



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Informática
Graduação em Ciência da Computação

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Miquéias Luis Martins de Oliveira

João Pessoa - PB
2024

Miquéias Luis Martins de Oliveira

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciência da Computação do Centro de Informática, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Leonardo Vidal Batista

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar saúde e força todos os dias da minha vida, e por me ajudar nos momentos mais difíceis, sem Ele nada seria possível.

Sou imensamente grato aos meus pais, Sheilisângela e Adriano, por me proporcionarem essa oportunidade.

Agradeço a meu irmão, Calil, por me proporcionar grande suporte e incentivo na jornada do curso.

Também agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Leonardo Vidal Batista, pela paciência, dedicação e toda ajuda prestada.

Resumo

O Semiárido Brasileiro é o lar de mais de 28 milhões de pessoas, abrangendo 12% território nacional. Nesta região, qualquer ação para assegurar o acesso à água deve levar em conta os aspectos de fonte, transporte e tratamento. Com a ausência de rios perenes, o Semiárido possui o menor percentual de água armazenada do país, cerca de 3%, tornando a água das chuvas, com médias anuais abaixo de 800 milímetros, sua principal fonte de abastecimento — um recurso de extrema importância. Diante desse contexto, este trabalho apresenta uma análise espaço-temporal das chuvas no Semiárido brasileiro entre 2003 e 2023, utilizando dados do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS). O estudo analisou o comportamento da precipitação em 43 pontos distribuídos pela região, investigando padrões anuais, sazonais e tendências pluviométricas. Foram aplicados os índices de Dias Secos Consecutivos (CDD) e Dias Úmidos Consecutivos (CWD), além dos testes estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall e Theil-Sen para análise de tendências. Os resultados indicaram uma precipitação média de 763 mm no período, com valores máximo de 2.069 mm e mínimo de 181 mm. A análise sazonal revelou o Verão como período mais chuvoso e o Inverno como mais seco. A região norte da Bahia apresentou grave escassez hídrica, sendo considerada a primeira área árida do Brasil. As análises de tendência identificaram pontos com redução significativa da precipitação anual no centro da Bahia e oeste de Alagoas. Sazonalmente, observou-se tendência de diminuição das chuvas principalmente no Outono na região sul do Semiárido, enquanto a Primavera apresentou tendência de aumento em pontos específicos do Piauí e Ceará. Quanto aos índices, 2008 e 2014 registraram, respectivamente, o maior e menor número de dias úmidos consecutivos, enquanto 2017 e 2022 apresentaram o maior e menor número de dias secos consecutivos. Portanto, considerando os resultados, este estudo contribui para a compreensão dos padrões pluviométricos no Semiárido brasileiro, fornecendo possíveis subsídios para o planejamento e gestão dos recursos hídricos na região.

Palavras-chave: Precipitação, Semiárido Brasileiro, CHIRPS, Tendência, Análise.

Abstract

The Brazilian Semi-Arid region is home to over 28 million people, covering 12% of the national territory. In this region, any action to ensure water access must consider the aspects of source, transportation, and treatment. Due to the absence of perennial rivers, the Semi-Arid region has the lowest percentage of stored water in the country, around 3%, making rainfall, with annual averages below 800 millimeters, its primary water source—a resource of vital importance. In this context, this study presents a spatiotemporal analysis of rainfall in the Brazilian Semi-Arid region from 2003 to 2023, using data from the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS). The study analyzed precipitation behavior at 43 points distributed throughout the region, investigating annual, seasonal, and rainfall trend patterns. The indices of Consecutive Dry Days (CDD) and Consecutive Wet Days (CWD) were applied, along with non-parametric statistical tests such as Mann-Kendall and Theil-Sen to assess trends. The results indicated an average precipitation of 763 mm during the period, with maximum values of 2,069 mm and minimum values of 181 mm. Seasonal analysis identified Summer as the wettest period and Winter as the driest. The northern region of Bahia showed severe water scarcity, being considered the first arid area in Brazil. Trend analyses identified points with a significant reduction in annual precipitation in the central part of Bahia and western Alagoas. Seasonally, a decreasing trend in rainfall was observed mainly in the Autumn in the southern part of the Semi-Arid region, while Spring showed an increasing trend in specific areas of Piauí and Ceará. Regarding the indices, 2008 and 2014 recorded the highest and lowest number of consecutive wet days, respectively, while 2017 and 2022 showed the highest and lowest number of consecutive dry days. Therefore, considering these results, this study contributes to understanding rainfall patterns in the Brazilian Semi-Arid, providing potential support for water resource planning and management in the region.

Keywords: Precipitation, Brazilian Semi-Arid, CHIRPS, Trend, Analysis.

Lista de tabelas

Tabela 1 – Estatística descritiva da precipitação de 2003 a 2023	17
Tabela 2 – Estatística descritiva da precipitação de 2003 a 2023	21
Tabela 3 – Estatística descritiva da precipitação sazonal de 2003 a 2023	23

Lista de ilustrações

Figura 1 – Região do Semiárido Brasileiro (Fonte: Pereira et al., 2023).	18
Figura 2 – Região do Semiárido Brasileiro e os 43 pontos de coleta de dados. Em azul as estações automáticas (<i>automatic</i>), e em vermelho as estações convencionais (<i>conventional</i>) (Fonte: Autor, 2024).	19
Figura 3 – Variabilidade da precipitação anual de 2003 a 2023.	21
Figura 4 – Distribuição espacial da média da precipitação anual (em milímetros) de 2003 a 2023 na área de estudo.	22
Figura 5 – Variabilidade da precipitação sazonal (em milímetros) de 2003 a 2023. .	23
Figura 6 – Variabilidade da precipitação sazonal (em milímetros) de 2003 a 2023 (Outono e Inverno).	24
Figura 7 – Variabilidade da precipitação sazonal (em milímetros) de 2003 a 2023 (Primavera e Verão).	24
Figura 8 – Distribuição espacial dos níveis de significância do teste de Mann-Kendall (regiões significativas em verde).	25
Figura 9 – Distribuição espacial da declividade do teste de Theil-Sen na área de estudo.	25
Figura 10 – Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann-Kendall, e declividade do teste Theil-Sen na área de estudo (Outono).	26
Figura 11 – Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann-Kendall, e declividade do teste Theil-Sen na área de estudo (Inverno).	26
Figura 12 – Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann-Kendall, e declividade do teste Theil-Sen na área de estudo (Primavera).	27
Figura 13 – Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann-Kendall, e declividade do teste Theil-Sen na área de estudo (Verão).	27
Figura 14 – Ano com maior número de CWD (2008), e ano com menor número de CWD (2014).	28
Figura 15 – Ano com maior número de CDD (2017), e ano com menor número de CDD (2022).	29
Figura 16 – Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann-Kendall, e declividade do teste Theil-Sen na área de estudo para indicação de tendências do índice CWD.	30
Figura 17 – Distribuição espacial do teste Mann-Kendall, e declividade do teste Theil-Sen na área de estudo do índice CDD.	30

