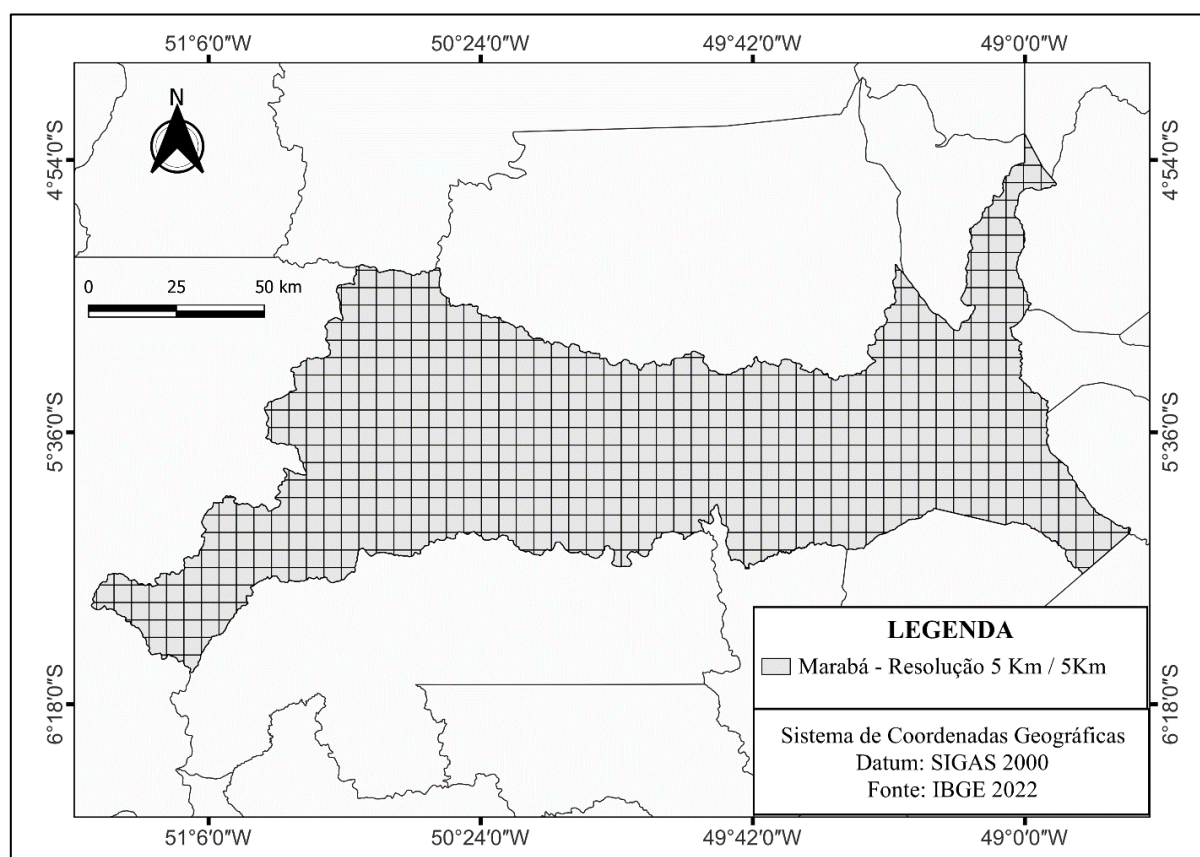
Segundo a nova regionalização de 2017 do IBGE, o município de Marabá é a capital regional do sudeste paraense, portanto faz parte da Região Geográfica Intermediária de Marabá, que abrange 23 municípios e três regiões geográficas imediatas, Marabá, Parauapebas e Tucuruí (IBGE, 2017).

Download dos dados de precipitação

Os valores estimados de precipitação foram retirados do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS). O CHIRPS é uma técnica de sensoriamento remoto criada pelo Earth Resources Observation and Science (EROS) da United States Geological Survey (USGS), que fornece dados de precipitação a nível global por meio de observações de satélites e estações *in-situ* (Ahana *et al.*, 2024). Este produto oferece um conjunto de dados refinados, confiáveis e atualizados, no que tange a variação das chuvas no espaço-tempo (Paca *et al.*, 2020; Segura *et al.*, 2020; Arregocés *et al.*, 2023).

O CHIRPS possui dados com resolução espacial de 5 x 5 Km (Figura 2), resolução temporal de 24 horas (Funk *et al.*, 2015), com dados de janeiro de 1981 até (Ahana *et al.*, 2024). dezembro de 2023, totalizando 43 anos.

Figura 2. Grade do CHIRPS para o município de Marabá



Fonte: do Autor 2025

Para classificação do ENOS, foi retirado os dados dos anos de ocorrência obtidos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), baseados na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) (CPTEC, 2023). Se considera um ano de ENOS casos em que a média móvel trimestral da anomalia de TSM para a região localizada na faixa central do Pacífico Equatorial conhecida como Niño 3.4, seja superior a $0,5^{\circ}\text{C}$ para eventos de El Niño e inferiores a $-0,5^{\circ}\text{C}$ para eventos de La Niña, por no mínimo, cinco períodos de três meses consecutivos (NOAA, 2024).

Processamento dos dados no Google Earth Engine (GEE)

Os dados do CHIRPS foram modelados na plataforma Google Earth Engine (GEE) por meio da programação em linguagem JAVASCRIPT resultando em novos dados em arquivos CSV, e imagens raster em formato TIFF. Os dados CSV foram exportados para o software Microsoft Excel para a criação de gráficos e as imagens raster exportadas para o software QGIS para seu processamento.

