Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

ANÁLISE DA VARIAÇÃO CLIMÁTICA E DAS ANOMALIAS DE TEMPERATURA NO MUNICÍPIO DE BREJO, MARANHÃO

Analysis of climate variation and temperature anomalies in the municipality of Brejo, Maranhão

Análisis de la variación climática y anomalías de temperatura en el municipio de Brejo, Maranhão

Mateus Rocha dos Santos
Universidade Federal do Piauí - UFPI
matheusrocha@ufpi.edu.br

Edivania de Araujo Lima
Universidade Federal do Piauí - UFPI
edivania@ufpi.edu.br

Resumo: O presente estudo analisa a variabilidade climática e as anomalias de temperatura no município de Brejo, Maranhão, ao longo de 20 anos, considerando a influência da ação antrópica e das mudanças climáticas em escalas global, regional e local. A pesquisa busca contribuir para o conhecimento sobre mitigação climática. Para isso, foram utilizados parâmetros como precipitação, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, a fim de avaliar as tendências climáticas na região. A área de estudo está localizada na Região de Planejamento do Delta do Parnaíba, área estratégica para atividades agrícolas e socioeconômicas, com relevância histórica e ambiental. O município apresenta clima tropical sazonal (Aw,) segundo a classificação de Köppen-Geiger, e subúmido seco (C1), de acordo com Thornthwaite (1948). A região caracteriza-se por períodos chuvosos (de janeiro a junho) e secos (de julho a dezembro), além de transições entre os biomas Cerrado e Mata dos Cocais. O estudo também aborda os impactos das anomalias oceânicas (El Niño e La Niña) e das mudanças climáticas globais, conforme destacado pelo IPCC, que aponta maior vulnerabilidade do Cerrado a secas prolongadas e alterações nos padrões de precipitação. As análises demonstraram que os eventos La Niña (2000, 2010 e 2020) influenciaram diretamente o regime pluviométrico de Brejo (MA), intensificando a precipitação e a velocidade dos ventos alísios. Observou-se expressiva redução da cobertura florestal e expansão da agropecuária, associadas ao avanço do Matopiba, resultando em queda da umidade relativa do ar e alterações microclimáticas.

Palavras-chave: Variabilidade climática. Anomalias de temperatura. Mudanças climáticas. Ação antrópica.

Abstract: The present study analyzes climate variability and temperature anomalies in the municipality of Brejo, Maranhão, over a 20-year period, considering the influence of anthropogenic activity and climate change at global, regional, and local scales. The research aims to contribute to the understanding of climate mitigation processes. Parameters such as precipitation, air temperature, relative humidity, and wind speed were used to assess climate trends in the region. The study area is located within the Delta do Parnaíba Planning Region, a strategic zone for agricultural and socioeconomic activities, with historical and environmental relevance. The local climate is classified as tropical with seasonal rainfall (Aw) according to Köppen-Geiger, and as dry subhumid (C1) under Thornthwaite's classification (1948), characterized by a rainy season from January to June and a dry season from July to December, as well as transitional features between the Cerrado and the Mata dos Cocais biomes. The study also examines the impacts of oceanic anomalies (El Niño and La Niña) and global climate change, as highlighted by the IPCC, which identifies the Cerrado as one of the biomes most vulnerable to prolonged droughts and alterations in precipitation patterns. The analyses revealed that La Niña events (2000, 2010, and 2020) directly influenced the rainfall regime in Brejo (MA), intensifying precipitation and trade wind velocity. A significant reduction in forest cover and the expansion of agricultural and livestock activities were also observed, driven by the advance of the Matopiba frontier, resulting in decreased relative humidity and microclimatic alterations.
Keywords: Climate variability. Temperature anomalies. Climate change. Anthropogenic activity.

Resumen: El presente estudio analiza la variabilidad climática y las anomalías de temperatura en el municipio de Brejo, Maranhão, a lo largo de un período de 20 años, considerando la influencia de la acción antrópica y del cambio climático en las escalas global, regional y local. La investigación tiene como objetivo contribuir al conocimiento sobre los procesos de mitigación climática. Se utilizaron parámetros como la precipitación, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento para evaluar las tendencias climáticas en la región. El área de estudio se encuentra en la Región de Planificación del Delta del Parnaíba, una zona estratégica para las actividades agrícolas y socioeconómicas, de gran relevancia histórica y ambiental. El clima local se clasifica como tropical con estacionalidad de lluvias (Aw) según Köppen-Geiger, y como subhúmedo seco (C1) conforme a Thornthwaite (1948), con una estación lluviosa de enero a junio y una estación seca de julio a diciembre, además de presentar transiciones entre los biomas del Cerrado y la Mata dos Cocais. El estudio también aborda los impactos de las anomalías oceánicas (El Niño y La Niña) y del cambio climático global, según lo señalado por el IPCC, que identifica al Cerrado como uno de los biomas más vulnerables a las sequías prolongadas y a las alteraciones en los patrones de precipitación. Los análisis demostraron que los eventos de La Niña (2000, 2010 y 2020) influyeron directamente en el régimen pluviométrico de Brejo (MA), intensificando la precipitación y la velocidad de los vientos alisios. Asimismo, se observó una notable reducción de la cobertura forestal y la expansión de la agropecuaria, asociadas al avance de la frontera agrícola del Matopiba, lo que ha resultado en una disminución de la humedad relativa del aire y en alteraciones microclimáticas.
Palabras clave: Variabilidad climática. Anomalías de temperatura. Mudanças climáticas. Acción antrópica.

Submetido em: 26/05/2025
Aceito para publicação em: 01/12/2025
Publicado em: 24/07/2026

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo busca evidenciar a variação contemporânea da temperatura do ar em relação ao avanço das ações antrópicas nos âmbitos global, regional e local, considerando a interação entre o homem e a natureza e os efeitos das mudanças climáticas. Os registros das variações desse elemento climático, associados aos fenômenos El Niño e La Niña, revelam como o planeta responde às oscilações e tendências climáticas. Dessa forma, o objetivo foi analisar a variabilidade climática temporal no município de Brejo, no estado do Maranhão, bem como os fatores correlacionados a essa variabilidade ao longo de um período de 20 anos

Consequentemente, este estudo também se integra ao fortalecimento do conhecimento acerca da mitigação das mudanças climáticas, de acordo com as proposições do mundo atual, no qual visa corresponder as propostas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aqueles relacionados às ações contra as mudanças do clima no planeta. Diante disso, tornou-se necessário realizar uma conjuntura de informações relativas à área de estudo, tendo os parâmetros de precipitação, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento como agregadores de dados e informações relevantes para o alerta sobre a climatologia regional.

Nesse quesito, a cidade de Brejo, no estado do Maranhão, destaca-se por sua localização na Região de Planejamento do Delta do Parnaíba, importante área de influência ambiental, natural e econômica do delta do Rio Parnaíba e de suas relações socioeconômicas definidas pelo fluxo de negócios, além das condições de acesso em comparação às distâncias entre os municípios (Maranhão, 2008). Como sua delimitação se encontra banhada pelo Rio Parnaíba, tornou-se um requisitado território de desenvolvimento, principalmente pelas atividades agrícolas.

O município faz intersecção entre as rodovias MA-034 (estadual) e BR-222 (federal), principais vias de acesso entre a capital do estado do Maranhão, São Luís, e o estado do Piauí. A leste, limita-se pelo Rio Parnaíba, rio de grande importância histórica e econômica para as cidades vizinhas, até a cidade de Parnaíba, durante o século XVIII e XIX (Rego, 2010).

A ocupação inicial de Brejo remonta ao século XVII, com registros dos indígenas *Anapurus* na região em 1684. Em 1770, os Anapurus receberam do governador da província três léguas de terra. Segundo registros históricos, o nome "Anapurus" deriva de "*Muypurás*", que significa "fruta do rio", em referência aos povos indígenas das margens do Rio Parnaíba

(Lago, 1989). Ao longo dos séculos XVII e XVIII, conflitos entre colonizadores e indígenas marcaram a história local, como a guerra ordenada pelo governador do Maranhão, em 1709, contra os *Anapurus,* conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1959).

A distribuição setorial do Produto Interno Bruto (PIB) do município de Brejo evidencia a predominância do setor de serviços públicos, responsável por 49,03% da composição econômica local, seguido por outros serviços (34,36%), agropecuária (12,42%) e indústria (4,17%) (IBGE, 2022). No setor agrícola, destacam-se os cultivos de arroz, feijão, mandioca, milho e soja, que representam importantes fontes de subsistência e de geração de renda para a população rural. Apesar de a base econômica municipal ainda estar fortemente vinculada às atividades primárias, observa-se uma gradual ampliação do setor de serviços, impulsionada pelo crescimento urbano e pela expansão das atividades administrativas e comerciais. Essa estrutura produtiva reflete o papel do município na dinâmica econômica regional, em que a agropecuária mantém relevância social e territorial, enquanto os serviços assumem função estratégica no processo de modernização e diversificação econômica.