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	10
1.1.1	Geral	10
1.1.2	Específicos	10
1.2	Estrutura da dissertação	10
2	REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1	Medição de chuvas	12
2.1.1	Instrumentos convencionais	12
2.1.2	Sensoriamento Remoto e Satélites	13
2.2	<i>Climate Hazards Center InfraRed Precipitation With Station Data - CHIRPS</i>	14
2.3	Análise de tendências de precipitação	15
2.4	Trabalhos Relacionados	16
3	METODOLOGIA	18
3.1	Características gerais da área de estudo	18
3.2	Dados de precipitação	19
3.3	Índices CDD e CWD	20
3.4	Teste de Mann-Kendall e Theil-Sen slope	20
4	RESULTADOS	21
4.1	Comportamento espaço-temporal anual da precipitação	21
4.2	Comportamento espaço-temporal sazonal da precipitação	22
4.3	Tendências da precipitação anual	24
4.4	Tendências da precipitação sazonal	25
4.5	Análise do máximo de dias úmidos e secos consecutivos	28
4.6	Tendências do número máximo de dias úmidos e secos consecutivos	29
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS	33

1 Introdução

A chuva interfere significativamente em nosso cotidiano, tanto no aspecto econômico quanto no lazer, especialmente em países como o Brasil, cuja matriz energética é predominantemente hidrelétrica. No âmbito social, períodos de chuva intensa afetam principalmente populações ribeirinhas e residentes de periferias, que sofrem com enchentes (Cirrus 12 UNEMET, 2008).

Desde os primórdios, a humanidade busca compreender os ciclos pluviométricos para desenvolver métodos de agricultura e caça. Embora a Meteorologia como ciência no mundo ocidental tenha surgido no final do século XVI, registros históricos indicam que por volta de 100 d.C., aparelhos de medição de chuva já eram utilizados na Palestina para fins agrícolas (Cirrus 12 UNEMET, 2008).

Por muito tempo, a medição da precipitação através de pluviômetros simples, ainda que eficaz em locais específicos, apresentava limitações para cobrir regiões extensas, áreas remotas ou oceanos. A manutenção de redes de medição, além de onerosa, exige esforço contínuo. Ademais, a escassez de dados, erros de registro e descontinuidade nas medições resultavam em informações de baixa qualidade, inadequadas para análises consistentes.

Com o progresso dessas tecnologias e as vantagens dos satélites em relação à cobertura territorial, comparadas às estações pluviométricas terrestres, cientistas desenvolveram diversas técnicas para produção de mapas de precipitação. Entre elas, destaca-se o Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), que oferece um conjunto de dados quase global (latitude de 50° Sul a 50° Norte), com mais de 35 anos de registros, desde 1981 até a atualidade, permitindo análises de tendências e monitoramento de secas sazonais.

O CHIRPS utiliza uma metodologia que combina fontes diretas (medição de precipitação de superfície) e indiretas (produtos de satélite), buscando minimizar limitações como a superestimação ou subestimação de precipitação pelos sensores (Capozzoli et al. 2021).

Diversos estudos avaliam a eficácia do CHIRPS. Pesquisadores como, Anjinho et al. (2021), Capozzoli et al. (2021) e Nogueira et al. (2018) demonstram como o sistema satelital pode ser um excelente recurso na análise e observação da precipitação.

Apesar das avaliações positivas, o uso de satélites para monitoramento pluviométrico é relativamente recente. Os estudos convergem para a necessidade de mais pesquisas voltadas à avaliação dos dados gerados pelo CHIRPS, principalmente em análises espaço-temporais.

Segundo o Instituto Nacional do Semiárido (INSA), o clima dessa região caracteriza-

se pela irregularidade das chuvas e altas taxas de evapotranspiração, fatores que contribuem para o risco de seca. Paralelamente, ocorrem monções torrenciais - chuvas intensas de curta duração que provocam cheias, renovam rios e lagos intermitentes, revitalizam a vegetação e recarregam os reservatórios.

No semiárido brasileiro, a disponibilidade hídrica é limitada. Consequentemente, um monitoramento pluviométrico com dados consistentes e de alta disponibilidade, associado a ferramentas e abordagens estatísticas, pode constituir um recurso valioso para pesquisas que visam minimizar os efeitos da escassez hídrica na região.

Portanto, este trabalho objetiva realizar uma análise espaço-temporal da precipitação no semiárido brasileiro entre 2003 e 2023, utilizando dados do CHIRPS e procedimentos estatísticos para analisar tendências e comportamentos regionais.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Formular uma análise espaço-temporal das chuvas na região do Semiárido brasileiro entre 2003 e 2023 utilizando dados do CHIRPS, apontando possíveis setores de interesse nas ações da gestão dos recursos hídricos na área.