Modelagem da precipitação espaço-temporal no software QGIS

Para gerar os mapas de precipitação, principais resultados do estudo, foi feito a manipulação das imagens raster de origem do código GEE. Esta manipulação se deu através do software de geoprocessamento Qgis 3.22.09. O software Qgis também foi utilizado para gerar o mapa de geolocalização do município e da grade espacial do CHIRPS. Este processo envolveu a suavização dos pixels, com valores correspondentes a precipitação naquela área em específico.

Relação dos resultados com os anos de extremo climático

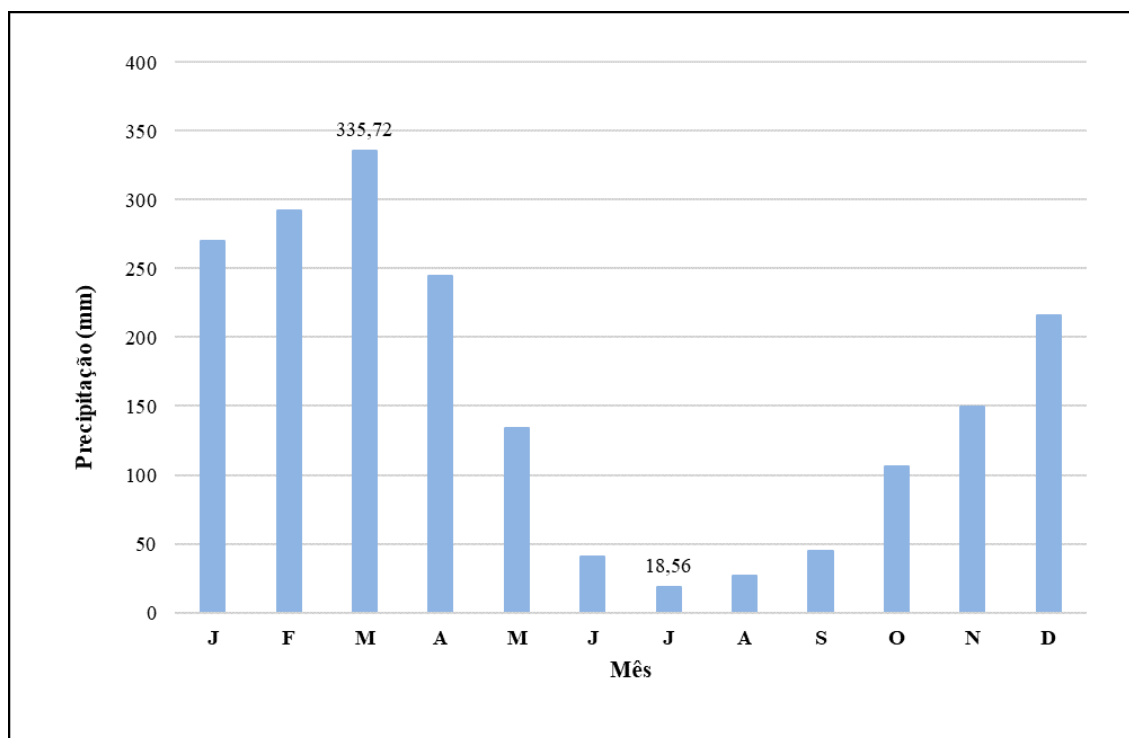
A variabilidade da chuva será associada aos anos de extremos climáticos, dada as mudanças do clima e suas interfaces com a atuação dos principais sistemas precipitantes e fenômenos oceano atmosfera que interagem na promoção da chuva local.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa apresentou a climatologia mensal da precipitação pluviométrica para o município de Marabá/Pará obtida por meio das médias mensais no período de estudo, com o diferencial na fonte dos dados, que pioneiramente, utilizou dados de geotecnologia aplicadas ao município.

Na Figura 3 é mostrado a evolução do acumulado, em mm, ao longo do ano, em que é possível verificar que há dois períodos expressamente definidos, o período chuvoso e o período menos chuvoso, isso por se tratar de uma característica da região amazônica. Considera-se que o período chuvoso começa no mês de novembro e termina no mês de abril, enquanto o período menos chuvoso começa em maio e termina no mês de outubro, com destaque para os meses de março, o mês mais chuvoso, e julho, o mês menos chuvoso, com acumulados de 332,88 mm e 18,70 mm respectivamente. Estes resultados se assemelham com os obtidos por Hoffman *et al.*, (2018).

Figura 3. Climatologia mensal da precipitação de Marabá



Fonte: do autor 2025

Ainda na Figura 3 observa-se que os meses junho, julho, agosto e setembro todos atingem acumulados menores que 46 mm e observa-se também que uma redução substancial no acumulado entre os meses de março, abril, maio e junho, com diminuição de 26,06, 45,90 e 69,07% respectivamente. Já o contrário ocorre na passagem de setembro para outubro com um aumento de 136,24%.

