

## 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](mailto: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](mailto:esterestumano1609@gmail.com)

**Marcos Ronielly da Silva Santos**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Instituto Federal do Pará, Tucuruí, PA, Brasil  
[marcos.santos@ifpa.edu.br](mailto:marcos.santos@ifpa.edu.br)

**Giordani Rafael Conceição Sodré**

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil  
[giordani@ufpa.br](mailto:giordani@ufpa.br)

### RESUMO

Devido às mudanças climáticas, 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 e temperatura. Compreender a inter-relação dos fatores que desencadeiam essas mudanças, requer 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 empregou geotecnologias, como o Google Earth Engine e SIG, para identificar padrões pluviométricos e a influência de fenômenos oceano-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. Esse conhecimento constitui um subsídio relevante para o gerenciamento regional, principalmente para enfrentar os impactos das mudanças climáticas, socioeconômicas e ambientais.

**Palavras-chave:** Chuva. Climatologia. Geotecnologia. Amazônia. ENOS.

### 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 and temperature. Understanding the interplay of factors driving these changes requires observations at different temporal scales. This study analyzes the temporal and spatial distribution of precipitation in the municipalities of Tucuruí and Goianésia do Pará, based on CHIRPS data from 1981 to 2023. The methodology utilized geotechnologies, such as Google Earth Engine and GIS, to identify pluviometric patterns and the influence of ocean-atmosphere phenomena, such as ENSO. The results reveal a pronounced seasonal regime, with peaks in March and minima in August. The influence of El Niño and La Niña showed a direct impact on rainfall variability, corroborating recent studies on the Amazonian climate. This knowledge provides an important framework for regional management, essential to addressing climatic, socioeconomic, and environmental impacts.

**Keywords:** Rain. Climatology. Geotechnology. Amazon. ENSO.

## 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, na circulação atmosférica e na ocorrência de eventos climáticos extremos, todos os quais exercem um impacto profundo em diversos aspectos do sistema socioeconômico global. Conseqüentemente, a compreensão dessas mudanças e de seus efeitos é crucial não apenas para a preservação ambiental, mas também para a mitigação de riscos e o desenvolvimento sustentável (Artaxo, 2020).

A gênese dessa problemática reside no fato de que as atividades humanas, principalmente o lançamento de gases do efeito estufa, intensificam o aquecimento global. Estudos apontam que o efeito estufa sofre influência principalmente do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 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).

Nesse cenário de transformações globais, uma das conseqüências mais imediatas e críticas manifesta-se na alteração do ciclo hidrológico. Assim, a precipitação destaca-se como uma variável fundamental a ser considerada ao discutir este tema. Essa 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. Contudo, a variabilidade na quantidade e na 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. O estudo da 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 à 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).

A precisão desses estudos e de suas análises depende, sobremaneira, da compreensão de como a região é afetada por distintos sistemas de circulação atmosférica. No que tange aos 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 e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que consiste em uma faixa de nuvens formada pelo encontro dos ventos alísios do Hemisfério Norte e do Hemisfério Sul, criando uma zona de intensa atividade convectiva de nuvens que percorre todo o globo terrestre na faixa equatorial (INMET, 2023a; INMET, 2023b).

Em grande escala, o fenômeno oceano-atmosfera El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um dos principais causadores de extremos climáticos. Ele é caracterizado pelo aquecimento ou resfriamento superior a  $\pm 0,5^\circ$  C das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial por um período mínimo e contínuo. Em anos de anomalias positivas, na região amazônica, a ocorrência do El Niño (fase quente) reduz os níveis de precipitação, enquanto o inverso acontece em anos de La Niña (fase fria), associado a anomalias negativas (Sousa *et al.*, 2015; CPTEC, 2024). Embora o ENOS seja um modo de variabilidade interna natural, sua dinâmica tem sido profundamente influenciada pelo aquecimento global. O aumento da temperatura média global não apenas intensifica o gradiente térmico nos oceanos, mas também altera a estabilidade da atmosfera, resultando em eventos de El Niño e La Niña mais frequentes, severos e persistentes. Assim, a mudança climática de longo prazo atua como amplificadora dos extremos climáticos, tornando os impactos das teleconexões, como as secas severas ou chuvas torrenciais, menos previsíveis e mais impactantes para o sistema socioambiental (Chen *et al.*, 2024; Uddin *et al.*, 2025).

Diante da necessidade de compreender como essas variações afetam o regime pluviométrico, os dados de sensoriamento remoto são uma alternativa eficiente para estudos de variabilidade espaço-temporal da chuva em extensas regiões com escassez de dados, suprimindo 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 para 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).

A variabilidade da precipitação é um tema recorrente na literatura climatológica, contudo, os estudos voltados ao sudeste do Pará ainda carecem de densidade, limitando-se, em sua maioria, a análises pontuais baseadas em estações meteorológicas de superfície frequentemente descontínuas. A presente pesquisa distingue-se das abordagens regionais anteriores ao introduzir o uso de geotecnologias e sensoriamento remoto como pilares metodológicos, permitindo uma análise de alta resolução espaço-temporal que as redes convencionais não conseguem prover. Esse avanço metodológico possibilita não apenas superar a escassez histórica de dados *in situ*, mas também mapear, de forma inédita para esta área, em específico Tucuruí e Goianésia do Pará, como ocorre o acoplamento entre a variabilidade natural (ENOS), em uma escala de detalhamento ainda não explorada pela produção científica local.