1.1.2 Específicos

- Analisar e descrever o comportamento da precipitação em 43 (quarenta e três) pontos distribuídos na região do Semiárido brasileiro, utilizando escalas anual e sazonal.
- Quantificar e espacializar o número máximo de dias úmidos (*Consecutive Wet Days* - CWD) e secos (*Consecutive Dry Days* - CDD) consecutivos, obtidos para cada um dos 43 pontos na região do Semiárido brasileiro.
- Analisar tendências da precipitação (anual e sazonal), bem como as tendências para CWD e CDD.

1.2 Estrutura da dissertação

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução ao problema de pesquisa, contextualizando o cenário do Semiárido brasileiro e discutindo uma possível ferramenta para auxiliar na mudança dessa situação. O segundo capítulo aborda os métodos utilizados para registro e coleta de dados, explicando seu funcionamento, assim como a análise de tendências de precipitação. No terceiro capítulo, é feita uma rápida especificação da área de estudo, das metodologias empregadas e da forma de obtenção dos dados. O quarto

capítulo discute os resultados das análises, aplicando métodos estatísticos e espacialização sobre os dados de precipitação obtidos. Por fim, o quinto capítulo conclui o trabalho com considerações finais e sugestões para projetos futuros.

2 Revisão da Literatura

Este capítulo tem como objetivo uma revisão da literatura, abordando os métodos utilizados para registro e coleta de dados, bem como seu funcionamento.

2.1 Medição de chuvas

A região do Semiárido brasileiro é fortemente caracterizada por seu clima seco e escassez hídrica, resultantes de chuvas irregulares e altas taxas de evapotranspiração. Consequentemente, é necessário monitorar a precipitação em função da existência de projetos de irrigação (atuais e futuros), abastecimento de água em grandes, médias e pequenas cidades, que em boa parte dependem de açudes e rios, além da dependência de diversas culturas agrícolas da chuva nesse território. Resumidamente, esse conhecimento permite melhorar a produtividade das atividades econômicas e, de maneira similar, o uso da água em suas diversas atividades diárias (Melo e Lima, 2021).

Dessa forma, as principais formas de coleta e registro da precipitação podem ser resumidas à medição por meio de instrumentos convencionais, ou seja, aparatos instalados no solo que captam a chuva, e à estimativa por Sensoriamento Remoto (SR), que utiliza, em sua maioria, satélites com sensores especializados

2.1.1 Instrumentos convencionais

Com a finalidade de obter dados meteorológicos, mais especificamente pluviométricos, duas ferramentas são fundamentais: o pluviômetro e o pluviógrafo. O pluviômetro possui a função simplificada de medir o volume total de chuva durante um período específico, com a coleta e registro dos dados sendo realizados de forma manual. É comumente utilizado em estações meteorológicas manuais.

Por sua vez, o pluviógrafo registra automaticamente a intensidade da chuva, sendo ideal para longos intervalos de tempo e em áreas com condições climáticas adversas, pois opera de forma ininterrupta por períodos mais prolongados e não está sujeito a erros humanos de medição. Assim, apresenta um grau de confiabilidade maior do que o dispositivo anterior. No entanto, devido à falta de recursos ou ao acesso limitado a essa tecnologia, o uso de pluviômetros convencionais é mais viável (Souza et al., 2018).

Segundo dados do portal do INMET em 2024 (Instituto Nacional de Meteorologia), o Brasil possui aproximadamente 750 estações meteorológicas que cobrem o território nacional. Contudo, devido à vasta abrangência geográfica do país, esse número acaba se tornando insuficiente. Ademais, conforme reportado pelo G1 (o portal de notícias da

Globo) em 2021, quase 30% das estações meteorológicas do Brasil estão sem manutenção, o que contribui para a danificação dos aparelhos e, conseqüentemente, falhas nos registros de dados, tanto por métodos automáticos, quanto convencionais.

Para corrigir ou atenuar as inconsistências mencionadas nas medições pluviométricas, o Sensoriamento Remoto (SR) tem se mostrado um recurso valioso, proporcionando uma nova abordagem para o monitoramento de chuvas. O próprio INMET utiliza o SR com imagens de satélite e radares meteorológicos para a elaboração de previsões do tempo. Esses registros são amplamente disponibilizados por agências e órgãos governamentais, facilitando análises em escalas que vão de grandes a pequenas.

2.1.2 Sensoriamento Remoto e Satélites

O SR pode ser considerado como o uso integrado de sensores, equipamentos de processamento e transmissão de dados, e até mesmo aeronaves e satélites, com o intuito de estudar o meio ambiente terrestre, aplicando análises e interações entre a radiação eletromagnética (REM) e os componentes do planeta (Novo, 1995). Muitos países, incluindo o Brasil, utilizam essa tecnologia amplamente em estudos ecológicos, levantamento de recursos naturais e monitoramento ambiental, o que contribui tanto para o desenvolvimento econômico, quanto para o social. O sensoriamento remoto torna-se essencial em países de grande extensão territorial; todavia, sua aplicação não se limita apenas a escalas de tamanha grandeza, pois se estende por todo o globo e se torna aplicável a qualquer escala espaço-temporal.

A origem desse tema remonta ao princípio da era espacial na década de 1960, quando os programas russos e americanos consolidaram uma abordagem dupla para superfícies de imagens, utilizando múltiplos tipos de sensores em espaçonaves. A forma principal de captação de dados é através da REM, que pode ser considerada como o mecanismo de interatividade dinâmica de energia com a matéria, gerada toda vez que cargas elétricas são aceleradas (Rodrigues et al., 2018).

Deste modo, os satélites meteorológicos fazem parte do sensoriamento e monitoramento do meio ambiente do nosso planeta, em geral. O TIROS (*Television and Infra-Red Observation Satellite*) é considerado o primeiro satélite meteorológico, que levava consigo um par de câmeras de televisão e fazia a transmissão de informações e imagens da Terra. A partir daquele dia, uma variedade de satélites foi lançada em órbita, cada um com uma nova tecnologia, no intuito de aprimorar a capacidade de observação. No Brasil, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) desenvolve suas atividades em meteorologia por satélites desde 1967, e, no começo de 2018, o INMET passou a monitorar em tempo real o GOES-16 (*Geostationary Operational Environmental Satellites*), operado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (Ferreira, 2002).