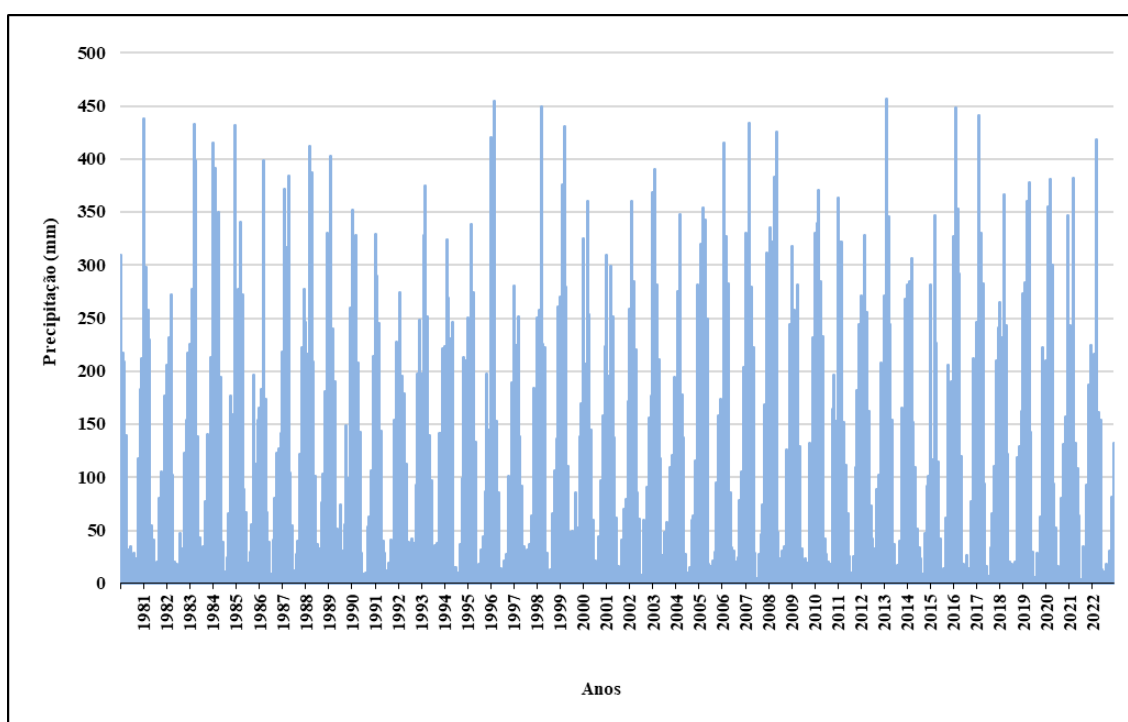
Por meio desta pesquisa foi identificar que os principais sistemas precipitantes que atuam na região e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a também a influência da Zona de Convergência no Atlântico Sul (ZCAS). A ZCIT é um sistema precipitante que atua no aumento da intensidade das chuvas na região norte e nordeste do Brasil e consiste em uma banda de nuvens que circula na faixa equatorial de todo o planeta e tem ocorrência principalmente entre os meses de março e abril, que é quando o ZCAS perdeu intensidade (Jacinto *et al.*, 2022; Brasil, 2023).

A ZCAS que consiste em uma banda de nuvens que percorre o Brasil desde o Sul da região Amazônica até a região sudeste do Brasil se encontrando com o Oceano Atlântico, ocorrendo justamente no início do período chuvoso entre os meses de

novembro e fevereiro. As chuvas que ocorrem no período menos chuvoso se devem a sistemas precipitantes de menor escala (Jacinto *et al.*, 2022; Brasil, 2023).

Portanto, esses mesmos fenômenos climáticos geram a alternância cíclica das estações chuvosa e menos chuvosa, como podemos observar na Figura 4, com o acumulado mensal ao longo da série histórica desde 1981 a 2023. Na figura 4, em relação ao mês mais chuvoso, este foi fevereiro de 2014 com 456,50 mm e o mês com menos acumulado foi julho de 2022 com apenas 4,19 mm.

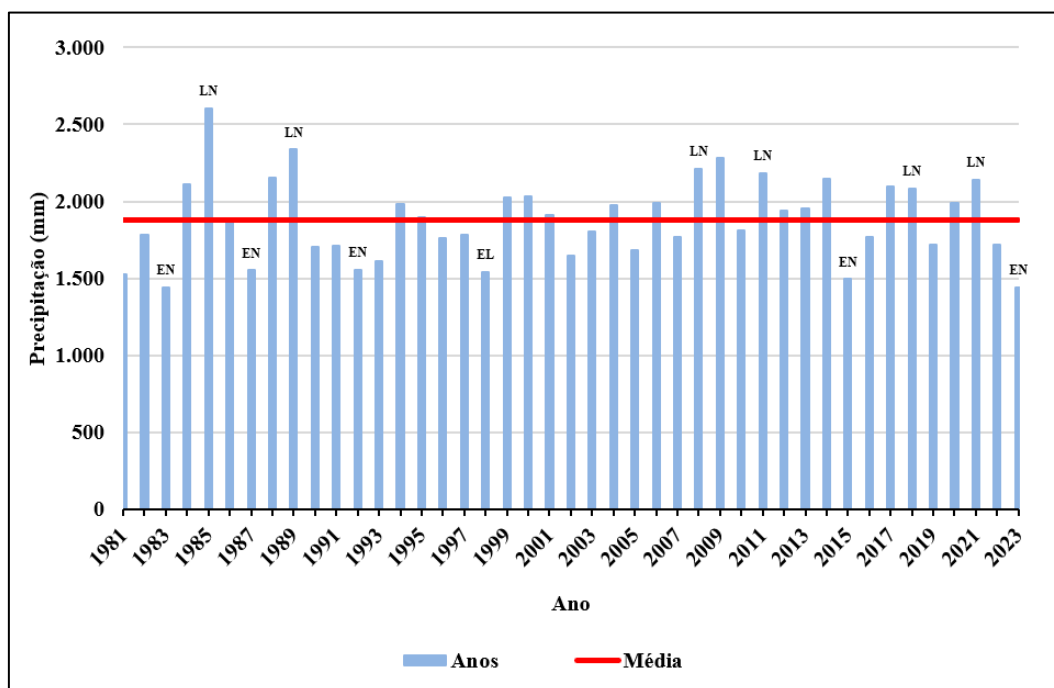
Figura 4. Precipitação acumulada mensal/ano em Marabá ao longo de 43 anos