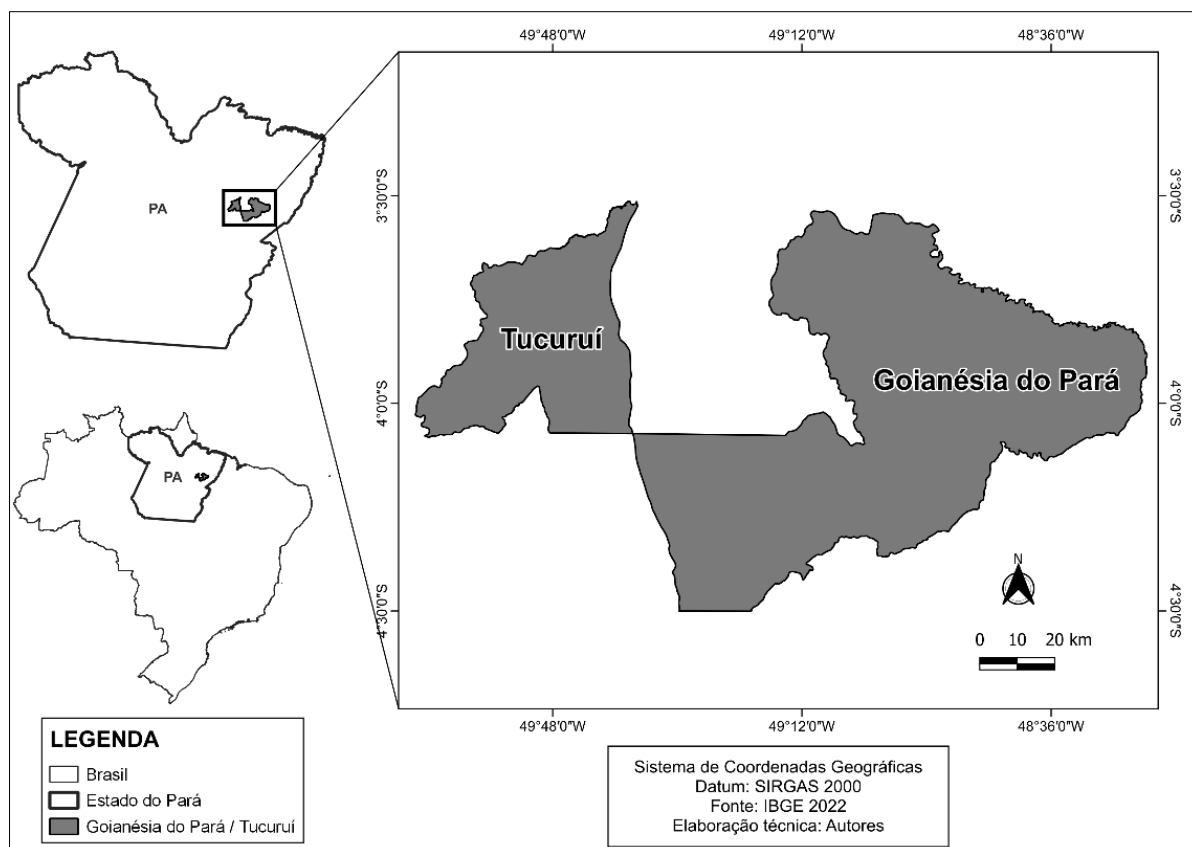
Sob essa ótica, justifica-se a importância desta pesquisa, que tem como objetivo de analisar a variabilidade da distribuição temporal da precipitação mensal e anual do município de Tucuruí e Goianésia do Pará, empregando geotecnologias. Além disso, o estudo visa analisar a chuva durante os anos de ocorrência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

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

Os municípios de Tucuruí e Goianésia do Pará integram, juntamente aos municípios de Breu Branco, Novo Repartimento, Pacajá e Baião, a Região Imediata de Tucuruí, conforme a nova divisão regional do Brasil realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2017 (Figura 1). Situados no sudeste do estado do Pará, Tucuruí e Goianésia do Pará apresentam população estimada em 91.306 habitantes e 26.362 habitantes, respectivamente, somando um território de 9.108,235 km<sup>2</sup> (IBGE, 2023a; IBGE, 2023b).

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



Fonte: IBGE, 2022. Elaboração ou organização: 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 a maio, e a estação menos chuvosa, de junho a novembro (Lopes *et al.*, 2020; Jesus *et al.*, 2021).