O município integra a Região Geográfica Imediata de Chapadinha e apresenta variedade de formas de relevo, com destaque para os Tabuleiros de Chapadinha, caracterizados por baixas superfícies de aplainamento e extensas planícies fluviomarinha. Historicamente, essa área era composta por superfícies tabulares, baixos platôs e chapadas, com altitudes inferiores a 300 metros (Silva et al, 2009). Os solos dessas feições apresentam profundidade >2.0m, bastante drenados e de baixa fertilidade natural. No município há presença de Plintossolo Pétrico, Latossolo Amarelo, Neossolo Flúvico e Planossolo Háplico, este último considerado propício ao cultivo da soja no estado do Maranhão, mediante ajustes adequados do pH do solo (CPRM, 2013).

A região em que se encontra a área de estudo é marcada por dois períodos bem definidos: uma estação chuvosa, de janeiro a junho, com precipitações médias mensais superiores a 203,4 mm, e uma estação seca, de julho a dezembro (Pereira; Costa; Júnior; 2019). Entretanto, estudos sobre a precipitação pluvial, como o de Santos et al. (2022), apontam a existência de discrepâncias nas ocorrências de chuvas, possivelmente relacionadas a anomalias decorrentes da variação da temperatura do ar (Molion, 2008).

Quanto ao clima, a região é categorizada pela classificação de Köppen-Geiger como possuidora de estação seca no inverno, com vegetação savânica (Aw), característica do bioma Cerrado (Kottek et al., 2006). No entanto, a área do município também incide com áreas de transições, como o amazônico, enfatizado pela presença da Mata dos Cocais.

Para além da classificação climática proposta por Köppen-Geiger, a classificação de Thornthwaite (1948), aplicada no estudo de Corrêa, Carvalho e Mendes (2023) na mesma região, identificou o clima como subúmido seco (C1). Os dados foram obtidos a partir da atualização de uma série histórica de 30 anos (1990–2021) e comparados com os resultados de estudo publicado pelo Núcleo Geoambiental (NUGEO) e pelo Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO) da Universidade Estadual do Maranhão em 2002.

Brejo integra a Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, situando-se na margem esquerda do rio. Além disso, o município é banhado por diversos rios e riachos, como os rios Preto, Buriti e os riachos da Cruz, entre tantos outros de menor porte, que desempenham papel crucial na manutenção dos ecossistemas locais (SGB, 2011). Essas características reforçam a importância de Brejo como território estratégico para atividades agrícolas e de conservação ambiental.

Dessa forma, o município se destaca pelo potencial agrícola e de pastagem, que estão associados ao eixo climático. Logo, as ações climáticas estão atreladas ao cultivo agrícola produtivo, tanto para agricultura familiar quanto para grandes produtos do agronegócio, como no caso da soja. A região apresenta altas temperaturas durante seis a nove meses no ano, tendo evapotranspiração entre 100 a 150 mm entre janeiro e julho e acima de 150 mm de agosto a dezembro, além de média anual acima de 1750 mm no Maranhão. Durante os meses chuvosos, a pluviosidade varia entre 175 a 325 mm; de junho a dezembro, entre 50 a 175 mm, com média anual entre 1500 a 1750 mm (Novais, 2019). Esses fatores favorecem a exploração e o desenvolvimento de culturas tropicais, principalmente em relação ao manejo e irrigação do solo.

A visível separação sazonal entre período chuvoso e estiagem possibilitou o desenvolvimento da monocultura no município, atrelada ao MATOPIBA, em que o bioma Cerrado vinculado a diferentes domínios e subdomínios climáticos (Novais, 2019). Entretanto, com a abrangente exploração da área de cobertura vegetal natural (Silva et al, 2009), observa-se variação climatológica perceptível na sensação térmica e nas mudanças climáticas ocorridas em escala regional e global.

Neste sentido, as mudanças climáticas na região do MATOPIBA refletem tendências das alterações, conforme demonstrado no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), cujo Relatório AR6 de 2021 destacou que o Cerrado brasileiro apresenta vulnerabilidade crescente a secas prolongadas, com redução projetada de 10-20% na precipitação até 2050, sobretudo em áreas de urbanização e de intensificação do uso para terra agrária. Além disso, há previsão de aumento na frequência de eventos El Niño com precipitação extrema no Pacífico Equatorial Leste e maior ocorrência de oscilações acentuadas na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que, somente no século XX, já superou os níveis observados nos últimos cinco séculos, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo desses padrões climáticos (Cai, 2021).

Ainda nesse contexto, as anomalias acopladas oceano-atmosfera, como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), no Pacífico Equatorial, também contribuem para alterações na temperatura do ar (Nogueira; Correia; Nogueira, 2012) e umidade relativa do ar da região, por meio da modulação dos padrões de ventos, da célula de circulação de Walker e do transporte de umidade, bem como pela posição da ZCIT (Santana, et al., 2020).

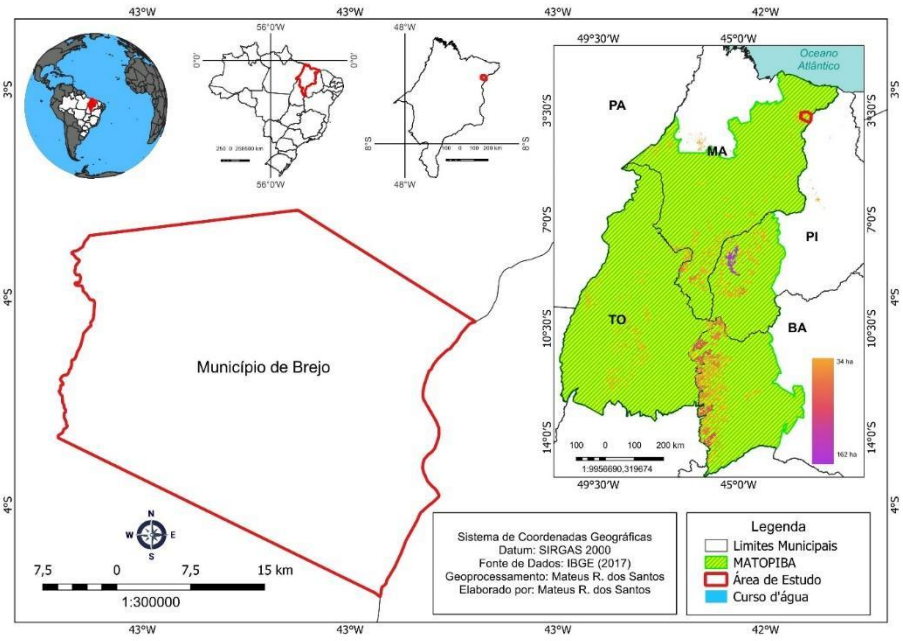
Essas mudanças também repercutem sobre o Atlântico. Em eventos de El Niño, observa-se a intensificação dos movimentos subsidentes na atmosfera, resultando em redução de nebulosidade e fortalecimento dos ventos alísios, o que favorece o resfriamento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Norte Tropical e o aquecimento no Atlântico Sul Tropical (Dipolo Negativo) (Rodrigue et al. 2011). Assim, percebe-se que a área de estudo é modulada por variabilidade climática resultante não apenas da ação do Oceano Pacífico Equatorial, mas também de outros sistemas que influenciam a circulação atmosférica.

A interação entre ENOS e o Dipolo do Atlântico é, portanto, um mecanismo fundamental para compreender a variabilidade hidroclimática interanual observada na região tropical. Evidências observacionais e modelagens acopladas demonstram que tais teleconexões operam tanto por via atmosférica quanto por ajustes oceânicos mais lentos, influenciando a distribuição de calor, a circulação de grande escala e a variabilidade pluvial nas áreas adjacentes ao Atlântico Tropical, especialmente a circulação de Walker (Chang, 2006).

2. METODOLOGIA

O município de Brejo está localizado na microrregião de Chapadinha, no leste do estado do Maranhão (Figura 1). A área possui relevância histórica, tendo sido elevada à categoria de cidade pela Lei provincial n.0 899, de 11 de julho de 1870 (IBGE, 1959). Em 2022, Brejo registrou população de 34.120 habitantes, com densidade demográfica de 31,79 habitantes por quilômetro quadrado. A área total do município corresponde a 1.073,258 km² (IBGE, 2022). Esses indicadores posicionaram o município em 39º lugar em população e 46º em densidade demográfica entre os 217 municípios maranhenses.

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O clima da região é classificado como subúmido seco, caracterizado por ampla variação nos valores médios anuais de temperatura, que oscilam entre 17,5 °C e 29,5 °C. A umidade relativa mantém média aproximada de 72%, o que confere equilíbrio térmico moderado ao ambiente (Alvares et al., 2014). As chuvas apresentam forte sazonalidade, concentradas entre janeiro e junho, período que registra os maiores acumulados pluviométricos. A precipitação anual varia entre 1500 mm e 1700 mm, padrão que reflete a dinâmica climática regional (Batistela et al., 2013).

A partir do estabelecimento da área de estudo, utilizou-se como base teórica a revisão bibliográfica e documental das temáticas abordadas, como documentos municipais, periódicos e plataformas que dispusessem de dados referentes à climatologia. Desta forma, o procedimento metodológico consistiu na observação e análises de dados qualiquantitativos (Prodanov; Freitas 2013), classificando-se como estudo de caráter exploratório qualiquantitativo por permitir uma experiência descritiva e a organização dos dados obtidos.