Fonte: do Autor 2025

Na Figura 5, é possível observar as variações interanuais da precipitação pluviométrica de Marabá que são provocadas principalmente pelos eventos El Niño Oscilação Sul (ENOS) e de Dipolo do Atlântico segundo Amanájas, *et al.*, (2012). O ENOS que é um mecanismo oceano-atmosfera, em que apresenta sua fase quente (El Niño) e fase fria (La Niña), as quais influenciaram as chuvas da região (CPTEC, 2023). Identificou-se os anos de El Niño (EN) e de La Niña (LN) através de informações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Nota-se que em anos de El Niño os acumulados ficam abaixo da média e em anos de La Niña os acumulados ficam acima da média, ou seja, EN desfavorece a precipitação e LN favorece a precipitação.

Figura 5.: Acumulado anual em Marabá e ocorrência de ENOS



Fonte: do Autor 2025

A Figura 5 também mostra que a média climatológica anual da chuva em Marabá com dados providos do CHIRPS é de 1.877,40 mm, o ano de maior acumulado foi 1985 com 2.603,15 mm e o menor acumulado anual foi no ano de 1983 com 1.438,69 mm, mas também podemos destacar o ano de 2023, pois se manteve distante de 1983 por apenas 0,82 mm, ou seja, após 43 anos o município teve novamente um ano de grande baixa no acumulado anual. É possível notar que desde o ano de La Niña de 1989 até o ano de La Niña de 2008, 19 anos não ocorreu um evento de La Niña de grande destaque, isto já não ocorre com os eventos de El Niño em toda a série histórica, sendo comum anos de El Niño serem mais intensos que os de La Niña.

Por meio deste estudo foi possível identificar como sendo anos de El Niño os seguintes anos, 1982-83, 1986-87, 1991-92, 1997-98, 2002-03, 2004-05, 2009-10, 2015-16, 2018-19. Já para os anos de La Niña foram identificados os seguintes anos, 1984-85, 1988-89, 1995-96, 1998-00, 2007-08, 2010-11, 2011-12, 2017-18, 2020-21, 2021-22.

Nas Figuras 6 e 7 observa-se a variabilidade espacial dos anos de El Niño e La Niña respectivamente de maior destaque. Sendo os anos de El Niño de maior

destaque, 1983, 1987, 1992, 1998, 2015 e 2023. Para La Niña foram 1985, 1989, 2008, 2008, 2011, 2018 e 2021.

Na Figura 6 os mapas mostram uma distribuição para os anos de El Niño não muito elevada, variando em média 291,96 mm das regiões de maior acumulado para a de menor acumulado, isto é o equivalente ao que chove no mês de fevereiro conforme a Figura 3. Destaca-se o ano de 1983 que, corroborando com a Figura 5, foi o ano com menor acumulado de precipitação chegando ao máximo de apenas 1.505,93 mm e mínimo de 1.285,27 mm, porém em maior parte do território choveu próximo do valor máximo. Em compartida, 1998 teve a maior variação de máximo e mínimo com 441,65 mm, teve também o maior acumulado dentre os anos de El Niño analisados com 1.867,03 mm.

Cabe mencionar que na região onde se encontra a área urbana da cidade, na margem do rio Tocantins, na região norte do lado oriental de Marabá apresentou sempre volumes altos dentro das escalas individuais de cada ano, principalmente no extremo norte, com exceção de 2023, ano este que podemos dizer que choveu mais no lado ocidental e menos no lado oriental. Do mesmo modo na região sul do lado oriental sempre apresentou os acumulados próximo dos menores valores em suas escalas individuais com exceção em 1983.

Na Figura 7, os mapas mostram a distribuição para os anos de La Niña, em que apresentam uma alta variabilidade entre os máximos e mínimos variando em média 474,73 mm. O ano de maior variação foi o ano de 1989, com 580 mm, valor este superior ao acumulado que chove nos meses de janeiro e fevereiro juntos segundo a Figura 3. Já o ano de menor variação foi o ano de 2008 com 342,16 mm o que é próximo do acumulado do mês de março. Os anos de 2018 e 2021 tiveram uma distribuição mais homogênea.