2.2 *Climate Hazards Center InfraRed Precipitation With Station Data - CHIRPS*

Desde 1999, a USGS (*United States Geological Survey*) e o CHC (*Climate Hazards Center*), com o apoio financeiro da USAID (*United States Agency for International Development*), NASA e NOAA, vêm desenvolvendo diversificadas técnicas para a produção de mapas de precipitação. A iniciativa foi motivada pela necessidade de estimar variações espaciais e temporais de chuva, especialmente em áreas de baixa densidade de dados de estações meteorológicas. A compreensão das anomalias de precipitação se tornou essencial para o monitoramento ambiental e a emissão de alertas antecipados de seca, uma vez que déficits extremos de chuva demandam ser rapidamente identificados e avaliados em um contexto histórico (Funk et al., 2015).

Para atender essa necessidade, o CHIRPS foi criado, o qual trata-se de um conjunto de dados “quase-global” de precipitação, cobrindo as latitudes entre 50°S e 50°N e todas as longitudes, com alta resolução espacial, de 0,05° (aproximadamente 5,5 km por pixel). O conjunto de dados do CHIRPS abrange desde 1981 até o presente e é disponibilizado em intervalos do tipo diário, pentadal (períodos de 5 dias) e mensais, com uma latência de 2 dias para informações preliminares e 3 semanas para a versão final dos dados. Esse sistema foi desenvolvido principalmente para apoiar o FEWS NET (*Famine Early Warning Systems Network*) da USAID, que faz o monitoramento da segurança alimentar e condições agrícolas nas regiões mais vulneráveis ao redor do mundo (Funk et al., 2015).

O processo de geração do CHIRPS se dá pela combinação de dados climatológicos de longo prazo, estimativas de precipitação por satélite e dados de estações meteorológicas, com o objetivo de diluir a influência dos pontos negativos de cada um. Segundo Funk et al., sua composição pode ser descrita, de forma resumida, por três etapas principais:

1. **CHPclim:** O *Climate Hazards Group Precipitation Climatology* é uma climatologia global, baseada em dados de mais de 48 mil estações da FAO (*Food and Agriculture Organization*) e da GHCN (*Global Historical Climate Network*) para o período de 1980 até 2009. Esse aglomerado de dados climatológicos se torna inovador por utilizar, além das variáveis tradicionais (elevação, latitude e longitude), dados do produto de sensores de cinco satélites (micro-ondas e infravermelho), dentre eles o *Tropical Rainfall Measuring Mission* 2B31. O produto dos satélites são rearranjados para a resolução em comum de 0.05°.
2. **CHIRP:** As estimativas pentadais (a cada 5 dias) do CHIRP derivam de variações em relação à média do CHPclim, utilizando dados de satélites calibrados com temperaturas de nuvens frias (*Cold Cloud Duration* ou CCD), que é um cálculo usado para estimar a precipitação, a partir da medida da quantidade de tempo em que um pixel foi coberto por nuvens frias de alta altitude observadas por satélites

geoestacionários. Como a temperatura diminui com a altura na atmosfera, a presença dessas nuvens é um indicativo de convecção intensa, o que se associa à precipitação. O procedimento de estimativa do CHIRP aplica um limiar fixo de 235°K (-38,15°C) para identificar nuvens frias e calibra regressões mensais com dados do TMPA 3B42 (2000-2013) e CCD em um *grid* de 0,25°. Esses coeficientes são redimensionados para 0,05° e usados para gerar estimativas de precipitação pentadal desde 1981 até o presente. Cada estimativa é convertida em uma fração, dividindo cada valor da célula do *grid* pela média da estimação de precipitação dessa mesma célula entre 1981-2013, e essa fração, quando multiplicada pelo valor correspondente do CHPclim, produz a estimativa final do CHIRP. Dessa forma, o CCD é usado para estimar as variações na média do CHPclim, o que reduz o viés sistemático do produto final.

3. O procedimento de mesclagem com os dados das estações no CHIRPS é uma adaptação do algoritmo de ponderação por distância inversa. A estimativa final do CHIRPS se dá pela combinação entre os dados ajustados e não ajustados do CHIRP, dada por:

$$\text{CHIRPS} = \alpha \cdot \text{CHIRP} + (1 - \alpha) \cdot b\text{CHIRP}$$

Sendo:

$$\alpha = \frac{R_{\text{CHIRP}}}{R_{\text{CHIRP}} + R_{\text{ns}}}$$

Onde R_{CHIRP} é a correlação esperada entre os valores ‘verdadeiros’ de precipitação e o CHIRP definido em 0,5 *a priori* baseado nos resultados da validação; R_{ns} é o valor na estação mais próxima; e b é a média ponderada entre as cinco estações mais próximas. Por isso, mesmo que um pixel esteja co-localizado com uma estação, o resultado final do CHIRPS apresenta alguma influência do CHIRP.

2.3 Análise de tendências de precipitação

Para auxiliar na definição de estratégias sobre a gestão dos recursos hídricos e o estabelecimento de novas formas de captação de água, as análises de tendências têm se mostrado altamente colaborativas, por possuírem afinidade com a precipitação e outras variáveis semelhantes.

Se o objetivo é realizar uma análise sobre o comportamento de uma variável, modelos probabilísticos, como o teste de hipótese, viabilizam a avaliação de deduções mais prováveis, de acordo com níveis de significância, permitindo a tomada de decisão sobre rejeitar (ou não) uma afirmação. Dependendo do tipo de procedimento, os testes de hipótese podem ser classificados em paramétricos e não paramétricos, dos quais nos deteremos apenas no

segundo, que não requerem uma definição prévia do modelo distributivo da população e são estabelecidos, de acordo com as particularidades da amostra (Costa, 2017).

Ainda segundo Costa (2017), os testes não paramétricos simplificam o processo por apresentarem menor dependência de suposições em torno da série de dados, como é o caso do teste de Mann-Kendall, que foi utilizado para determinar tendências significativas (ou não) em dados de estações pluviométricas e também de satélites. Por ser um teste eficaz na análise de variáveis climáticas em várias regiões do planeta, e por seu elevado potencial de aplicação quando utilizado em conjunto com outros métodos de análise, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) o tem recomendado.