Em relação aos dados, estabeleceu-se como parâmetros de análise a: (i) precipitação corrigida (mm), juntamente da temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin), neste caso, a precipitação acumulada e a temperatura média; e (ii) da integração entre relação da umidade relativa do ar a 2 metros (%) (UR) e a velocidade máxima do vento a 2 metros (m/s) (U2max), assim como da velocidade mínima do vento a 2 metros (m/s) (U2min), sendo todos realizados pela média do respectivo ano.

A análise da precipitação corrigida é fundamental para compreender a dinâmica hídrica de uma região e os impactos das variabilidades climáticas ao longo dos anos. Neste contexto, as análises realizadas englobaram os anos de 2000, 2010 e 2020. Os meses foram agrupados em dois semestres e, em seguida, realizou-se a soma mensal e o agrupamento comparativo entre os períodos definidos.

Devido à indisponibilidade de uma série completa de dados observacionais provenientes das estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na área estudada, utilizaram-se dados climáticos da plataforma NASA POWER (Prediction of Worldwide Energy Resource), disponibilizados pelo Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícolas da Unesp/Jaboticabal.

Também foram consultados dados globais e informações sobre anomalias fornecidas pelo National Weather Service (NOAA) e pelo National Centers for Environmental Prediction Climate, referentes aos fenômenos El Niño e La Niña.

Para a representação espacial e elaboração dos mapas, empregou-se o software QGIS, versão 3.36. As análises da base de dados incluíram informações do IBGE, do MAPBiomas (Coleção 9) e do Portal de Informações Agropecuárias da CONAB.

Como suporte adicional às análises, utilizou-se a ferramenta *Google Earth Engine (GEE)*, que possibilitou o processo de computação em nuvem e permitiu o acesso a grandes

conjuntos de dados geoespaciais, além da extração de dados para análises espaço-temporais. Nesse caso, os comandos utilizados foram: (i) base de dados do FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) do sistema GAUL (*Global Administrative Unit Layers*), que fornece informações geoespaciais sobre as divisões administrativas no mundo inteiro, com resolução espacial de 500 m, e o CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data*), que fornece um conjunto de dados de precipitação global de forma diária, com 30 anos de duração e imagens de satélite com resolução de 0,05°, juntamente com dados de estações *in-situ*. Esses dados são utilizados para a criação de séries temporais de precipitação em grade, utilizadas para a análise de tendências e o monitoramento sazonal de secas, produzidos pelo *Climate Hazards Group* da Universidade da Califórnia, Santa Bárbara (UCSB). A principal característica do CHIRPS é a combinação de dados de satélite com informações de estações meteorológicas, o que gera estimativas de precipitação de alta resolução e confiabilidade.

A segunda base de dados do GGE foi o (ii) ERA5, que realiza análises climáticas de alta resolução desenvolvidas pelo Centro Europeu de Previsão do Tempo de Médio Prazo (ECMWF). Esse conjunto de dados fornece representações históricas do clima, baseadas em um modelo atmosférico e em observações, para fornecer dados sobre variáveis climáticas e meteorológicas em períodos mensais e anuais.

Para as representações e organização das informações sobre a velocidade do vento, foi utilizado o software WRPlot (*Wind Rose Plots for Metereological Data*), que permite confeccionar diagramas de rosa dos ventos, no qual podem representar a frequência e a intensidade de ventos de diferentes direções em uma localização específica, a partir de período preestabelecido, sendo os dados obtidos pelo NASA POWER.

Quadro 1 - Bancos de dados obtidos para as análises

Plano de Informações	Base de dados	Tipo de dado ou método
Precipitação, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento	NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (https://dados-nasa-power.streamlit.app/)	Tabulares (formato .xls, .xlsx)

Plano de Informações	Base de dados	Tipo de dado ou método
Anomalias climáticas	El Niño / Southern Oscillation (ENSO) (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml)	Tabulares (formato .xls, .xlsx)
Precipitação e temperatura do ar	FAO, CHIRPS e ERA5 (https://earthengine.google.com/)	Matricial/Vetorial
Cobertura e uso do solo	MapBiomas – Coleção 9 (https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/)	Raster (Matricial)

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A obtenção desses dados permitiu a sobreposição de variáveis meteorológicas, baseadas em estimativas. A plataforma NASA POWER utiliza dados climáticos provenientes de modelos de satélites em órbita da Terra, voltados para a agricultura e climatologia. O ENSO fornece índices de anomalias da superfície do mar do Oceano Pacífico. Por sua vez, os bancos de dados ERA5 e CHIRPS estão disponíveis na plataforma GEE, e oferecem informações detalhadas sobre condições atmosféricas, resultado da combinação de dados de estações meteorológicas e imagens de satélite. A FAO disponibiliza dados sobre uso da terra e recursos hídricos, relacionados às variáveis meteorológicas e à produção agrícola. Além disso, a coleção MapBiomas fornece mapeamentos detalhados da cobertura e uso da terra no Brasil.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Precipitação Corrigida (mm) Temperatura do Ar Máxima e Mínima (°C)

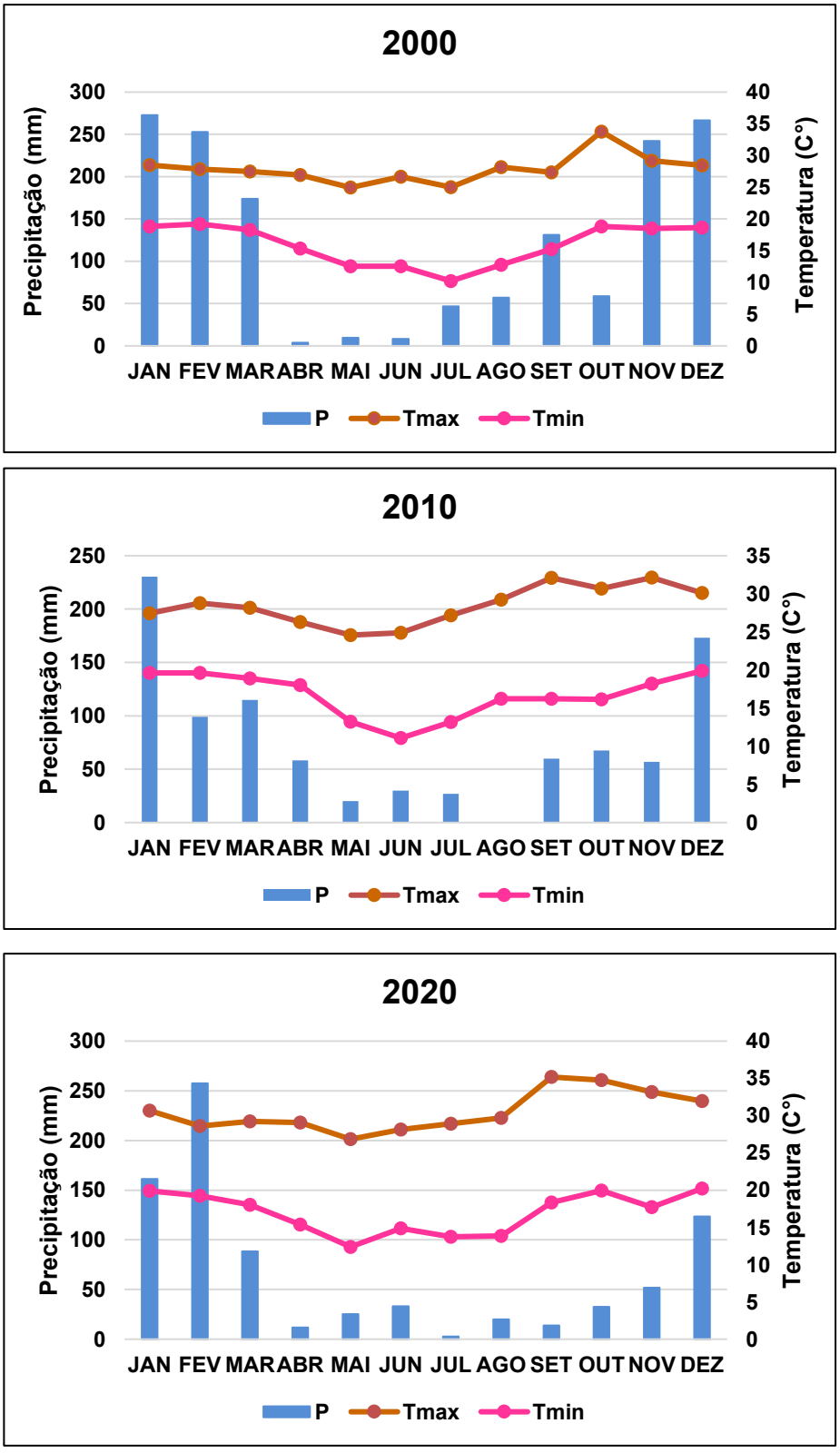
Os resultados obtidos revelaram uma clara interação entre os padrões de precipitação e as oscilações climáticas de larga escala, evidenciando que fenômenos como o El Niño influenciaram a distribuição espaço-temporal das chuvas na região de estudo. A análise multitemporal permitiu identificar períodos de anomalias significativas, tanto positivas quanto negativas, correlacionadas a eventos extremos registrados nas últimas duas décadas. Esses padrões reforçam a influência do dipolo de TSM do Oceano Atlântico Tropical no regime hídrico local e sugerem uma crescente variabilidade associada às mudanças climáticas em curso.