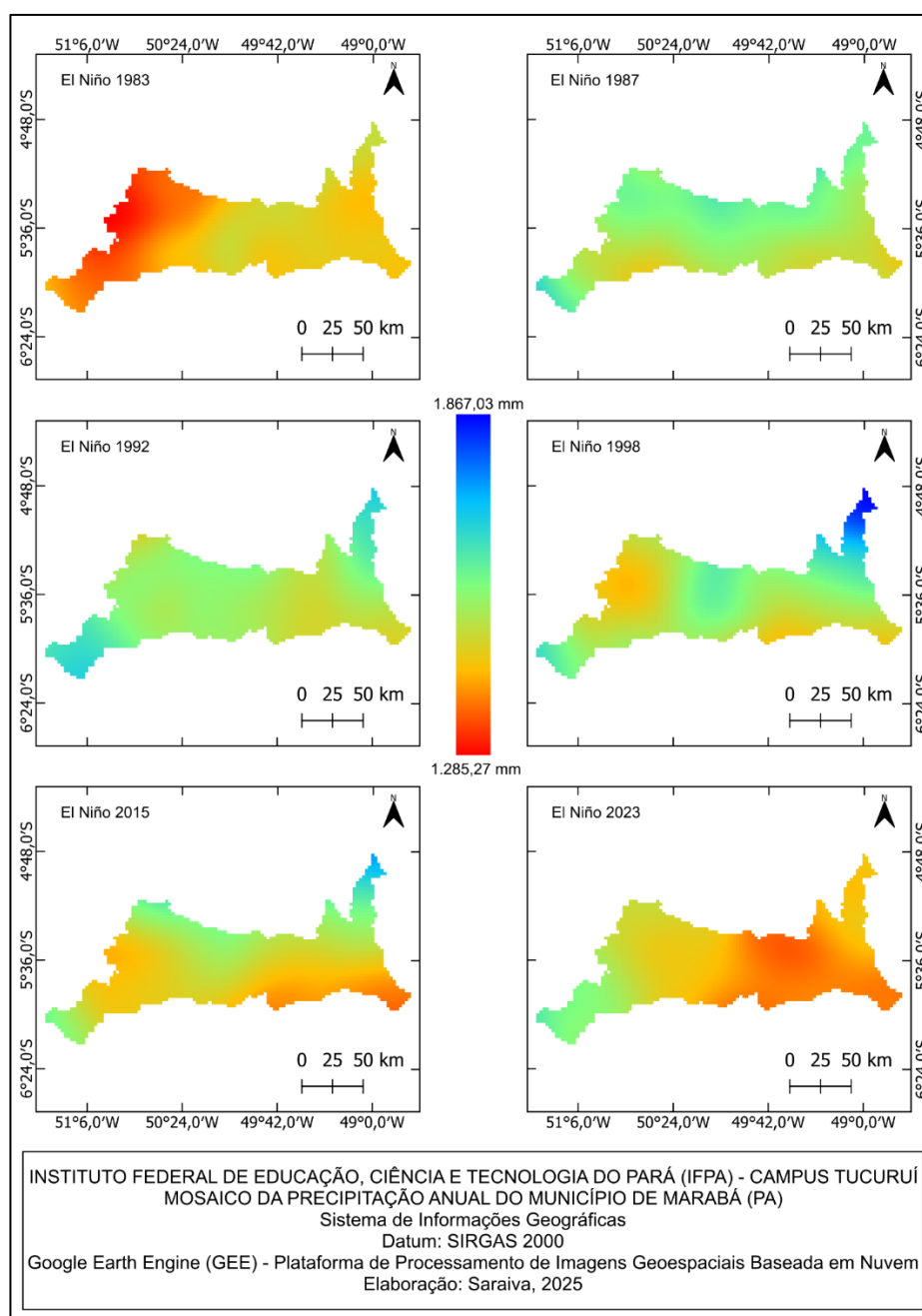
Assim como na Figura 5 o ano de maior acumulado foi o ano de La Niña de 1985, na Figura 7 1985 também apresentou as regiões com maiores valores de precipitação acumulado (região leste) com máximo de 2.801,08 mm e mesmo a região de menor acumulado (região oeste) com mínimo de 2.311,84 mm foi um valor próximo do máximo dos anos de 2011, 2018 e 2021. Já o ano de menor acumulado dentre os anos de La Niña foi 2021 com máximo de 2.331,49 mm e o menor mínimo com 1.836,76 mm.

Nos anos de La Niña dos mapas da Figura 7 também temos que na região onde se encontra a área urbana foi onde ocorreu grandes acumulados, porém mais notável

no extremo norte do lado oriental do município, enquanto que as regiões de menor acumulado ocorreram na região sul do lado ocidental do município, com exceção nos anos de 1989 e 2021.

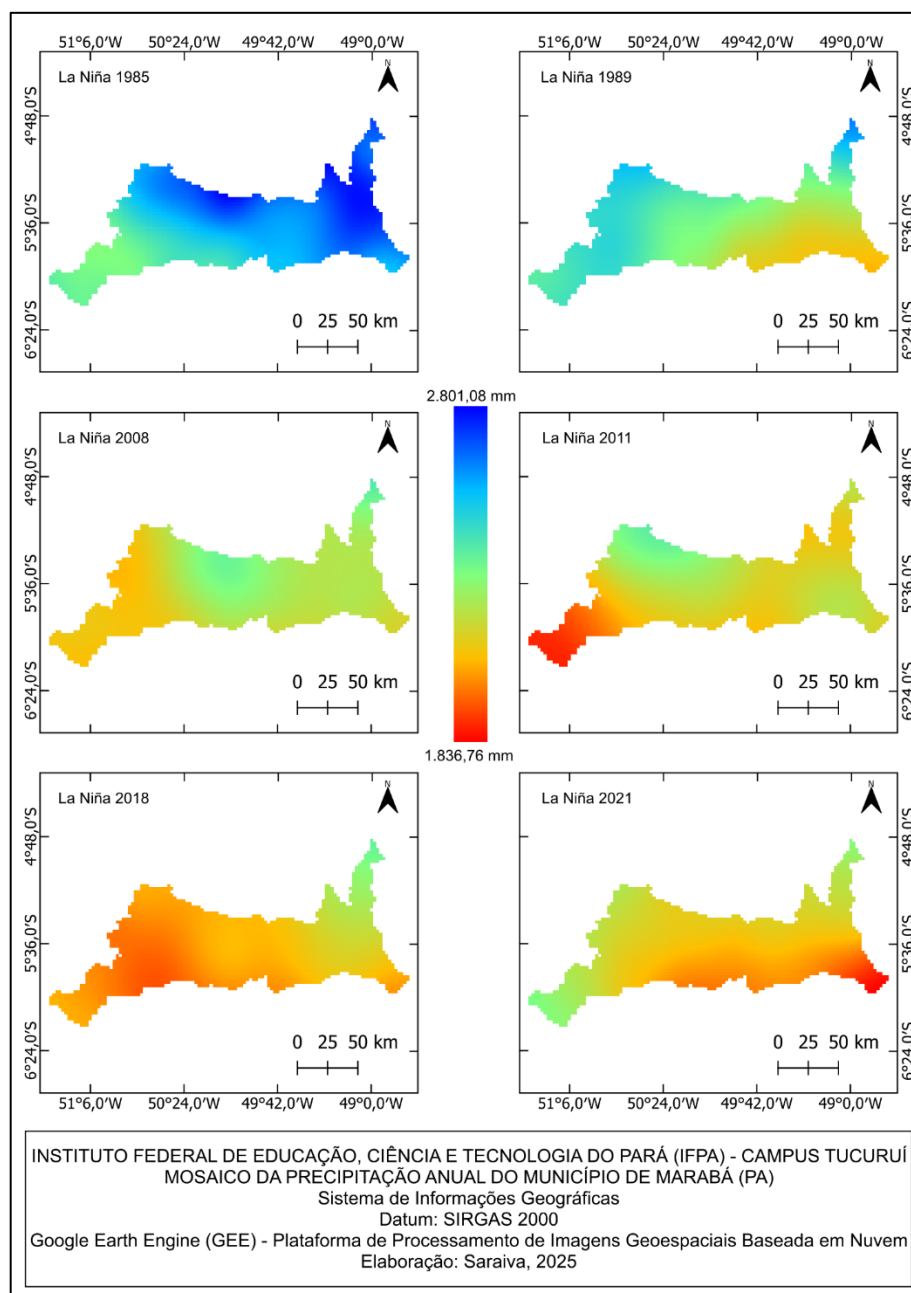
Comparando os mapas das Figuras 6 e 7, de modo geral os anos de El Niño foram mais homogêneos. Nos dois casos a área urbana foi onde mais acumulou precipitação.