### **Metodologia**

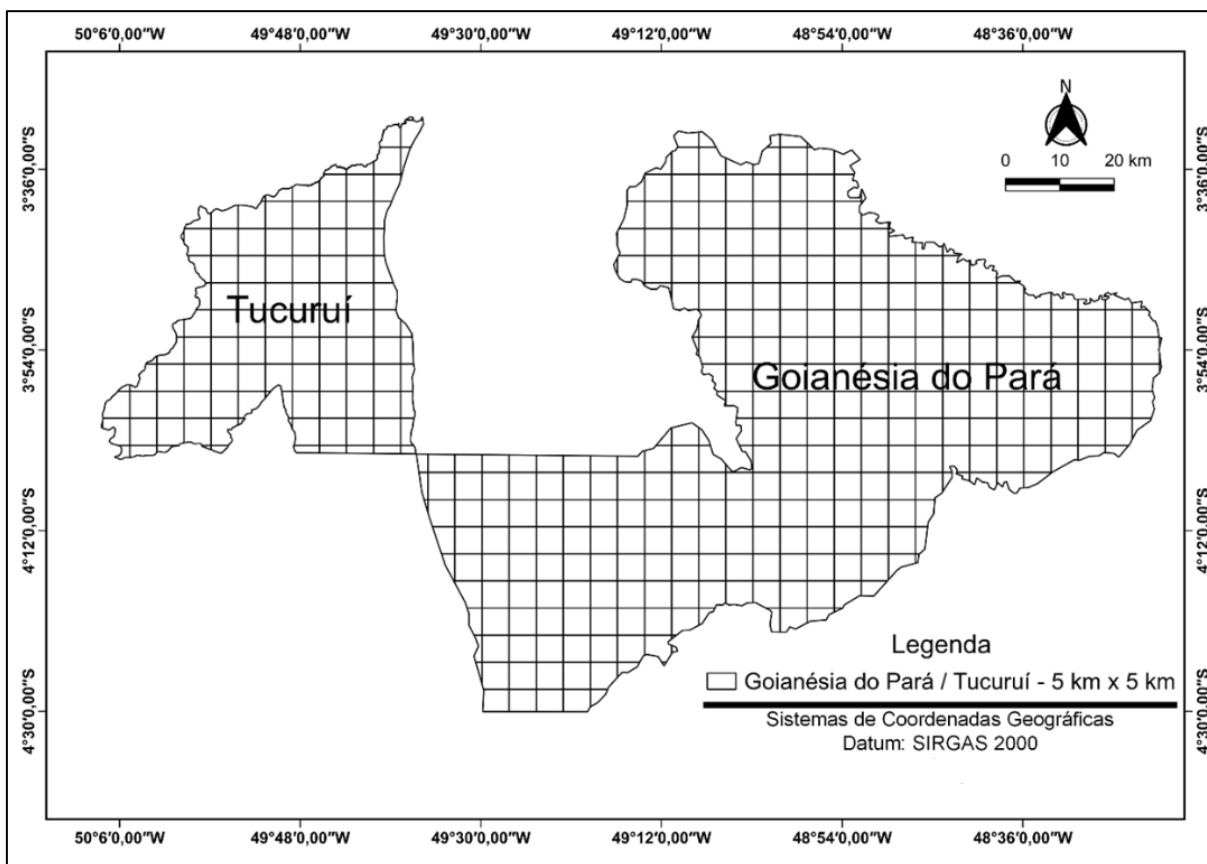
A metodologia aplicada utiliza dados de geotecnologias obtidos por satélite para estimar valores de precipitação (chuva). A fonte dos dados foi a *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS), uma técnica de sensoriamento remoto desenvolvida pelo *Earth Resources Observation and Science* (EROS) da *United States Geological Survey* (USGS, s.d.), 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 viabilidade desse produto é sustentada por diversos estudos (Cavalcante *et al.*, 2020; Gwatida *et al.*, 2023; Kibii; Plessis, 2023; Sa'adi *et al.*, 2024; Tikuye *et al.*, 2025) que utilizaram o CHIRPS e comprovaram sua eficiência e confiabilidade. Rabelo; Santos; Sousa Filho. (2022), ao validarem os dados do CHIRPS em comparação com estações pluviométricas na bacia hidrográfica do Rio Seridó, observaram que a consistência das estimativas é potencializada em regiões com redes *in situ* densas. Todavia, os autores ressaltam a eficácia do CHIRPS na espacialização da precipitação, salientando que o produto apresenta desempenho satisfatório e torna-se particularmente vantajoso em áreas onde a rede de monitoramento convencional é escassa. Adicionalmente, outros estudos, alguns tendo como área de estudo regiões da Amazônia, que buscaram validar os dados do CHIRPS utilizando métricas estatísticas e modelagem corroboram os bons resultados do produto (Katsanos; Retalis; Michaelides, 2016; Paredes-Trejo; Barbosa; Kumar, 2017; Rivera; Marianetti; Hinrichs, 2018; Costa *et al.*, 2019; Nawaz; Iqbal; Mahmood, 2021; Berneo *et al.*, 2022).

Para realizar as análises, foram extraídos dados diários de precipitação de séries temporais do produto CHIRPS, que combina informações de satélites e estações meteorológicas, com resolução de 0,05° (cerca de 5 km), nos formatos Esri Bil, GeoTiff e NetCDF (Figura 2). O processamento e extração de dados ocorreram 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.

Com o intuito de obter a resposta da precipitação aos fenômenos de interação oceano-atmosfera, a análise da variabilidade interanual concentrou-se nos anos de extremos climáticos acentuados (fases de El Niño e La Niña de intensidade forte a muito forte). Essa seleção visa maximizar o sinal da anomalia climática sobre o sudeste paraense, minimizando ruídos de sistemas meteorológicos locais. Além disso, analisar os extremos acentuados permite focar no cenário de maior risco, o que é especialmente relevante para os gestores públicos. Para tanto, utilizaram-se dados de anomalia da Temperatura Superficial do Mar (TSM) provenientes da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), cruzados com as classificações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Por conseguinte, a espacialização e a representação visual desses períodos foram conduzidas no software QGIS, permitindo o mapeamento da distribuição pluviométrica sob a influência das fases extremas do ENOS.

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



Fonte: IBGE, 2022. Elaboração ou organização: 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 os municípios de Tucuruí e Goianésia do Pará, por meio do sensoriamento remoto, considerando um período de estudo de 43 anos.

### **Escala mensal**

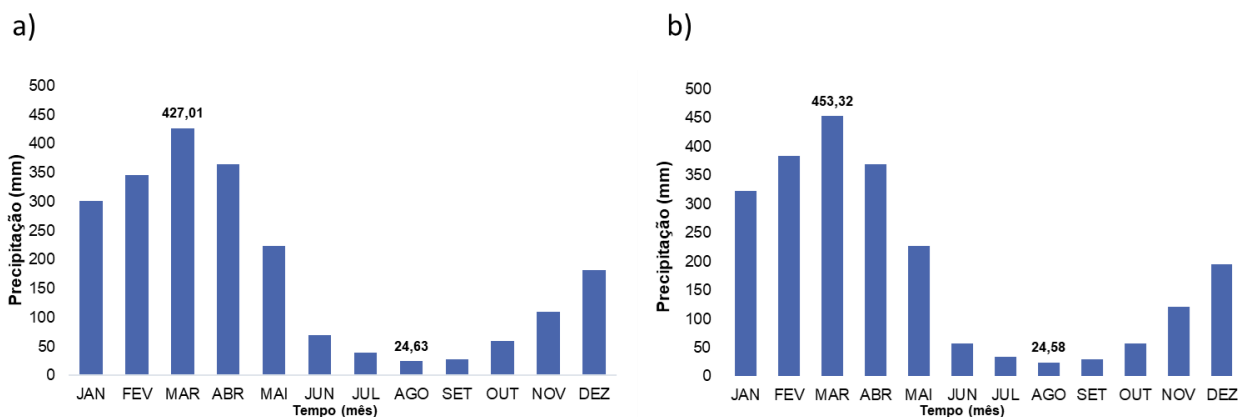
A Figura 3 apresenta a climatologia mensal da precipitação, em milímetros, ao longo dos anos, evidenciando dois períodos bem definidos: o chuvoso e o menos chuvoso. Nos municípios de Tucuruí e Goianésia do Pará, o período chuvoso ocorre entre os meses de dezembro e maio, enquanto o período com menores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

Pode-se observar ainda, na Figura 3<sup>a</sup>, que há uma transição gradual do período menos chuvoso para o chuvoso com o mês de novembro, enquanto a transição inversa ocorre de forma mais acentuada a partir do 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 ZCIT, que intensifica as chuvas entre o verão e o início do outono (Dias *et al.*, 2021; Ribeiro; Vitorino; Moura, 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 - Climatologia mensal da precipitação (mm) para os municípios de Tucuruí (gráfico à esquerda) e Goianésia do Pará (gráfico à direita) para o período de 1981 a 2023



Fonte: Os autores, 2025.