2.4 Trabalhos Relacionados

Diversos estudos com o objetivo de analisar a variação de precipitação em uma região têm sido elaborados, dada a relevância dessas informações para os contextos econômico e social. No entanto, para a região do Semiárido Brasileiro, especificamente em uma análise espaço-temporal de tendências, há menos materiais que permitam uma comparação abrangente.

Um dos trabalhos consiste em uma publicação na Revista do Departamento de Geografia da USP, intitulada "Tendência do Clima do Semiárido Frente às Perspectivas das Mudanças Climáticas Globais: O Caso de Araripina, Pernambuco", de Lacerda et al. (2016). O estudo realiza uma análise de tendências de precipitação e temperatura de forma resumida, considerando apenas a cidade de Araripina, em Pernambuco. Apesar de se restringir a uma única localidade, por estar situada no Semiárido, o estudo permite inferir algumas relações aplicáveis a outras áreas, embora a disponibilidade de dados de precipitação seja limitada.

Outro estudo, intitulado "Análise Espaço-Temporal de Chuvas na Paraíba Utilizando Estimativas do Satélite TRMM", é a dissertação de mestrado de Costa (2017), que investiga a variabilidade da precipitação na Paraíba por meio de dados de satélite, incorporando informações de altimetria, espacialização, índices de precipitação, análise de tendências e análise de *clusters*. Esse estudo aponta possíveis áreas de interesse que necessitam de maior atenção para captação ou realocação de recursos hídricos.

Devido à menor disponibilidade de dados no primeiro trabalho, o único resultado comparável entre os estudos foi a média anual de precipitação, que se mostrou relativamente próxima entre os três. A média obtida por Costa (2017) foi ligeiramente superior, provavelmente devido à inclusão da região litorânea da Paraíba (Tabela 1).

Assim, as principais diferenças deste estudo são a aplicação de uma análise abrangente que cobre toda a área do Semiárido Brasileiro. Este trabalho utiliza dados de precipitação de uma série histórica de 21 anos e incorpora índices climáticos (CDD e

CWD), apresentando tendências anuais e sazonais. Dessa forma, oferece uma visão mais ampla dessa região, além de fornecer informações valiosas para possíveis ações de gestão dos recursos hídricos.

Tabela 1 – Estatística descritiva da precipitação de 2003 a 2023

Trabalho	Média da Precipitação Anual (mm)
Este trabalho	763
Lacerda et al. (2016)	794
Costa (2017)	832

3 Metodologia

Neste capítulo será feito uma breve especificação da área de estudo, da forma de obtenção dos dados, e também das metodologias utilizadas.

3.1 Características gerais da área de estudo

O Semiárido Brasileiro se distribui por nove estados do Nordeste e também pelo norte de Minas Gerais, ocupando, em sua totalidade, 12% do território nacional e abrigando um pouco menos de 28 milhões de habitantes, espalhados em zonas urbanas e rurais. Dessa forma, constitui-se como um dos semiáridos mais povoados do mundo. Portanto, caracteriza-se como uma região rica em diversos aspectos: social, cultural, ambiental e econômico. Na Figura 1 temos um mapa mostrando a área do Semiárido.



Figura 1 – Região do Semiárido Brasileiro (Fonte: Pereira et al., 2023).

Em sua extensão territorial, o Semiárido Brasileiro contém 1.262 municípios, distribuídos entre os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe.

O clima do Semiárido Brasileiro é marcado pela irregularidade das chuvas e altas taxas de evapotranspiração, que contribuem significativamente para a seca. No entanto, a

região também possui monções torrenciais, que são chuvas fortes eventuais que causam cheias, devolvendo a vitalidade das vegetações, rios, lagos e reservatórios.

Com além de 11 mil espécies vegetais registradas, o Semiárido Brasileiro abriga a Caatinga, que é composta notadamente por leguminosas, gramíneas, euforbiáceas, bromeliáceas e cactáceas. Consequentemente, entre os produtos agrícolas cultivados, destacam-se a soja, o milho, o algodão, o feijão, a mandioca e a cana-de-açúcar, entre outros, cuja renda anual aproximada gira em torno de R\$ 2,7 bilhões (INSA - Instituto Nacional do Semiárido, 2024).

3.2 Dados de precipitação

As informações de precipitação utilizadas neste estudo foram coletadas na plataforma online do ClimateSERV, disponível em <https://climateserv.servirglobal.net/>. Os dados correspondem a estimativas diárias do CHIRPS, abrangendo o período de 1º de janeiro de 2003 a 31 de dezembro de 2023. As imagens de satélite do CHIRPS, com uma resolução espacial de $0,05^\circ$, resultam em pixels que cobrem aproximadamente 31 km^2 cada, garantindo alta precisão na representação espacial. Na Figura 2 temos um mapa mostrando a região do Semiárido com os 43 pontos de coleta de dados.

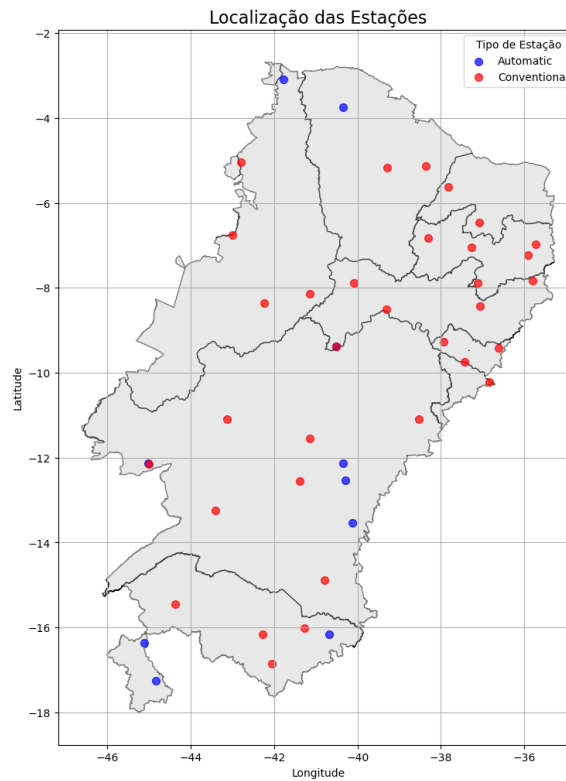


Figura 2 – Região do Semiárido Brasileiro e os 43 pontos de coleta de dados. Em azul as estações automáticas (*automatic*), e em vermelho as estações convencionais (*conventional*) (Fonte: Autor, 2024).