Figura 6.: Mapa da precipitação de Marabá em anos de El Niño



Fonte: do Autor 2025

Figura 7.: Mapa da precipitação de Marabá em anos de La Niña.



Fonte: do Autor 2025

CONCLUSÕES

A pesquisa apresentou a climatologia mensal e anual da precipitação pluviométrica para o município de Marabá/Pará de forma satisfatória. Na região Amazônica, os anos de extremos climáticos estão diretamente ligados ao mecanismo ENOS, sendo, EN desfavorecendo a precipitação e LN favorecendo a precipitação. O

período chuvoso para o município de Marabá é de novembro a abril com março sendo o mês mais chuvoso e o período menos chuvoso é de maio e a outubro, sendo julho, o mês menos chuvoso. Os mapas temáticos durante anos de extremos climáticos permitiram uma melhor visão dos efeitos das mudanças climáticas na variabilidade dos volumes precipitados na região. Pelos mapas se constata que a área urbana de Marabá, por se encontrar às margens do rio Tocantins e ter tendência de chover mais é mais vulnerável aos extremos climáticos. Este trabalho apresenta o uso de dados de geotecnologias acessíveis, logo sua replicação para outras áreas se torna uma ótima alternativa para outros estudos, pode ainda ser utilizado em diversos setores da área ambiental, como na gestão de recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem, em primeiro lugar, a Deus por poder estar dando esta contribuição na pesquisa, ao grupo de pesquisa GeoClima do IFPA – Campus Tucuruí e a todos que de alguma forma contribuiu para esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- Alves, K. S. da S., Alves, A. V. P., Souza, N. S. e, Sanches, L., Gaio, D. C., Souza, G. S., & De Muis, C. R. (2021). ANÁLISE ESTATÍSTICA ENTRE OS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADA VIA SATÉLITE TRMM E DADOS OBSERVADOS DE SUPERFÍCIE EM PRAIA - CABO VERDE. *Revista Brasileira De Climatologia*, 21. Recuperado de <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14016>
- Agakpe, M. D., Nyatuame, M., & Ampia, F. (2024). Development of intensity–duration–frequency curves using combined rain gauge and remote sense datasets for Weta Traditional Area in Ghana. *HydroResearch*, 7, 109-121.
- Ahana, B. S., Posite, V. R., Maouly, D. K., Abdelbaki, C., Kantoush, S. A., Nguyen, B. Q., & Kumar, N. (2024). Changing rainfall patterns in the Northeastern South Kivu Region, Democratic Republic of the Congo: a detailed analysis using CHIRPS Rainfall

Data (1981–2023). *Earth Systems and Environment*, 8(4), 1733-1750. <https://doi.org/10.1007/s41748-024-00510-0>.

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

Brasil, C. F. dos S., Gallardo, N. P., Ferreira, L. M. P., Borges, A. M., Passos-de-Oliveira, A. C. S. do N., & Cruz, H. B. (2024). Clima (des)confortável em Marabá, PA: análise dos índices de conforto térmico. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, 22(1), 3309–3328. <https://doi.org/10.55905/oelv22n1-174>.

Cordeiro, A. L. de M., & Blanco, C. J. C. (2021). Assessment of satellite products for filling rainfall data gaps in the Amazon region. *Natural Resource Modeling*, 34(2), e12298. <https://doi.org/10.1111/nrm.12298>

Costa, J., Pereira, G., Siqueira, M. E., Cardozo, F., & Silva, V. V. da. (2021). VALIDAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS PELO CHIRPS PARA O BRASIL. *Revista Brasileira De Climatologia*, 24. <https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60237>.