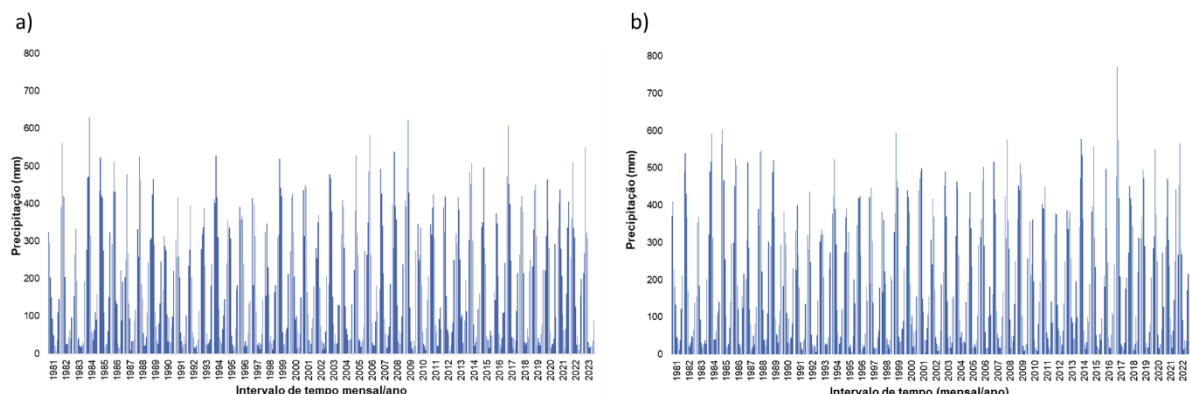
O acompanhamento e a análise da precipitação mensal são de grande importância, especialmente no que se refere ao desenvolvimento socioeconômico e socioambiental (Bento *et al.*, 2024). Nos meses de dezembro a maio, que correspondem ao período chuvoso, tanto a agricultura quanto a pecuária são amplamente favorecidas, pois a maior disponibilidade de água favorece o desenvolvimento de culturas e o crescimento das 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 de espécies sensíveis aos baixos níveis de água, como o tambaqui, principal espécie aquícola produzida no Pará (IBGE, 2023c). 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 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 desloca-se 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 ENOS e pelo Dipolo do Atlântico (Dias *et al.*, 2021).

A 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 e fevereiro. Sua atuação está associada a eventos de chuva de mesoescala, cuja intensidade e localização são influenciadas por fenômenos climáticos como o 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 - Acumulados anuais e mensais da precipitação (mm) para os municípios de Tucuruí (gráfico à esquerda) e Goianésia do Pará (gráfico à direita) desde 1981 a 2023



Fonte: Os autores, 2025.

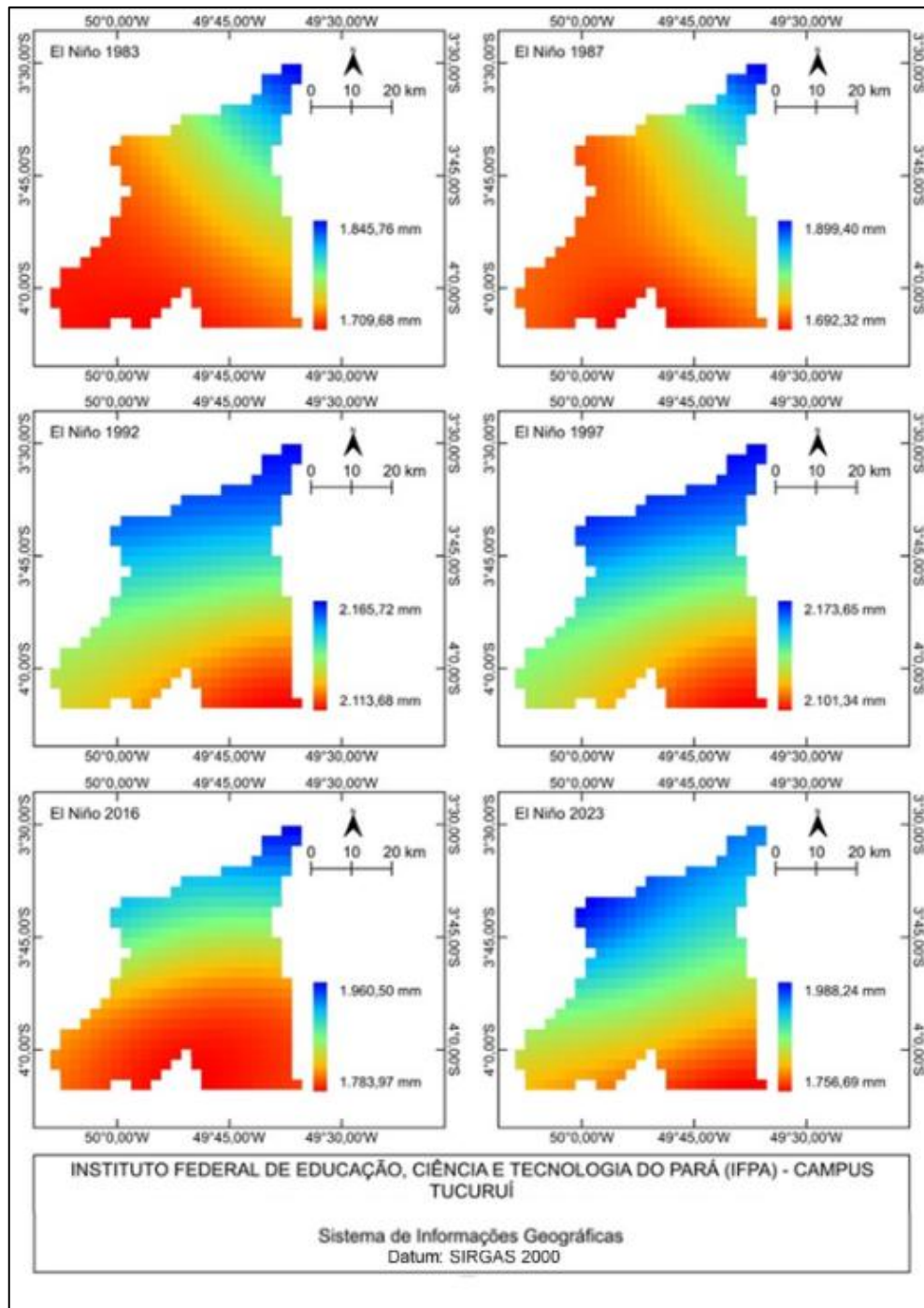
Esses resultados alinham-se às observações apontadas por Pörtner *et al.*, (2022) e Sousa *et al.*, (2015), que indicam que as mudanças climáticas, intensificadas pelas emissões de gases de efeito estufa, têm provocado alterações significativas nos padrões climáticos do planeta, como a temperatura e 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 a ocorrência de desastres ambientais. Tais fenômenos afetam diretamente as atividades econômicas, especialmente a agropecuária e a pesca, além de agravarem a vulnerabilidade socioambiental das populações locais.