Para definir os pontos de coleta dos dados de precipitação, utilizou-se a biblioteca HydroBR do Python, que disponibiliza informações como localização, tempo de operação, status de atividade, entre outros, referentes às estações da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) e do INMET. Optou-se pelas estações do INMET, priorizando aquelas que apresentam dados abrangendo a maior parte do período analisado. Após a aplicação de filtros com a biblioteca Pandas, foram identificados 43 pontos distribuídos pelo Semiárido Brasileiro, como consta na Figura 2.

3.3 Índices CDD e CWD

Para investigar a oscilação dos dias secos e dos dias chuvosos no Semiárido Brasileiro, foi definida a aplicação de dois importantes índices climáticos: o CDD e o CWD. Esses índices foram aplicados nos 43 pontos distribuídos pelo Semiárido, onde um dia é considerado úmido, caso a precipitação seja maior que 1 mm (milímetro); por conseguinte, um dia seco é aquele em que a precipitação é menor ou igual a 1 mm.

Dessa forma, os índices de CDD e CWD refletem, respectivamente, os períodos de estiagem e os períodos chuvosos dentro do Semiárido Brasileiro. A partir dos dados desses índices, podem ser gerados mapas para uma melhor visualização dos resultados, cabendo também a aplicação de diversas ferramentas estatísticas e métodos probabilísticos, como a análise de tendências.

3.4 Teste de Mann-Kendall e Theil-Sen slope

Como citado anteriormente, o teste de Mann-Kendall possui alto potencial para análise de tendências, quando aplicado juntamente com outros métodos estatísticos. Nesse contexto, a equação proposta por Theil (1950) e generalizada por Sen (1968) é um estimador não paramétrico utilizado para calcular o declive (*slope*) mediano, entre todos os pares possíveis ao longo do tempo. Esse método oferece a vantagem de ser menos sensível a valores extremos em comparação com outros métodos, como a regressão linear simples.

O cálculo é realizado a partir de uma série temporal $(x_1, t_1), (x_2, t_2), \dots, (x_n, t_n)$, onde o declive entre cada par de pontos é dado por:

$$Slope(i, j) = \frac{x_j - x_i}{t_j - t_i}, \quad \text{para } 1 \leq i < j \leq n$$

Assim, a mediana dos valores do *slope* representa o declive final calculado pelo estimador de Theil-Sen, que é amplamente utilizado em combinação com o teste de Mann-Kendall, para detectar tendências significativas em séries temporais meteorológicas.

4 Resultados

Este capítulo discute sobre os resultados das análises dos procedimentos aplicados para obtenção de mapas de distribuição da chuva, dos métodos estatísticos, e dos índices.

4.1 Comportamento espaço-temporal anual da precipitação

Durante o monitoramento da precipitação anual nos 43 pontos de coleta de dados do CHIRPS distribuídos pelo Semiárido Brasileiro, ao longo de todo o período de estudo (2003 a 2023), foi realizada a apuração completa dos dados de precipitação. A partir dessa apuração, foram calculadas as seguintes estatísticas: a média da precipitação foi de 763 mm, com um valor máximo de 2.069 mm e mínimo de 181 mm; o desvio padrão foi de 292 mm, e a mediana, de 716 mm. Na análise do gráfico *box-plot* gerado na Figura 3, é possível perceber que a maior parte dos valores de precipitação do período de estudo se concentra no 3º quartil, que também contém a média. Além disso, os valores mais próximos da mediana estão distribuídos no 1º quartil, como também mostra na Tabela 2.

Tabela 2 – Estatística descritiva da precipitação de 2003 a 2023

Estística	Precipitação (mm)
Média	763
Mediana	716
Desvio-padrão	292
Maxima	2069
Minima	181
1 Quartil	566
3 Quartil	916

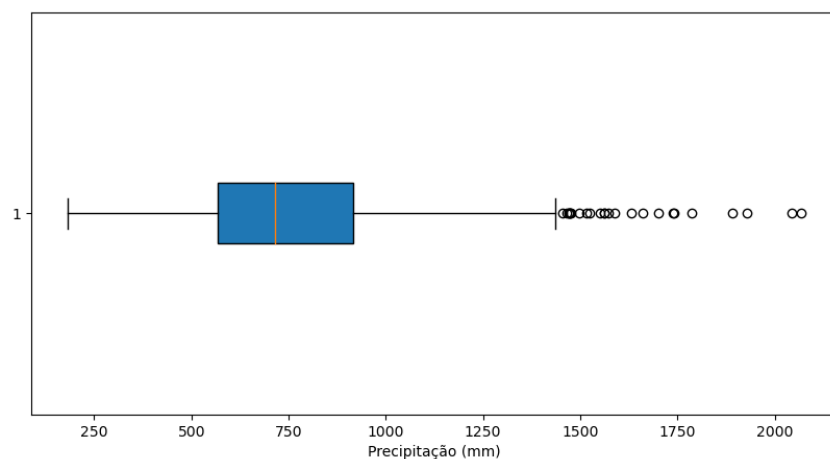


Figura 3 – Variabilidade da precipitação anual de 2003 a 2023.

A partir da análise da distribuição espacial dos dados colhidos nos 43 pontos de coleta do CHIRPS, foi possível elaborar o mapa da média de precipitação para o período de 2003 a 2023 no Semiárido Brasileiro, apresentado na Figura 4.