Além disso, a integração de dados geoespaciais e meteorológicos destacou disparidades regionais na resposta às mudanças climáticas, com áreas específicas apresentando alterações nos ciclos de precipitação. A combinação de técnicas de sensoriamento remoto e modelagem ambiental possibilitou uma avaliação mais precisa dessas dinâmicas, destacando a importância de abordagens multiescala para compreender os impactos no uso da terra.

As condições climáticas do município de Brejo, relacionadas à precipitação, refletem uma transição entre o regime tropical úmido e o semiárido, marcada pela redução gradual das chuvas e pelo aumento da variabilidade térmica. A classificação Aw, segundo a classificação de Köppen-Geiger (Guerra, 1955), e o enquadramento como subúmido seco (C1), segundo a categorização de Thornthwaite (1948), revelam essa tendência de diminuição dos excedentes hídricos e da umidade atmosférica. Essa configuração climática evidencia um processo de reajuste ambiental, no qual a instabilidade pluviométrica indica mudanças significativas na dinâmica das precipitações e possíveis impactos sobre os ecossistemas locais e o uso do solo no Maranhão (Corrêa; Carvalho; Mendes, 2023). Assim, observa-se também a influência da transição entre o semiárido nordestino e o domínio amazônico, caracterizada por uma dinâmica quente e úmida, com chuvas concentradas no outono e no verão, e estiagem no inverno (Nascimento, Braga e Araújo, 2017).

Os dados demonstraram variações significativas nas médias mensais e anuais (Figura 2), com destaque para os meses de janeiro, novembro e dezembro de 2000, quando a precipitação superou 200 mm/mês, marcando o período chuvoso na região. Nos meses subsequentes, observou-se um baixo volume de chuvas, com valores de até 3,9 mm mensais entre abril e outubro de 2000, período de estiagem na região. Em 2010, a precipitação seguiu uma distribuição temporal semelhante à do ano anterior, mas com um pico máximo entre janeiro e dezembro, superando 200 mm, e baixa precipitação entre maio e agosto (20 mm a 0,23 mm). Já para o ano de 2020, as estimativas foram expressivas em comparação aos anos anteriores, o que denotou uma baixa precipitação, quando comparada com os anos anteriores.

Figura 2 - A análise da precipitação corrigida para os anos de 2000, 2010 e 2020



Fonte: Adaptado Nasa Power (2025).

A variação da precipitação ao longo dos anos é atribuída à ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, que modulam o regime de chuvas no Nordeste do Brasil. Em 2000, destacou-se a predominância do La Niña (Molion, 2017), com base no Índice Oceânico Niño (ONI) e nas anomalias de temperatura da superfície do mar (SST), com base em um limite de +/- 0,5 ºC, resfriamento (em azul) e aquecimento (em vermelho)(Quadro 2). O que por vez justifica o maior índice da precipitação nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro do ano 2000, conforme demonstrado no gráfico anterior.

O ano de 2010 começou com baixa precipitação, que perdurou durante quase todo o ano, devido à formação do El Niño entre dezembro de 2009 e abril de 2010. Esse fenômeno teve impactos persistentes na variabilidade oceânica ao longo dos anos subsequentes (Molion, 2008). A partir de maio de 2010, a La Niña surgiu, o que corroborou os índices constantes de precipitação entre maio e julho, e de setembro a novembro desse ano. Já em 2020, observou-se uma estabilidade nas precipitações no primeiro semestre, com a La Niña surgindo apenas no segundo semestre, o que justificou a redução da precipitação nesse período (Quadro 2).

Quadro 2 - Ocorrência dos eventos El Niño e La Niña nos anos de 2000, 2010 e 2020

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2

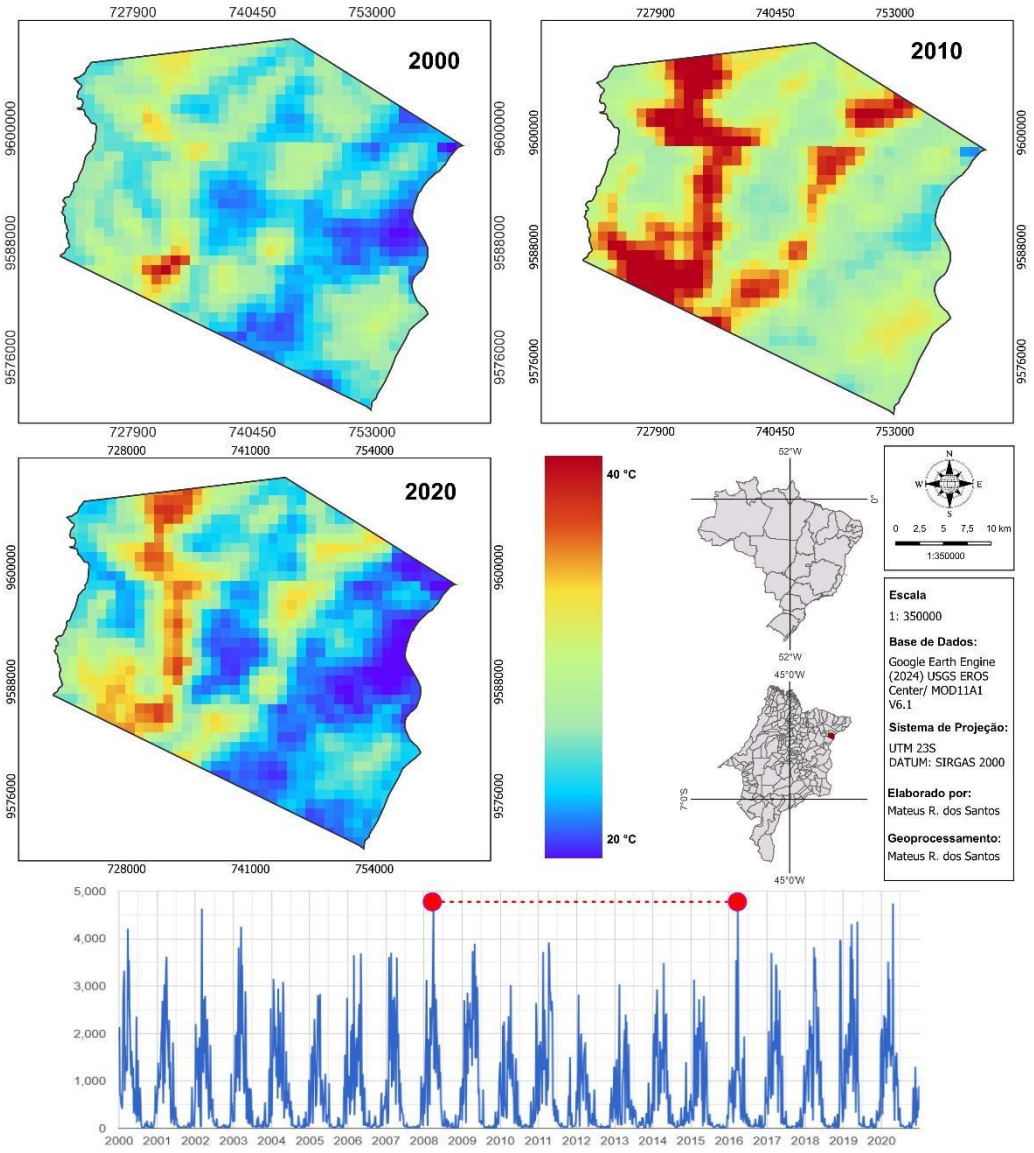
Fonte: Climate Prediction Center (2024)

Esses parâmetros, que refletem os fenômenos El Niño (vermelho) e La Niña (azul), permitiram consolidar as análises, no que se refere em como a precipitação se comportou durante os anos analisados na área de estudo ao longo dos anos, evidenciando a presença do La Niña em 2000 e nos segundos semestres de 2010 e 2020 (Cai et al., 2021). Essa presença é justificada pela contribuição dos ventos alísios e pelos efeitos estáveis observados de junho a janeiro do ano subsequente (Lima et al., 2014).

Com a ajuda da plataforma *Google Earth Engine*, por meio do processamento de dados de precipitação, foi possível evidenciar, com mais precisão, a interação entre esses fenômenos. O comparativo entre os anos demonstrou que, nos períodos dominados pela La

Niña, como nos anos de 2002, 2008 e 2016, a precipitação atingiu um acumulado de 90%, e a variação da temperatura (Figura 3).

Figura 3 – Mapa da variação da temperatura entre os anos de 2000, 2010 e 2020 e gráfico de precipitação entre os respectivos anos



Fonte: GEE (2024). Elaboração dos autores (2025).