### Variabilidade climática

Durante o período de 43 anos analisado, 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 ENOS. O El Niño corresponde ao aquecimento anômalo das águas do Oceano Pacífico Equatorial, enquanto a La Niña está relacionada 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).

Nas Figuras 5 e 6, observa-se a variabilidade espacial da chuva no município de Tucuruí e Goianésia do Pará, respectivamente, para os anos de El Niño de maior destaque: 1983, 1987, 1992, 1997, 2016, e 2023. Na Figura 5, referente ao município de Tucuruí, observa-se que a região que menos recebeu chuva foi a porção sul, com 1.692,32 mm no ano de 1987, sendo esse o menor acumulado registrado. 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 apresentam comportamento muito semelhante entre si, tanto em quantitativo quanto em distribuição, do mesmo modo que os anos de 1992 e 1997. Os anos de 1992 e 1997 também apresentaram variabilidade espacial 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.

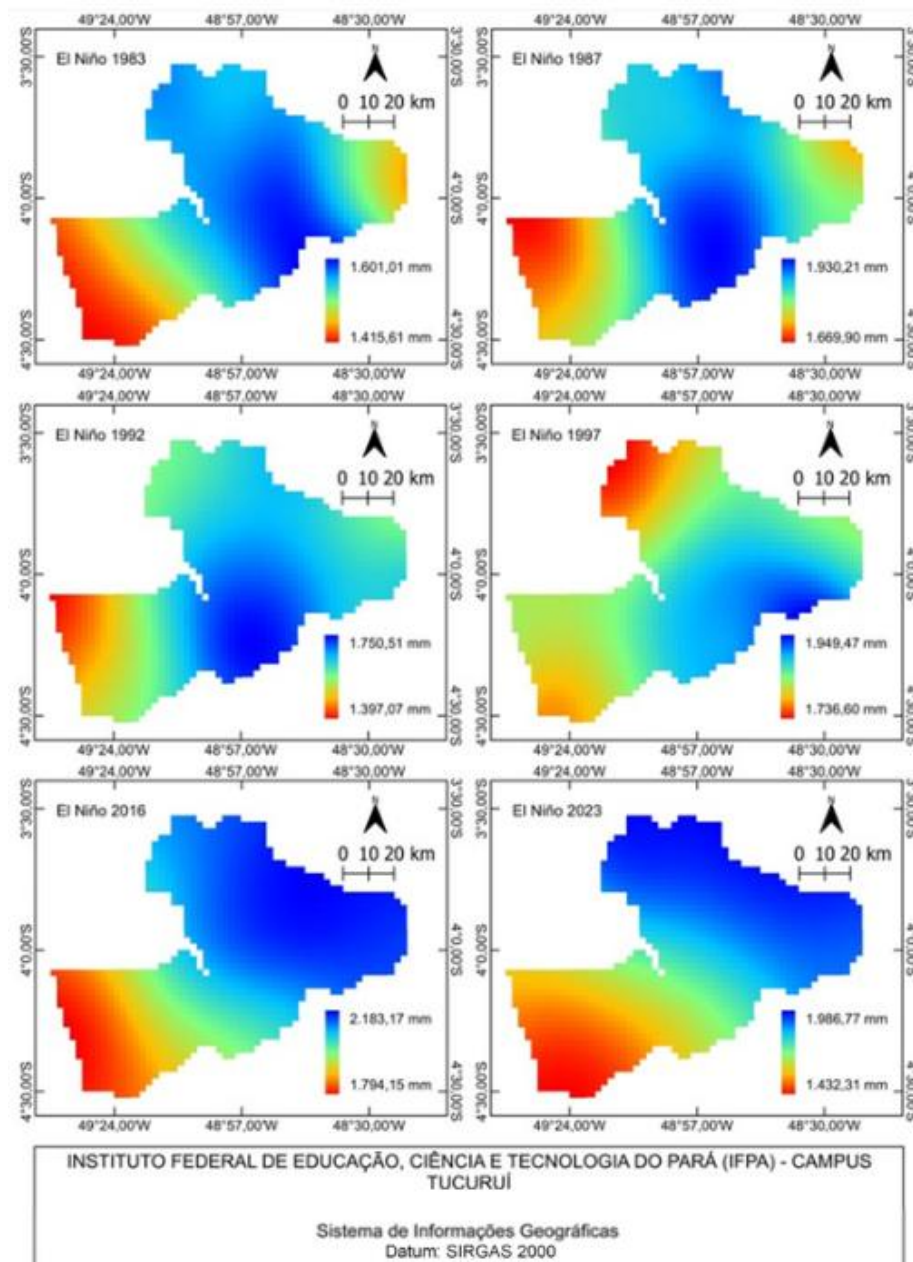
Figura 5 – Mapas da variabilidade espacial em anos de extremos de ENOS em sua fase El Niño em Tucuruí (PA)



Fonte: Gorelick *et al.*, 2017. Elaboração ou organização: Os autores, 2025.