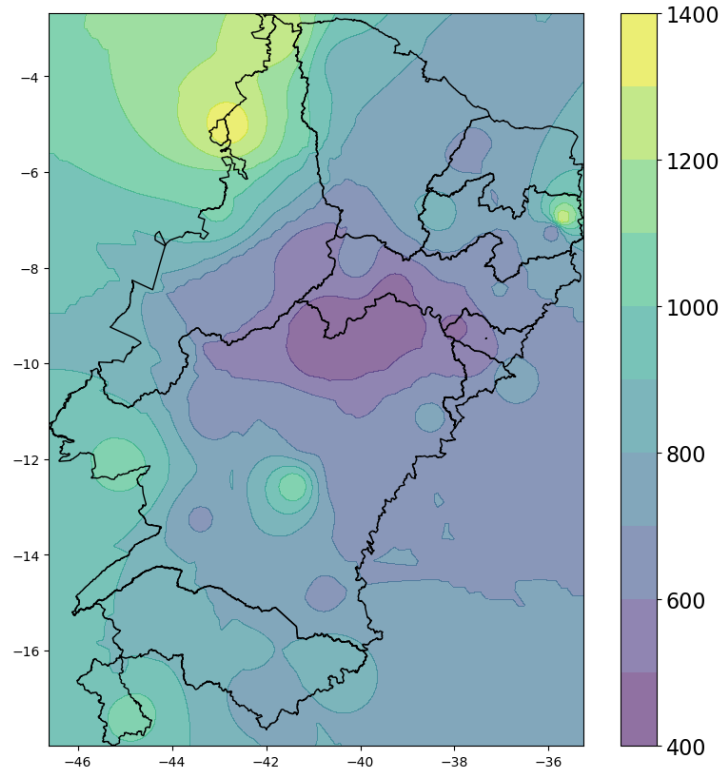


Figura 4 – Distribuição espacial da média da precipitação anual (em milímetros) de 2003 a 2023 na área de estudo.

A análise do mapa revela que boa parte das regiões mais afastadas do centro apresenta média que varia entre aproximadamente 700 mm e 1.400 mm. No entanto, a característica mais marcante é observada na região norte da Bahia, que sofre com uma grave escassez hídrica, a ponto de ser considerada a primeira área árida do Brasil. Essa condição tende a se expandir, com potenciais impactos sobre o estado de Pernambuco.

4.2 Comportamento espaço-temporal sazonal da precipitação

Ao longo do período de 2003 a 2023, foram calculados os acumulados mensais da precipitação sazonal para os 43 pontos dos dados do CHIRPS dentro da área de estudo. Os períodos de análise foram definidos com base nas estações do ano, sendo Outono (março a maio), Inverno (junho a setembro), Primavera (setembro a novembro) e Verão (dezembro a fevereiro). A partir dessa divisão, foram geradas estatísticas dos dados sazonais, com a análise apresentada na Tabela 2 e no *box-plot* da Figura 5.

Tabela 3 – Estatística descritiva da precipitação sazonal de 2003 a 2023

Estística	Outono (mm)	Inverno (mm)	Primavera (mm)	Verão (mm)
Média	152	49	192	275
Mediana	134	51	214	222
Desvio-padrão	71	15	73	126
Máxima	313	77	310	529
Mínima	43	23	41	66
1º Quartil	119	35	135	191
3º Quartil	198	59	242	367

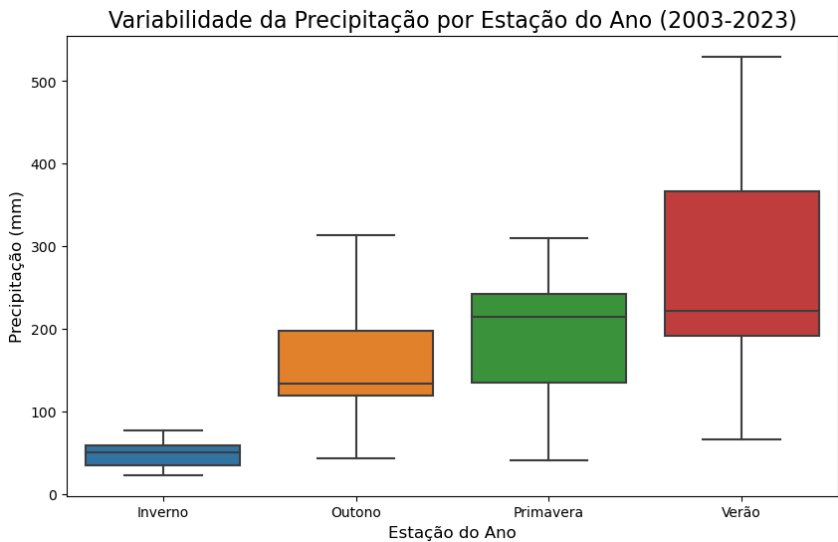


Figura 5 – Variabilidade da precipitação sazonal (em milímetros) de 2003 a 2023.

Tendo como referência os dados estatísticos e a variação da precipitação apresentada no gráfico do *box-plot*, é possível notar que a maior densidade de valores de precipitação ocorre no Verão, com um desvio-padrão de 126 mm e a maior parte dos valores concentrada no 3º quartil. Em contraste, o Inverno foi o período menos chuvoso, apresentando baixa variabilidade, com a maioria dos valores de precipitação agrupados no 1º quartil, juntamente com a média.

A análise da espacialização da distribuição sazonal permitiu identificar que, no Inverno, a precipitação foi inferior a 100 mm na maior parte do Semiárido. No Outono, os maiores volumes de chuva se concentraram na porção norte da região. Durante a Primavera, embora o valor máximo registrado tenha sido menor, grande parte da área apresentou precipitação média superior a 180 mm. No Verão, período mais chuvoso do Semiárido, observa-se que a maior parte do mapa registrou precipitações acima de 250 mm. Nas figuras 6 e 7 temos as espacializações sazonais.