Contudo, percebeu-se uma diminuição na concentração das chuvas no intervalo de 4 anos entre 2016 e 2020. Assim, as análises indicam que houve maior intervalo entre as precipitações, com chuvas concentradas no primeiro semestre e no final do segundo semestre dos anos de 2000 e 2010, com 2020 destoando dos padrões anteriores, devido à presença do La Niña e a um curto intervalo de tempo.

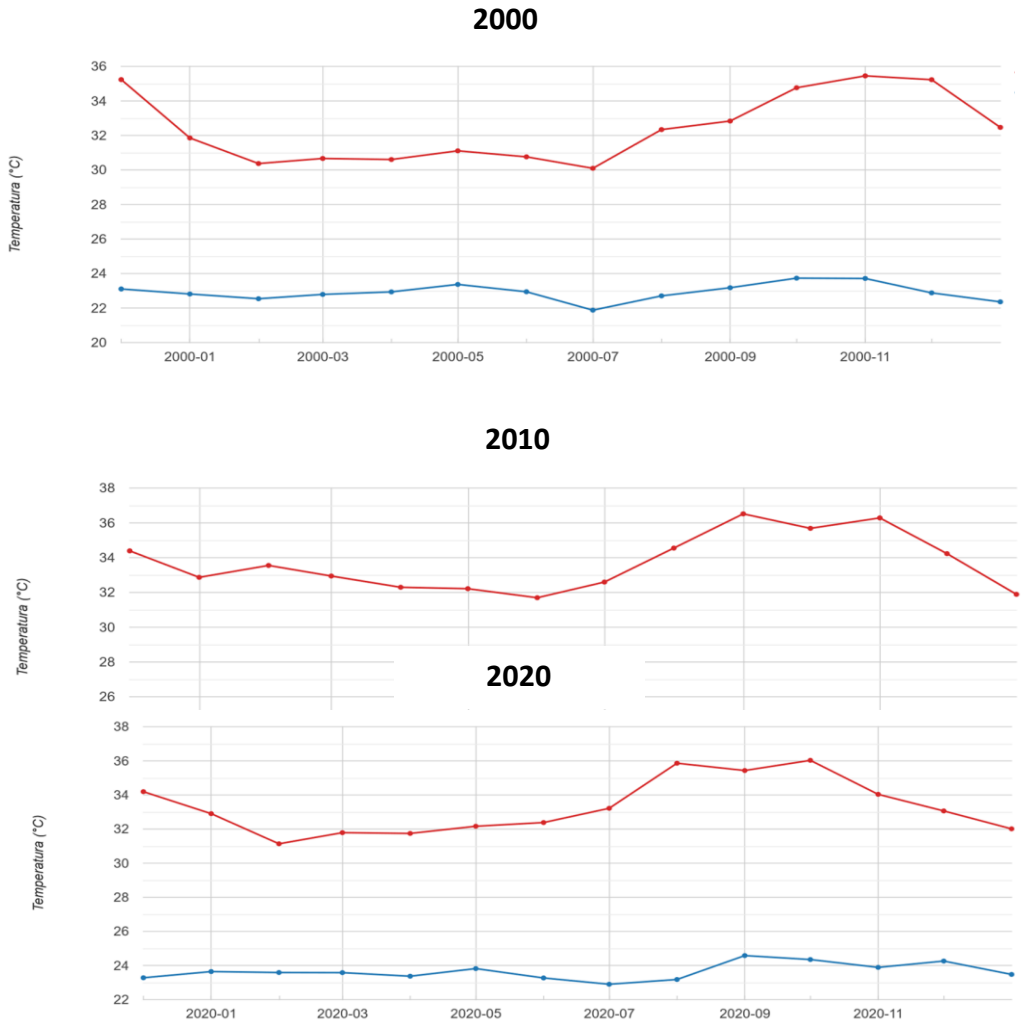
A temperatura máxima do ar na área de estudo variou de 27°C a 28°C, com o valor mínimo registrado no primeiro semestre de 2010, e máxima variando de 24°C a 33°C no segundo semestre do mesmo ano, conforme dados obtidos do CHIRPS e ERA5. Em 2010, as temperaturas variaram entre 25°C e 28°C no primeiro semestre, e de 27°C a 32°C no segundo semestre. Para 2020, os dados apontaram variações de 26°C a 30°C, sendo este último registro obtido ainda no mês de janeiro do referido ano, enquanto entre os meses setembro, outubro, novembro e dezembro, houve um aumento superior, em comparação entre os anos de 2000 e 2010, no qual chegou a 34C° e 35C°, respectivamente.

Os valores obtidos para este parâmetro demonstraram que no primeiro semestre do ano de 2000, obteve-se a temperatura mínima variando de 12C° a 18C°, concentrada no período chuvoso, e transição para a estação de estiagem. Isso se corrobora quando observado os meses de maio e junho até início do segundo semestre, que perpetuou até o mês de agosto, resultando entre 10C° a 15C°, e retornando 18C° novamente já no mês de outubro a dezembro.

Em 2010, no primeiro semestre, os valores variaram entre 16°C e 18°C, com temperaturas mínimas também variando entre esses valores durante os meses de janeiro a março. Já em 2020, os valores do primeiro semestre, em comparação ao ano de 2010, demonstram variações, chegando a 12C° a 19C°, de forma exponencial entre os meses de maio a agosto, indo de 12C° a 14 C°. Diante disto, foi possível representar tanto a temperatura máxima e mínima da área de estudo, quando destacada pelas análises realizadas em relação a precipitação. Assim, grande parte da influência sobre essa mudança se resultou da ação dos fenômenos El Niño e La Niña, principalmente a partir do segundo semestre do ano de 2010 até 2020 (Figura 4).

Os meses de maior precipitação geralmente coincidem com a estação chuvosa, apresentando volumes superiores a 200 mm em alguns períodos, enquanto os meses mais secos tiveram valores abaixo de 50 mm. Essa diferença fica bem evidente após os anos de 2010, corroborando com os dados de Santos et al. (2022), que indicam os períodos de seca mais intensos entre 2012 e 2017. Durante a revisão bibliográfica (Pereira; Costa; Júnior, 2019; Almeida; Júnior, 2021), além das observações in loco, foi possível identificar que a região passou por uma mudança climática significativa, influenciada por fatores como a perda da vegetação nativa e a crescente variabilidade climática.

Figura 4 – Mudança da temperatura entre os meses dos anos de 2000 a 2020



Fonte: GEE (2024). Elaboração dos autores (2024).

O estado do Maranhão, composto principalmente pelo bioma Cerrado e pela transição com a Amazônia, enfrenta o avanço do desmatamento da cobertura natural, impulsionado por cenários de ocupações irregulares e pela pressão antrópica, que tem descaracterizado grande parte do território (Matricard et al., 2018). Esse processo de ocupação está inserido no contexto do MATOPIBA, um conjunto de estados do Brasil, onde se observa um avanço contínuo, com destaque para o Maranhão, que pode alcançar entre 10.000 e 11.500 ha de ocupação até o ano de 2050 (Aguiar, 2016).

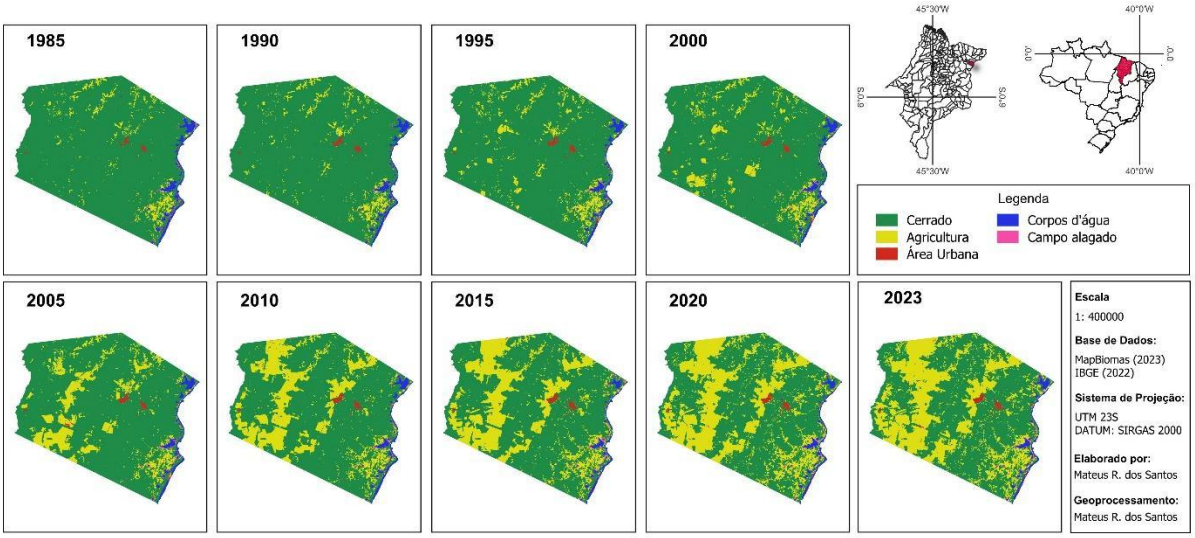
No caso de Brejo, a ocupação do solo para a produção de soja em larga escala começou por volta da década de 70, com um projeto experimental levado a cabo por produtores "gaúchos" na Mesorregião Leste Maranhense. No entanto, foi apenas na década de 90 que

surgiram os primeiros registros de produção no município, com uma ampliação significativa a partir de 2002. Nesse período, a soja se consolidou como uma das principais culturas agrícolas do Maranhão, seguida de outros cultivos como milho, feijão e arroz, com o uso intensivo de maquinários e insumos agrícolas. Essas ocupações, muitas vezes, eram realizadas de forma irregular ou por invasões (Gaspar, 2018; Almeida, 2017).