Na Figura 6, que apresenta 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 do extremo leste e do 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 diferença máxima de apenas 185 mm entre as regiões do município.

Figura 6 - Mapas da variabilidade espacial em anos de extremos de ENOS em sua fase El Niño em Goianésia do Pará (PA)



Fonte: Gorelick *et al.*, 2017. Elaboração ou organização: Os autores, 2025.

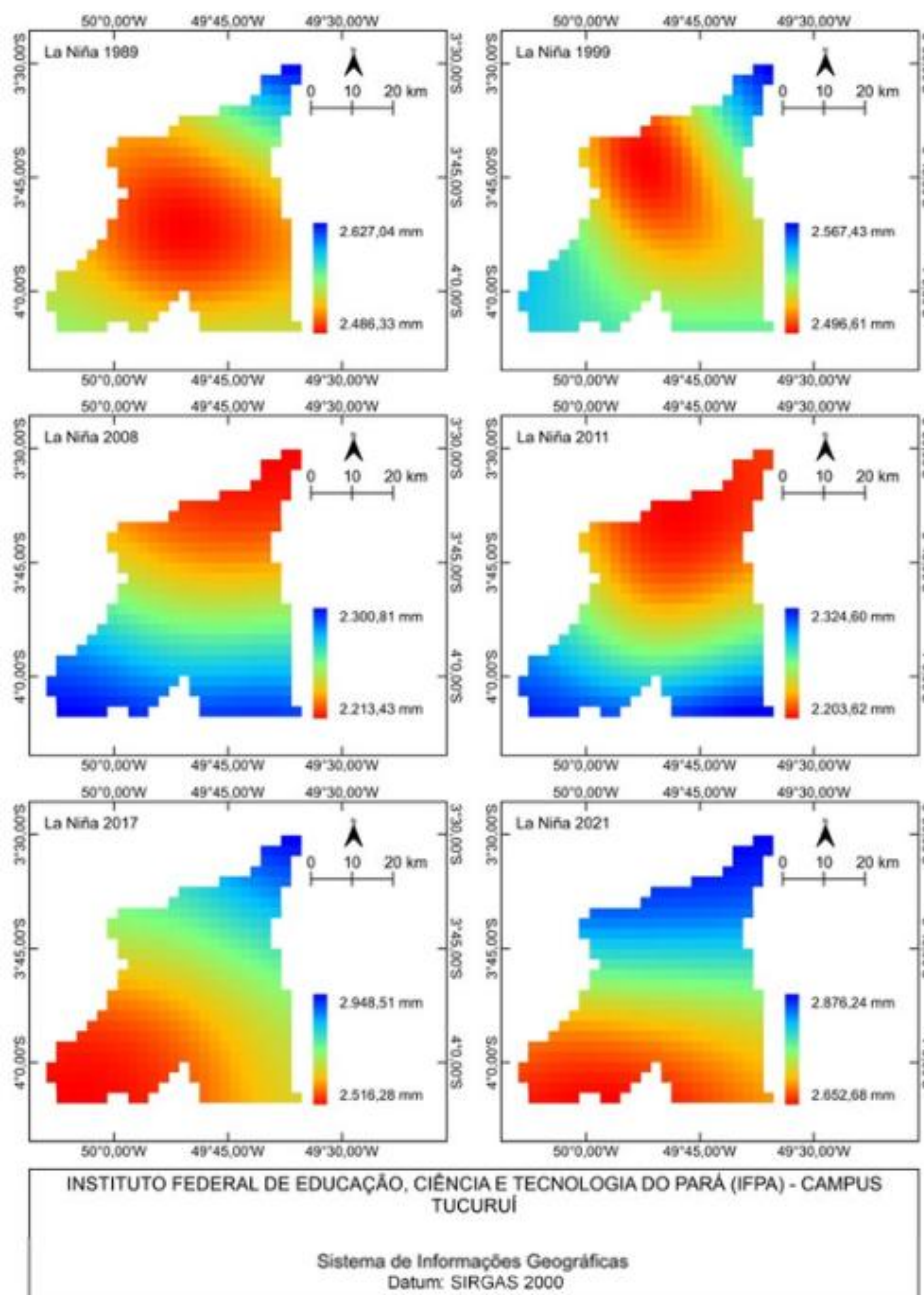
Para se ter melhor dimensão do impacto do ENOS sobre a precipitação nos municípios de Tucuruí e Goianésia do Pará, fez-se a comparação dessas anomalias em relação à média climatológica. Em Tucuruí, os anos de El Niño representam, em média, redução de 23,91% de chuvas na região em comparação com a média climatológica de Tucuruí, que é de 2.175,85 mm, com destaque para os anos de 1983 e 1992, que apresentaram reduções de 38,75% e 34,53% respectivamente, isto é, pouco mais de um terço do volume de chuvas esperado para um ano. Já para o município de Goianésia do Pará, esse impacto foi menor, sendo a média da redução causada pelo El Niño de 21,74%, em relação à média climatológica de 2.276,64 mm, destacando-se também o ano de 1983, com 32,64%. Isso mostra que, em anos de El Niño, Tucuruí sofre um pouco mais, com maior redução de chuvas.

Em comparação com o município de Tucuruí, Goianésia do Pará apresenta maior variabilidade espacial da precipitação, o que pode ser atribuído à sua maior extensão territorial. Essa característica evidencia-se

principalmente no ano de 2023, quando a variabilidade atingiu 554,46 mm, configurando uma clara divisão do território em duas zonas bem definidas: uma com maiores volumes de precipitação e outra com menores volumes, separadas por uma faixa de transição localizada na região central do município.