Coutinho, E. de C., Rocha, E. J. P. da, Lima, A. M. M. de, Ribeiro, H. M. C., Gutierrez, L. A. C. L., Barbosa, A. J. S., ... Tavares, P. A. (2021). VARIABILIDADE CLIMÁTICA DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA AMAZÔNICA BRASILEIRA. *Revista Brasileira De Climatologia*, 22. <https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.46074>.

Franco, M. A. de M. (2025). Mudanças climáticas e os desafios enfrentados pela Amazônia. *Cadernos de Astronomia*, 6(1), 11-22. <https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v6n1.47433>.

Espinoza Villar, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., ... & Vauchel, P. (2008). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(11), 1574-1594. <https://doi.org/10.1002/joc.1791>

Fenta, A. A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Yasuda, H., Tsubo, M., Borrelli, P., ... & Panagos, P. (2023). Improving satellite-based global rainfall erosivity estimates

through merging with gauge data. *Journal of Hydrology*, 620, 129555. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129555>.

Flores, B. M., Montoya, E., Sakschewski, B., Nascimento, N., Staal, A., Betts, R. A., ... & Hirota, M. (2024). Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature*, 626(7999), 555-564. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06970-0>.

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., ... & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, 2(1), 1-21. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

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>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). Coordenação de Geografia. Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias. Rio de Janeiro.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). Cidades e Estados: Marabá. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/maraba.html>>. Acesso em: 16 mar. de 2025.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. O que é Zona de Convergência Intertropical? Entenda agora! (2023). Disponível: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/zona-de-convergencia-intertropical-zcit>. Acesso: 12/02/2025.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. O que é Zona de Convergência do Atlântico Sul? Entenda agora! (2023). Disponível: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/zona-de-convergencia-do-atlantico-sul-zcas>. Acesso: 12/02/2025.

Jacinto, L. V., Eloi, W. M., & Sakamoto, M. S. (2022). Características Climatológicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37, 69-80. <https://doi.org/10.1590/0102-77863710062>.

- Macharia, J. M., Ngetich, F. K., & Shisanya, C. A. (2020). Comparison of satellite remote sensing derived precipitation estimates and observed data in Kenya. *Agricultural and Forest Meteorology*, 284, 107875. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107875>.
- Mano, G. B., Lopes, A., & Piedade, M. T. F. (2023). Will climate change favor exotic grasses over native ecosystem engineer species in the Amazon Basin?. *Ecological Informatics*, 75, 102102. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102102>
- Medeiros, N. L., Junior, A. P., dos Santos Jesus, E., & Jesus, N. D. V. G. (2020). Variabilidade espacial do conforto térmico em pontos distintos do município de Marabá-pa. *C569 Ciências ambientais: climatologia, geotecnologias, mineração e estudos de monitoramento/Altem Nascimento Pontes; Alessandro Silva do Rosário (Orgs.).—Belém: EDUEPA, 2020. 166 p.: il. Inclui bibliografias, 87.*
- Moraes, B. C. D., Costa, J. M. N. D., Costa, A. C. L. D., & Costa, M. H. (2005). Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta amazonica*, 35, 207-214. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000200010>
- Mu, Ye, & Jones, Charles. An observational analysis of precipitation and deforestation age in the Brazilian Legal Amazon. *Atmospheric research*, 271 (). Recuperado de <https://par.nsf.gov/biblio/10323449>. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106122>.
- Nawaz, M., Iqbal, M. F., & Mahmood, I. (2021). Validation of CHIRPS satellite-based precipitation dataset over Pakistan. *Atmospheric Research*, 248, 105289. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105289>.
- Neves, J. P. P., Condurú, M. T., Pinheiro, I. J. de S., Silva Neta, C. P. B. da, & Almeida, J. A. P. (2024). Desenvolvimento sustentável e Amazônia na Ciência da Informação: perspectivas do século XXI. *Informação & Informação*, 28(3), 28–54. <https://doi.org/10.5433/1981-8920.2023v28n3p28>.
- Nian, D., Bathiany, S., Sakschewski, B., Drüke, M., Blaschke, L., Ben-Yami, M., ... & Boers, N. (2024). Rainfall seasonality dominates critical precipitation threshold for the Amazon forest in the LPJmL vegetation model. *Science of the Total Environment*, 947, 174378. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174378>.

- Orihuela, J. C., & Mendieta, A. (2021). One and three forests: Understanding institutional diversity in Amazonian protected areas. *Forest Policy and Economics*, 133, 102620. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102620>.
- Paca, V. H. da M., Espinoza-Davalos, G. E., Moreira, D. M., & 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.
- Pereira, E. J. D. A. L., de Santana Ribeiro, L. C., da Silva Freitas, L. F., & de Barros Pereira, H. B. (2020). Brazilian policy and agribusiness damage the Amazon rainforest. *Land use policy*, 92, 104491. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104491>.
- Pereira, G., Silva, M. E. S., Moraes, E. C., & Cardozo, F. D. S. (2013). Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(3), 139-148.
- Rabelo, D. R., Santos, M. R., & Sousa Filho, M. R. (2022). Análise comparativa dos dados pluviométricos de satélite e de superfície em bacia hidrográfica semiárida. *Revista brasileira de sensoriamento remoto*, 3(1), 63–75. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6407151>.
- Redivo, P. C., Sanches, L., & Alves, K. S. da S. (2021). Aplicação da precipitação estimada por sensoriamento remoto no balanço hídrico simplificado da bacia hidrográfica de Ribeirão Nobres, Brazil. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 14(5), 2878–2895. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p2861-2878>.
- Sadeghi, M., Shearer, E. J., Mosaffa, H., Gorooh, V. A., Naeini, M. R., Hayatbini, N., ... & Sorooshian, S. (2021). Application of remote sensing precipitation data and the CONNECT algorithm to investigate spatiotemporal variations of heavy precipitation: Case study of major floods across Iran (Spring 2019). *Journal of Hydrology*, 600, 126569. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126569>.
- Santos, M. R. S., De Paula, E. M. S., Rabelo, D. R., & Pimentel, M. A. da S. (2024). VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL (1981-2020) DA CHUVA NA REGIÃO COSTEIRA DO ESTADO DO PARÁ – AMAZÔNIA ORIENTAL. *Caminhos De Geografia*, 25(99), 167–178. <https://doi.org/10.14393/RCG259970567>.