Originalmente, essas terras pertenciam a famílias e seus descendentes, que mantinham autonomia sobre as áreas. No entanto, com o avanço da extração de madeira nativa que se destinava à produção de carvão vegetal ou para o reflorestamento com o plantio de eucalipto, não se seguia a legislação de órgão ambientais. Isso permitiu a posse de hectares de terras públicas, por meio de aquisição e registros irregulares de imóveis em cartórios dos municípios da região (Gaspar, 2018).

Assim, o cultivo em larga escala de sojícola se expandiu para as áreas de chapadas, sob a alegação de que essas terras não eram adequadas para quaisquer tipos de atividades econômicas (Almeida, 2017). Conforme os resultados das análises realizadas sobre a área de estudo, observa-se o avanço do plantio da soja sobre o município e o desmatamento acelerado em 20 anos alcançou grandes proporções (Figura 5).

Figura 5 – Representação da retirada da cobertura da vegetação natural para a produção de sojícola no município, considerando um intervalo de cinco anos



Fonte: Elaboração dos autores (2025).

A Tabela 1 permitiu a quantificação da área de uso e ocupação, equivalente ao cultivo de soja, a partir da década de 1985, com dados obtidos da base de dados do Mapbiomas. Esses

dados foram reclassificados de acordo com as classes da legenda da Coleção 9 da plataforma, permitindo comparar o crescimento significativo da área destinada ao cultivo da soja no município ao longo dos anos.

Tabela 1 – Classes e quantificação das áreas referentes ao uso e ocupação do terreno de Brejo, Maranhão, Brasil

Classes	Área km² (1990)	% em 1990	Área km² (2023)	% em 2023	Mudança km²
Floresta	98.722,048	90,84%	66.346,968	32,00%	-32.375,080
Agropecuária	2.848,030	2,88%	37.823,020	59,15%	34.974,990
Urbanização	460.897	4,71%	763.551	6,70%	302.654
Corpos d'água	2.398,468	1,57%	1.979,698	2,15%	-418,770
Total	104,429,443	100,00%	106,913,237	100,00%	

Fonte: Autores (2025), adaptado de MapBiomas (2023)

Verificou-se que, durante a década de 90, houve uma expressiva redução da área de Formação Florestal, que passou de 90,84% (98.722,048 km²) para 32,00% (66.346,968 km²) em 2023, o que resultou em uma supressão florestal de 32.375,080 km². Por outro lado, a classe da Agropecuária apresentou um aumento de 37.823,020 km² (59,15%), saindo de um percentual de uso do solo de 2,88% em 1990. O mesmo ocorre com a supressão dos corpos d'água existentes, que diminuíram consideravelmente (2,15%).

Esses dados possibilitaram a análise das ações humanas na ocupação do município, considerando os processos físicos fundamentais que regulam as interações entre a energia térmica e a matéria, além das propriedades térmicas da matéria e a intensidade dessas interações. O clima da região passou por mudanças significativas, relacionadas ao desmatamento da vegetação típica, o que, por sua vez, promoveu alterações na precipitação e na própria temperatura do município.

Esses dados se referem à disposição da radiação solar, que atravessa a atmosfera terrestre. Sua intensidade diminui e sua distribuição espectral se modifica devido à absorção, reflexão e difusão dos raios solares pelos diversos componentes do ar. Portanto, a energia radiante que alcança a superfície é parcialmente refletida, absorvida e transmitida, dependendo das propriedades específicas dos materiais. A vegetação é o principal elemento que distingue os demais, como o solo e a água. As medições de refletância, absortância e transmitância são influenciadas por essas propriedades, variando conforme o comprimento de onda da energia radiante incidente e a temperatura da superfície (Sanches et al., 2003).

Assim, sem uma cobertura vegetal natural abundante, as mudanças climáticas locais resultam do processo de desmatamento para a produção agrícola extensiva, já que a vegetação contribui para a evapotranspiração e na formação de umidade (Moura Neto et al., 2023).

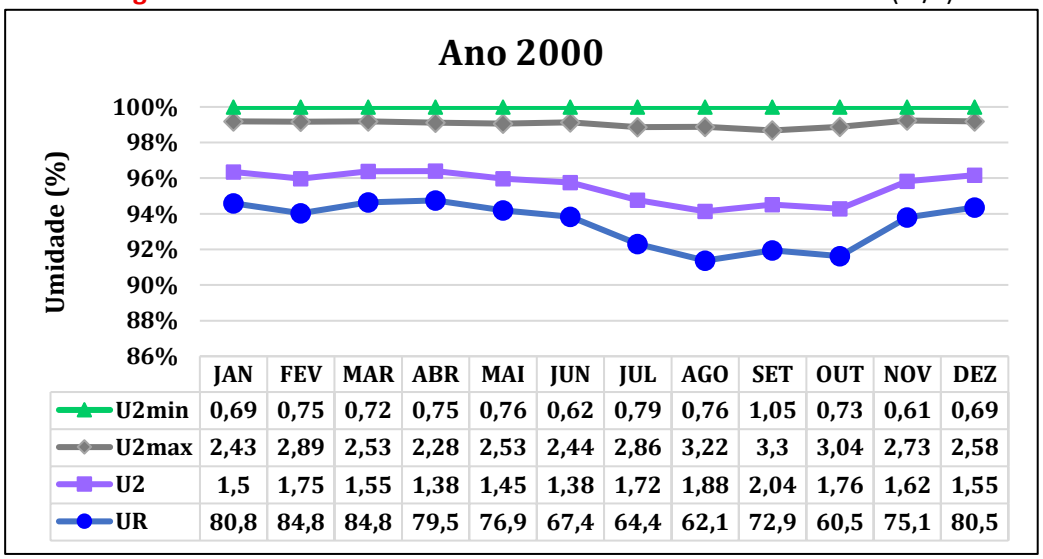
Esse processo configurou o município com novas características climáticas, influenciadas por diversos fatores que atuam sobre a malha urbana, transformando o clima em escala local. Os efeitos mais percebidos pela população incluem a qualidade do ar, o impacto das chuvas e o conforto térmico (Borges; Veras, 2024). As análises permitiram compreender a correção dos valores de precipitação e identificar os fatores que poderiam ter promovido as mudanças nas condições meteorológicas da área de estudo. Dessa forma, o uso de geoprocessamento tornou-se fundamental para garantir que os dados refletissem as reais condições ambientais, subsidiando estudos sobre o uso e desordenamento da ocupação antrópica, especialmente no que diz respeito à sensação térmica da área.

3.2. Velocidade máxima/mínima do vento (m/s) e umidade relativa do ar (%)

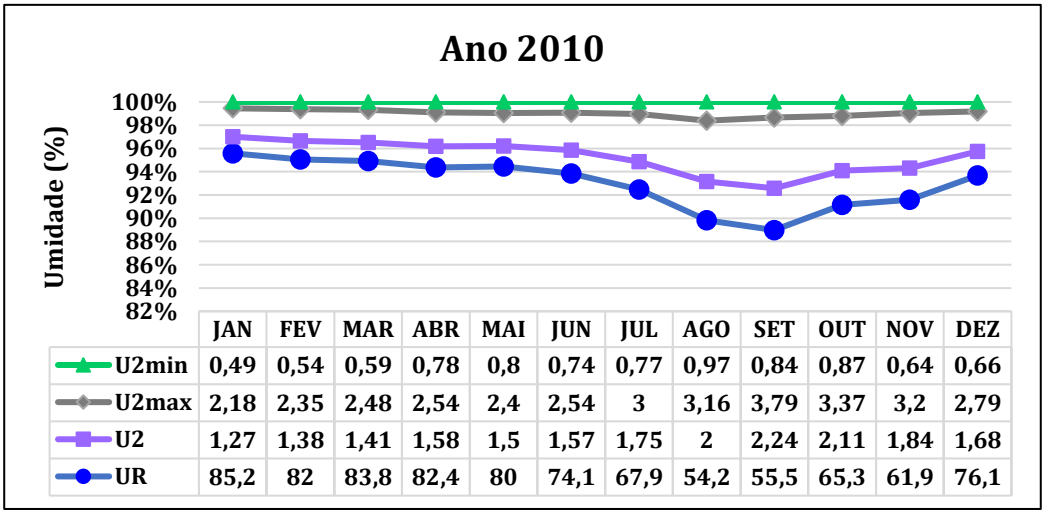
Os dados obtidos e analisados sobre a velocidade do vento apresentaram representações pertinentes para os anos de 2000, 2010 e 2020, respectivamente, o que permitiu o levantamento e a organização das informações, além da elaboração dos gráficos que associaram a velocidade do vento (U2) aos anos estabelecidos.