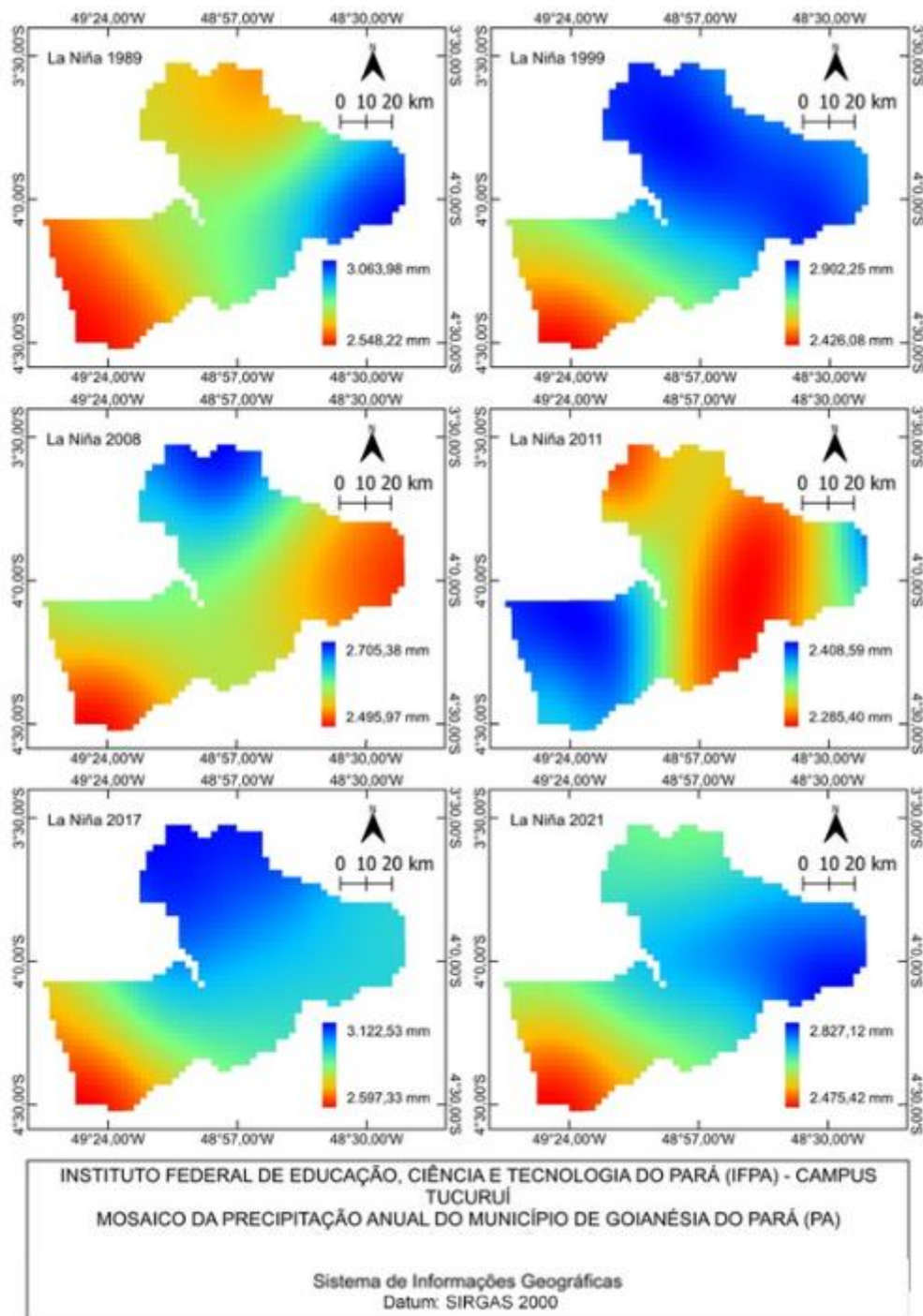
Nas Figuras 7 e 8, observa-se a variabilidade espacial da chuva no município de Tucuruí e Goianésia do Pará para os anos de La Niña de maior destaque: 1989, 1999, 2008, 2011, 2017 e 2021. Na Figura 7, observa-se que, dentre os anos analisados, Tucuruí apresentou acumulado máximo de chuva de 2.948,51 mm no ano de 2017, evidenciando um ano de maior variabilidade espacial, com 432,23 mm. Nota-se também, na Figura 7, que os anos de 2008 e 2011 foram muito semelhantes em quantitativo e distribuição espacial.

Figura 7 - Mapas da variabilidade espacial em anos de extremos de ENOS em sua fase La Niña em Tucuruí (PA)



Fonte: Gorelick *et al.*, 2017. Elaboração ou organização: Os autores, 2025.

Figura 8 - Mapas da variabilidade espacial em anos de extremos de ENOS em sua fase La Niña em Goianésia do Pará (PA)



Fonte: Gorelick *et al.*, 2017. Elaboração ou organização: Os autores, 2025.

Para a Figura 8, o município de Goianésia do Pará, ao comparar os anos de La Niña, assemelha-se ao município de Tucuruí por apresentar os anos de forma heterogênea entre si e heterogêneos de forma individual, porém com maior variabilidade espacial, chegando 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.

A magnitude do impacto dos anos de La Niña extremos, medida pelo percentual médio de aumento do volume precipitado acumulado em comparação a média climatológica, para o município de Tucuruí

apresentou uma média de 17,39%, destacando-se o ano de 2021 com o maior aumento, 28,97%. Esse valor ficou próximo do valor referente a Goianésia do Pará, 18,49%, com o ano de 2017 atingindo 29,45% de aumento no acumulado anual.

Comparando os mapas de El Niño e de La Niña de Tucuruí e Goianésia do Pará, pode-se afirmar que ambos apresentaram grandes diferenças, além do quantitativo de chuva, que é o padrão. Para os anos de El Niño, os mapas apresentaram-se mais homogêneos, com baixa variabilidade e com regiões de maiores e menores 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 de fontes móveis quanto fixas.