Segura, H., Espinoza, J. C., Junquas, C., Lebel, T., Vuille, M., & Garreaud, R. (2020). Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical Andes/western Amazon. *Climate Dynamics*, 54(5), 2613-2631. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05132-6>.

Zhang, S., Qu, X., Huang, G., & Hu, P. (2025). Reduced rainfall over the Amazon basin in an idealized CO2 removal scenario: Remote dynamic processes. *Journal of environmental sciences*, 155, 525-537. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.05.035>.

Zubieta, R., Getirana, A., Espinoza, J. C., & Lavado, W. (2015). Impacts of satellite-based precipitation datasets on rainfall–runoff modeling of the Western Amazon basin of Peru and Ecuador. *Journal of Hydrology*, 528, 599-612. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.064>.

SOBRE OS AUTORES / ORGANIZADORES

Alena Vitória Araujo Peixoto é Engenheira Sanitarista e Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua na área de sensoriamento remoto.

Aline Leal do Nascimento é Engenheira Sanitarista e Ambiental, técnica em meio ambiente pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua na área de geotecnologias.

Andrés Danilo Velástegui Montoya é doutor em ciências ambientais pela Universidade Federal do Pará (UFPA) e professor na Faculdade de Engenharia em Ciências da Terra (FICT) na Escola Superior Politécnica do Litoral (ESPOL – EQUADOR). Atua nas áreas de sistema de informação geográfica, sensoriamento remoto e mudanças no uso e cobertura da terra.

Benedito Pereira dos Santos é Engenheiro Sanitarista e Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua na área de sistema de informações geográfica.

Davi Rodrigues Rabelo é doutor em geografia pela Universidade Estadual do Ceará (UECE) e professor no curso de Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da UECE. Atua nas áreas hidrossedimentologia, geomorfologia, vegetação, geoprocessamento e impacto ambiental.

Devanilda Ranieri Martins da Fonseca é Mestra em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia pela Universidade Federal do Pará (UFPA) e professora de ensino básico, técnico e tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua nas áreas de vigilância sanitária e ambiental e gestão de resíduos sólidos.

Ester Cunha Estumano é Engenheira Sanitarista e Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua na área de sensoriamento remoto.

Flávio Rodrigues Saraiva é Engenheiro Sanitarista e Ambiental e Técnico em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua na área de sistema de informações geográfica e geoprocessamento.

Francisca Socorro Peixoto é mestra em engenharia agrícola pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e professora de ensino básico, técnico e tecnológico do

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua nas áreas de qualidade de água, hidrologia e gestão dos recursos hídricos.

Gilberto Caldeira Barreto é doutor em engenharia de recursos naturais da Amazônia pela Universidade Federal do Pará, e professor de ensino básico, técnico e tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua nas áreas de saneamento ambiental e tratamento de água

Giordani Rafael Conceição Sodré é doutor em ciências ambientais pela Universidade Federal do Pará (UFPA), e meteorologista na UFPA. Atua na área de clima, queimadas, gestão ambiental e eventos extremos.

Glauby do Rego Bezerra é especialista em Ordenamento Territorial Urbano pela Universidade Federal do Pará (UFPA), e professor de ensino básico, técnico e tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua nas áreas de gestão de resíduos sólidos, licenciamento e fiscalização ambiental.

Marcos Ronielly da Silva Santos é doutor em ciências ambientais pela Universidade Federal do Pará (UFPA) e professor de ensino básico, técnico e tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua nas áreas de climatologia e vulnerabilidade socioambiental.

Marcos Samuel Matias Ribeiro é doutor em ciências climáticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), e professor da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Atua nas áreas de Estatística Aplicada, Estatística Experimental e Bioestatística.

Maria Isabel Vitorino é doutora em meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e professora da Universidade Federal do Pará (UFPA). Atua na área de climatologia de múltiplas escalas de tempo e variabilidade climática nas atividades socioambientais.

Midson Cesar Feitosa Cardoso é mestre em Processos Construtivos e Saneamento Urbano pela Universidade Federal do Pará (UFPA), e professor de ensino básico, técnico e tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua na área de obras de engenharia e projetos.

Milena de Nazaré Santos Quaresma é doutora em geografia pela Universidade Federal do Pará (UFPA) e professora da Universidade Estadual do Pará (UEPA). Atua nas áreas de cartografia e biogeografia.

Monique Sandra Oliveira Dias Barreto é mestra em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA), e professora de ensino básico, técnico e

tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua nas áreas de saneamento ambiental e esgoto doméstico e industrial.

Rayane da Silva Ferreira é Engenheira Sanitarista e Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua na área de geotecnologias e na análise climática.

Rodolfo Altair Bulcão é Engenheiro Sanitarista e Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua na área de geoprocessamento

Terlys de Araújo Silva é mestre em engenharia civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA), e professor de ensino básico, técnico e tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atua na área de obras de Tecnologia das Construções e planejamento urbano.