Os resultados revelaram que, durante 2000, 2010 e 2020, os valores referentes à velocidade do vento mostraram correspondências, mesmo considerando o intervalo espaço-temporal de dez anos (interdecadal), o que pôde ser observado mês a mês em cada ano. Essa correspondência é demonstrada nos gráficos confeccionados, que possibilitam a comparação entre os meses dos diferentes anos (Figura 6).

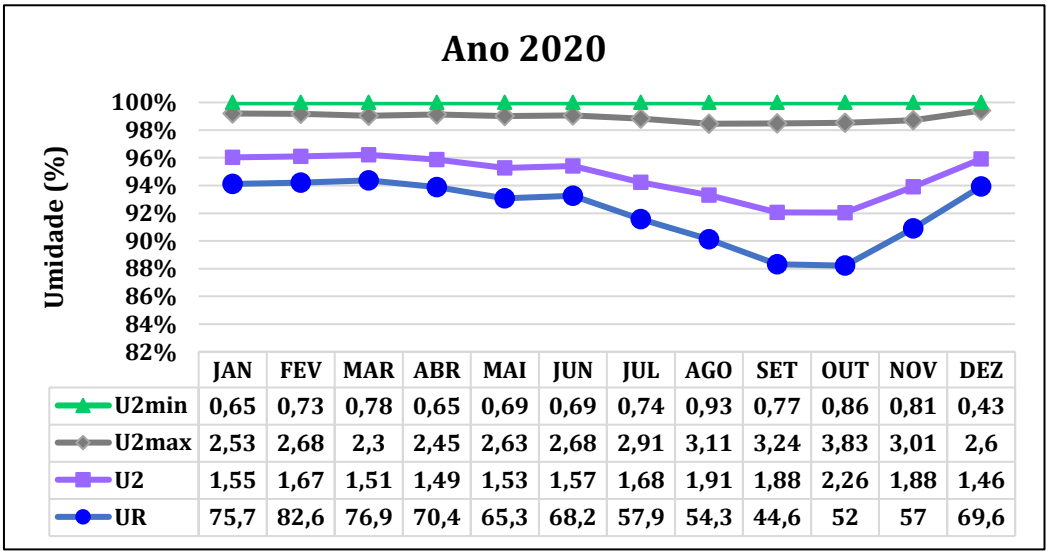
Figura 6 – Dados obtidos sobre a umidade e velocidade do vento (m/s).



	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
U2min	0,69	0,75	0,72	0,75	0,76	0,62	0,79	0,76	1,05	0,73	0,61	0,69
U2max	2,43	2,89	2,53	2,28	2,53	2,44	2,86	3,22	3,3	3,04	2,73	2,58
U2	1,5	1,75	1,55	1,38	1,45	1,38	1,72	1,88	2,04	1,76	1,62	1,55
UR	80,8	84,8	84,8	79,5	76,9	67,4	64,4	62,1	72,9	60,5	75,1	80,5



	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
U2min	0,49	0,54	0,59	0,78	0,8	0,74	0,77	0,97	0,84	0,87	0,64	0,66
U2max	2,18	2,35	2,48	2,54	2,4	2,54	3	3,16	3,79	3,37	3,2	2,79
U2	1,27	1,38	1,41	1,58	1,5	1,57	1,75	2	2,24	2,11	1,84	1,68
UR	85,2	82	83,8	82,4	80	74,1	67,9	54,2	55,5	65,3	61,9	76,1



	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
U2min	0,65	0,73	0,78	0,65	0,69	0,69	0,74	0,93	0,77	0,86	0,81	0,43
U2max	2,53	2,68	2,3	2,45	2,63	2,68	2,91	3,11	3,24	3,83	3,01	2,6
U2	1,55	1,67	1,51	1,49	1,53	1,57	1,68	1,91	1,88	2,26	1,88	1,46
UR	75,7	82,6	76,9	70,4	65,3	68,2	57,9	54,3	44,6	52	57	69,6

Fonte: Adaptado Nasa Power (2025)

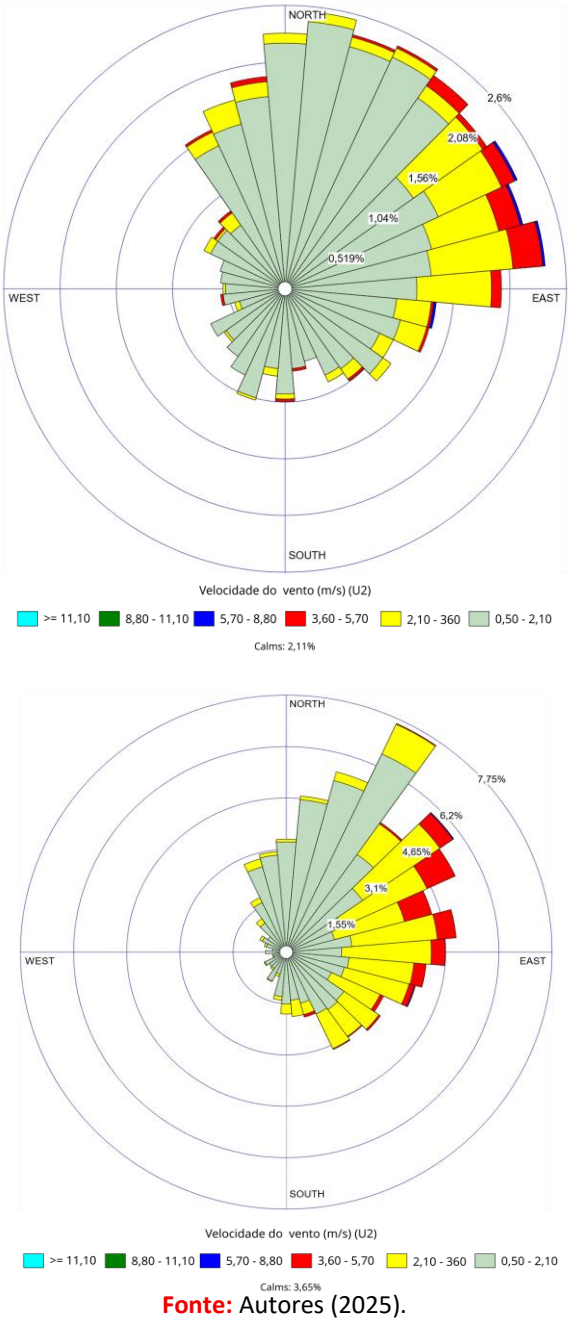
No mês de janeiro, por exemplo, a umidade relativa (UR) atingiu o valor de 85% em 2020, em comparação aos anos de 2010 e 2000, apresentando uma diferença de 5 a 10% a menos. Já em relação à velocidade máxima do vento (U2max), os valores foram de até 2,8 m/s em 2000 e 2,5 m/s em 2010, sendo este o maior valor registrado para o ano de 2010. A velocidade mínima foi de 0,6 m/s para ambos os anos, enquanto o menor valor registrado foi de 0,4 m/s em 2020, no que diz respeito à velocidade mínima do vento (U2min).

No trimestre subsequente (fevereiro, março e abril), a umidade relativa do ar chegou ao patamar de 84% a 81% nos anos de 2000 e 2010. Já em 2020, houve uma diminuição significativa, com os valores reduzindo de 82% para 70%. Durante todo o período analisado, observou-se uma drástica diminuição da umidade do ar, permitindo visualizar um decaimento de 74% a 54% no ano de 2010, e de 69% a 52% em 2020dos valores obtidos. Esses dados corroboram a projeção de que a remoção da cobertura vegetal tem um impacto direto na umidade do ar, associada ao plantio da soja, especialmente pela expansão do MATOPIBA na região leste do Maranhão, na microrregião de Chapadinha (Almeida; Júnior, 2021).

Já a velocidade máxima do vento nos anos 2010 e 2020 (Figura 7), no segundo semestre, chegou a sobrepor 2m/s, intercalando entre 2,9m/s de julho a novembro dos respectivos anos analisados, com velocidade frequente de 2,10 a 5,70m/s vindo da direção leste (Santana et al., 2020). Esses padrões estão relacionados ao surgimento do fenômeno La Niña, que, conforme demonstrado por Lima et al. (2014), exerce uma influência duradoura sobre os ventos alísios nos oceanos tropicais, incluindo o Atlântico Equatorial (Tokinaga; Richter; Kosaka, 2019).

Esse fator ocorreu da mesma forma em 2000, mas somente entre os meses de agosto a outubro daquele ano. Já para a velocidade mínima do vento, notou-se uma constância entre os anos de 2000, 2010 e 2020, com valores no primeiro semestre variando de 0,6 m/s a 1,5 m/s, sendo este último o único registro para o ano de 2000. Nos outros anos, os valores variaram de 0,6 m/s a 0,8 m/s.

Figura 7 – Diagrama da velocidade do vento dos anos 2010 e 2020



Fonte: Autores (2025).

Para o segundo semestre, em relação à velocidade mínima do vento, observou-se um padrão semelhante ao primeiro semestre. No entanto, o único valor superior registrado para o ano de 2000 ocorreu no mês de setembro, com 1,0 m/s, enquanto nos outros meses dos anos de 2010 e 2020, os valores permaneceram entre 0,6 m/s e 0,9 m/s.