As implicações deste estudo estabelecem-se como grande auxiliador da gestão pública, transformando o monitoramento orbital em uma ferramenta estratégica para a gestão de riscos e recursos hídricos. Ao mapear os ciclos de extremos hídricos, os dados oferecem subsídios essenciais para a operação do sistema hidroenergético de Tucuruí e para o planejamento urbano resiliente, permitindo que a Defesa Civil e os gestores municipais antecipem cenários de inundação ou seca severa. Essa capacidade preditiva é vital para minimizar impactos sobre a infraestrutura urbana e garantir a segurança hídrica das populações locais frente às anomalias do ENOS.

No setor econômico, o histórico de 43 anos de precipitação espacializada serve como base para o fortalecimento de políticas de fomento agrícola e adaptação ambiental. O detalhamento da variabilidade pluviométrica permite o refinamento do zoneamento agrícola em Goianésia do Pará e Tucuruí, orientando calendários de plantio e linhas de crédito que reduzam as perdas produtivas em anos de El Niño. Em última análise, esta pesquisa converte o dado técnico em um instrumento de resiliência, capaz de nortear investimentos públicos e estratégias de preservação que preparem a região para os desafios impostos pelas mudanças climáticas globais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

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

A climatologia apresentada por dados de sensoriamento remoto mostrou-se condizente com o esperado para a região, elucidando a sazonalidade local das chuvas com dois períodos distintos e bem delimitados. Os dados obtidos e analisados fornecem informações sobre a variabilidade da chuva em Tucuruí e Goianésia do Pará, além de apresentarem alternativas de mitigação e adaptação às 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, ocorre 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.

Contudo, a carência de trabalhos sobre precipitação para os municípios apresentou-se como dificuldade para ampliar a análise contida neste estudo, quanto à comparação de resultados. Portanto, este estudo contém informações valiosas, visto que se trata de uma área marcada pelo vazio informacional. Tais informações são cruciais para orientar ações em planejamento urbano, agricultura e gestão de recursos hídricos, podendo também ser utilizadas como base para estudos futuros, o que abre espaço para aplicação em outras pesquisas científicas. Outro ponto que merece destaque refere-se à resolução do CHIRPS, que, apesar de possuir ótima resolução quando comparada a outras tecnologias semelhantes, torna-se menos refinada para municípios com pequenas áreas territoriais.

## 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 à 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>
- BERMEO, C. L. *et al.* 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. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103184>
- CAVALCANTE, R. B. L. *et al.* Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. **Atmospheric Research**, v. 238, p. 104879, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104879>
- CHEN, Z. *et al.* The impact of global warming on ENSO from the perspective of objective signals. **Atmospheric Research**, v. 299, p. 107176, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.107176>
- 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>
- COSTA, J. *et al.* Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, 2019. <https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60237>
- 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>
- GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- GWATIDA, T. *et al.* Is climate really changing? Insights from analysis of 30-year daily CHIRPS and station rainfall data in Zimbabwe. **Scientific African**, v. 19, p. e01581, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01581>
- 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. **Malha municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Tucuruí**. 2023a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/tucuru.html>. Acesso em: 20 jun. 2025.

- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Goianésia do Pará.** 2023b. 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.** 2023c. 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 do Atlântico Sul? Entenda agora!** 2023a. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/zona-de-convergencia-do-atlantico-sul-zcas>. Acesso em: 20 jun. 2025. INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **O que é Zona de Convergência Intertropical? Entenda agora!** 2023b. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/zona-de-convergencia-intertropical-zcit>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Sections. In: LEE, H.; ROMERO, J. (ed.). **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.** Geneva, Switzerland: IPCC, p. 35-115, 2023. <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.
- KATSANOS, D.; RETALIS, A.; MICHAELIDES, S. Validation of a high-resolution precipitation database (CHIRPS) over Cyprus for a 30-year period. **Atmospheric Research**, v. 169, p. 459-464, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.05.015>
- KIBII, J. K.; DU PLESSIS, J. A. The application of CHIRPS-based Pitman modelling in South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 132, p. 103475, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103475>
- LOPES, L. N. A. *et al.* Analysis of the variability of precipitation in front of land use changes in the municipality of Tucuruí-PA. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. 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>
- NAWAZ, M.; IQBAL, M. F.; MAHMOOD, I. Validation of CHIRPS satellite-based precipitation dataset over Pakistan. **Atmospheric Research**, v. 248, p. 105289, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105289>
- NOAA - 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](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Acesso em: 20 jun. 2025.
- PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. A.; KUMAR, LAKAHMI, L. TV. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of arid environments**, v. 139, p. 26-40, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009>
- PÖRTNER, H.-O. *et al.* Technical Summary. In: PÖRTNER, H.-O. *et al.* (ed.). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, p. 37–118, 2022. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.002>
- RABELO, D. R.; SANTOS, M R. S; DE SOUSA FILHO, M. R. P. Análise comparativa dos dados pluviométricos de satélite e de superfície em bacia hidrográfica semiárida. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 3, n. 1, 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6407151>
- 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, 2023.

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2798-2810>

RIVERA, J. A.; MARIANETTI, G.; HINRICH, S. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. **Atmospheric Research**, v. 213, p. 437-449, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.06.023>

SA'ADI, Z. *et al.* CHIRPS rainfall product application for analyzing rainfall concentration and seasonality in Johor river basin, Malaysia. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 256, p. 106203, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2024.106203>

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/RCG186205>

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>

TIKUYE, B. G. *et al.* Drought Monitoring Using the Climate Hazards InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) in Ethiopia. **Natural Hazards Research**, v. 5, n. 2, p. 348-362, 2025.

<https://doi.org/10.1016/j.nhres.2024.12.002>

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>

UDDIN, S. *et al.* Climate change and ENSO significantly enhances seasonal flood occurrence in the Ganges-Brahmaputra-Meghna basin. **Journal of Hydrology**, v. 658, p. 133207, 2025.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133207>

USGS - United States Geological Survey. EROS - Earth Resources Observation and Science. **Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station - CHIRPS**. [s.d.]. Disponível em:

<https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps3>. Acesso em: 13 fev. 2024.

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>

---

Recebido em: 22/07/2025

Aceito para publicação em: 04/03/2026