Essa relação também esteve associada ao período de atuação do fenômeno La Niña, entre os anos de 2016 e 2020. Nesse intervalo, ocorreram mudanças nos ventos provocadas pela anomalia característica do fenômeno, resultante do resfriamento das águas do Oceano

Pacífico (Molion, 2017). A manifestação da La Niña e suas consequências sobre o continente contribuíram para alterações nos ventos da região Nordeste, coincidindo com o período de estiagem (Lima et al., 2014). O fenômeno é caracterizado por anomalias frias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico equatorial, que afetam a variabilidade climática tropical e extratropical, incluindo modificações nos padrões de precipitação e ventos. Essas alterações também estão associadas à La Niña Modoki, marcada pela tensão do vento zonal e por correntes zonais próximas ao equador, identificadas entre os anos de 2000 e 2008 (Shinoda; Hurlburt; Metzger, 2011).

Desta forma, durante as análises realizadas no período estudado, os valores médios mensais de velocidade do vento oscilaram entre 0,6 e 3,0 m/s, com rajadas registradas em períodos de maior instabilidade atmosférica, como os meses de transição entre as estações chuvosa (dezembro a maio) e de estiagem (junho a novembro).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expansão da fronteira agrícola, voltada para o cultivo da soja no estado do Maranhão, impulsionada pelo avanço do MATOPIBA, tem contribuído para alterações climáticas locais e para a descaracterização das condições térmicas do município. Esse processo reflete uma tendência observada nas últimas décadas no Brasil, marcada pela devastação da cobertura vegetal natural e pelos impactos ambientais, econômicos e sociais negativos decorrentes dessa dinâmica. A relevância dessas observações reside na projeção de impactos socioclimáticos futuros, especialmente no que se refere à intensificação das vulnerabilidades ambientais e à necessidade de estratégias de adaptação sustentáveis para a região.

Embora as mudanças climáticas globais sempre tenham ocorrido, as ações antrópicas aceleraram esses processos de aquecimento global. As análises realizadas sobre o município de Brejo – MA revelaram esse impacto de forma local, com grandes alterações paisagísticas em uma região que antes se destacava pelas belezas cênicas de sua cobertura natural. Essa mesma cobertura, antes responsável pela proteção ambiental, hoje já não oferece o mesmo nível de proteção para a população local.

Logo, observa-se que o uso de dados de sensoriamento remoto, por meio das plataformas MapBiomas e Google Earth Engine, constitui uma ferramenta indispensável para a análise de áreas afetadas por agravantes relacionados às mudanças climáticas. Dessa forma,

os resultados obtidos neste estudo podem subsidiar novas investigações em outras áreas de interesse, além de contribuir para o desenvolvimento de projetos ou programas voltados à desaceleração desses impactos e à promoção de alternativas viáveis para a sustentabilidade e preservação da cobertura natural, bem como para a manutenção dos aspectos originais da região.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. S. **Modelagem da dinâmica do desmatamento na região do MATOPIBA até 2050**. 2016. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ALMEIDA, J. G.; JUNIOR, J. S. M. Pra cá tem campo e pra cá também tem campo, aí nós fica aqui no meio: o campesinato frente a expansão da soja na microrregião de Chapadinha (MA). **Revista Escritas**, v. 13, n. 1, p. 121-142, 2021.

ALMEIDA, J. G.; JUNIOR, J. S. M. **A luta na/pela terra frente à expansão da soja no município de Brejo, Maranhão**. 2017. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2017.

ALVARES, C. A. et al. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 113, p. 407–427, 2013. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-012-0796-6. Acesso em: 6 fev. 2025.

BATISTELLA, M. et al. **Relatório do diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico do Estado do Maranhão**. Campinas: Embrapa, 2013.

BORGES, C. L. S.; VERAS, D. S. Análise do índice de cobertura vegetal e temperatura de superfície no município de Campo Maior – PI. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, v. 4, n. 1, 2024.

CAI, W. et al. Changing El Niño–Southern oscillation in a warming climate. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 2, n. 9, p. 628-644, 2021.

CHANG, P. et al. The cause of the fragile relationship between the Pacific El Niño and the Atlantic Niño. **Nature**, v. 443, n. 7109, p. 324-328, 2006. Disponível em: https://www.aoml.noaa.gov/ftp/pub/phod/sklee/articles/atlantic_nino/chang_etal_2006_nature.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Geodiversidade do estado do Maranhão**: Programa Geologia do Brasil. Organização de I. C. N. Bandeira. Teresina: CPRM, 2013.

CORRÊA, W.; CARVALHO, M. W. L.; MENDES, T. J. Atualização da classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, n. 19, p. 517–543, 2023. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16727.

GASPAR, R. B. **Os gaúchos do agronegócio no Leste Maranhense**: estabelecimento e estratégias de reprodução. 2018. 276 f. Tese (Doutorado em Sociologia e Antropologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

GUERRA, I. A. L. T. Tipos de clima do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 17, n. 4, p. 449–496, 1955. Disponível em: https://www.rbg.ibge.gov.br/index.php/rbg/article/view/2016. Acesso em: 6 fev. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Enciclopédia dos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 1959. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=227295&view=detalhes. Acesso em: 15 nov. 2024.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. *In*: MASSON-DELMOTTE, V. et al. (ed.). **Climate Change 2021**: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 3-32. DOI: https://doi.org/10.1017/9781009157896.001.

KOTTEK, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006. DOI: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130.

LAGO, A. C. **Brejo, Aldeia dos Anapurus**. São Luís: Secretaria de Cultura, 1989.

LIMA, C. N. N. et al. Estimação do impacto do El Niño/La Niña na intensidade dos ventos do Nordeste brasileiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 232-240, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2014_2_232_240.

MARANHÃO. Governo do Estado. **Regiões de planejamento do Estado do Maranhão**. São Luís: SEPLAN, 2008. Disponível em: https://seplan.ma.gov.br/regionalizacao. Acesso em: 16 nov. 2024.

MATRICARDI, E. A. T. et al. Modelagem do desmatamento na região do MATOPIBA. **Nativa**, v. 6, n. 2, p. 198-206, mar./abr. 2018.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 7-24, 2008.

MOLION, L. C. B. Gênese do El Niño. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 1-15, 2017.

MOURA NETO, A. et al. Evapotranspiration in the context of land use and land cover changes in MATOPIBA, Brazil: a theoretical approach. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 1, p. 50-62, 2023.

NASCIMENTO, F. C. A.; BRAGA, C. C.; ARAÚJO, F. R. C. D. Análise estatística dos eventos secos e chuvosos de precipitação do Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 375-386, 2017.

NOGUEIRA, V. F. B.; CORREIA, M. F.; NOGUEIRA, V. S. Impacto do plantio de soja e do Oceano Pacífico Equatorial na precipitação e temperatura na cidade de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 3, p. 708–724, 2012. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i3.232870. Acesso em: 22 fev. 2025.

NOVAIS, G. T. **Classificação climática aplicada ao Bioma Cerrado**. 2019. 184 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.14393/ufu.1e.2019.2199.

PEREIRA, P. R. M.; COSTA, F. W. D.; JÚNIOR, A. R. G. Geoprocessamento aplicado na análise da fragilidade ambiental do município de Brejo, Maranhão. **Revista Equador**, v. 8, n. 2, p. 521-539, 2019.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RÊGO, J. M. A. N. **Dos sertões aos mares**: história do comércio e dos comerciantes de Parnaíba (1700-1950). 2010. 291 f. Tese (Doutorado em História) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2010.

SANCHES, I. E. D. A. et al. Influência do tempo após a coleta de folhas na reflectância e transmitância. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2605-2612.

SANTANA, L. V. R. et al. Analysis of the regularity of wind velocity in Northeast Brazil through Sample Entropy. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e762974746, 2020. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4746. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4746. Acesso em: 22 fev. 2025.

SANTOS, E. S. et al. Caracterização de anos secos e úmidos para mesorregião Leste Maranhense. *In*: REDIN, E. (org.). **Ciências Rurais em Foco**. São Lúis: Editora Poisson, 2022. v. 9, cap. 6.

SGB - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Relatório diagnóstico do município de Brejo**. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011.

SHINODA, T.; HURLBURT, H. E.; METZGER, E. J. Anomalous tropical ocean circulation associated with La Niña Modoki. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, p. C12001, 2011. DOI: https://doi.org/10.1029/2011JC007304. Disponível em: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2011JC007304. Acesso em: 12 nov. 2025.

SILVA, F. B. et al. Levantamento dos remanescentes da cobertura vegetal no município de Brejo, MA: comparação de imagens CCD/CBERS-2 e MODIS/TERRA. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2009. p. 6233–6240.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55–94, 1948. DOI: https://doi.org/10.2307/210739.

TOKINAGA, H.; RICHTER, I.; KOSAKA, Y. ENSO influence on the Atlantic Niño, revisited: multi-year versus single-year ENSO events. **Journal of Climate**, v. 32, n. 14, p. 4585–4600, 15 jul. 2019. DOI: https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0683.1.