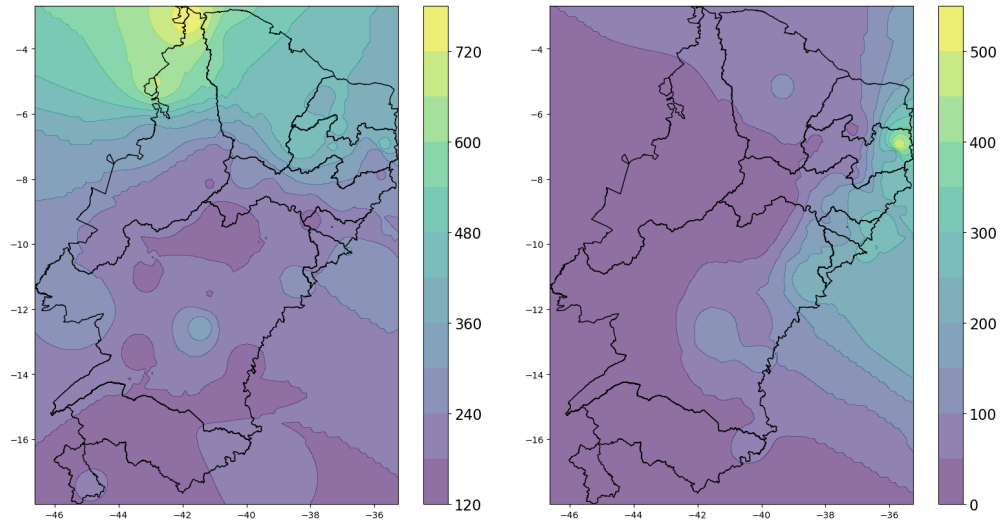


Figura 6 – Variabilidade da precipitação sazonal (em milímetros) de 2003 a 2023 (Outono e Inverno).

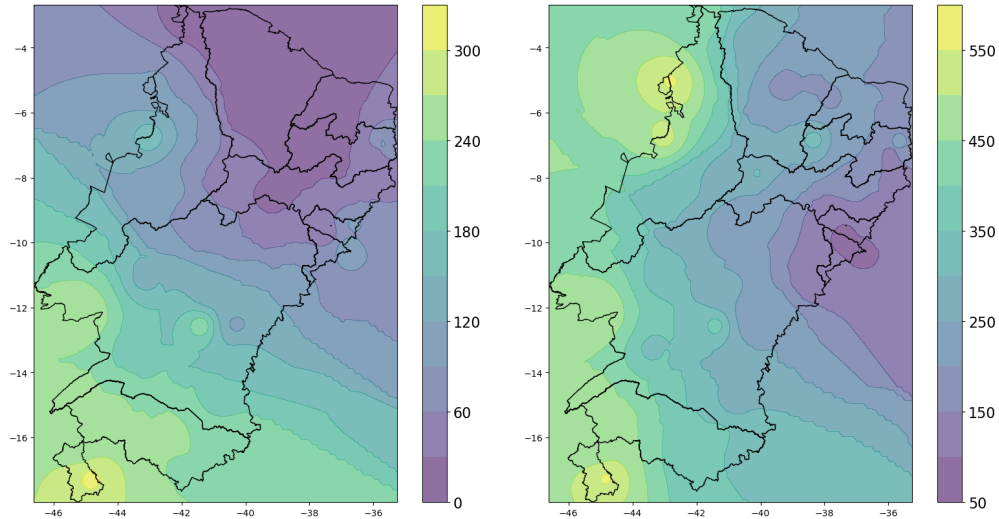


Figura 7 – Variabilidade da precipitação sazonal (em milímetros) de 2003 a 2023 (Primavera e Verão).

4.3 Tendências da precipitação anual

A análise de tendências da precipitação anual, no período de 2003 a 2023, nos 43 pontos de coleta dos dados do CHIRPS no Semiárido Brasileiro, foi realizada por meio da aplicação dos testes estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall, com nível de significância de 0,05% (ou $\alpha = 0,5$). Em complemento, o teste de Theil-Sen foi utilizado para estimar a declividade da tendência.

A espacialização dos resultados gerou os mapas de níveis de significância e declividades, apresentados nas Figuras 8 e 9, respectivamente. Ao analisar esses mapas e os dados correspondentes, identificou-se que dois pontos apresentaram tendência significativa ao nível de 0,05%: um localizado próximo ao centro da Bahia e outro no oeste de Alagoas. Além disso, a análise do mapa de declividades revelou que ambos os pontos exibem declivi-

dade negativa, indicando uma tendência significativa de redução na média de precipitação anual nessas áreas.

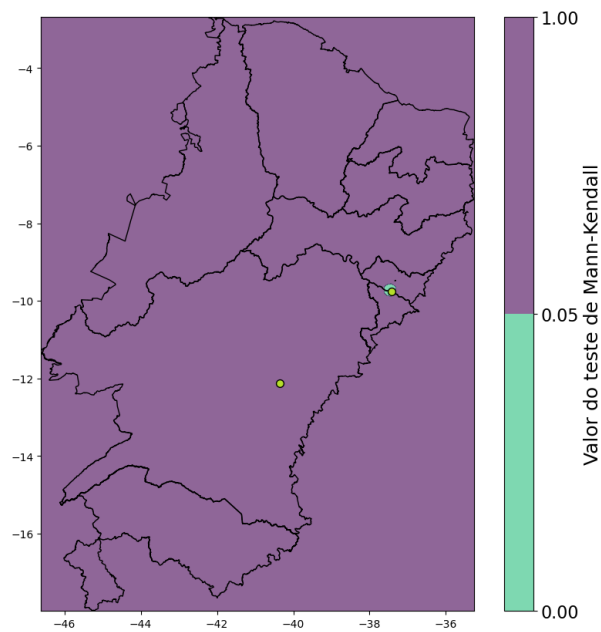


Figura 8 – Distribuição espacial dos níveis de significância do teste de Mann-Kendall (regiões significativas em verde).

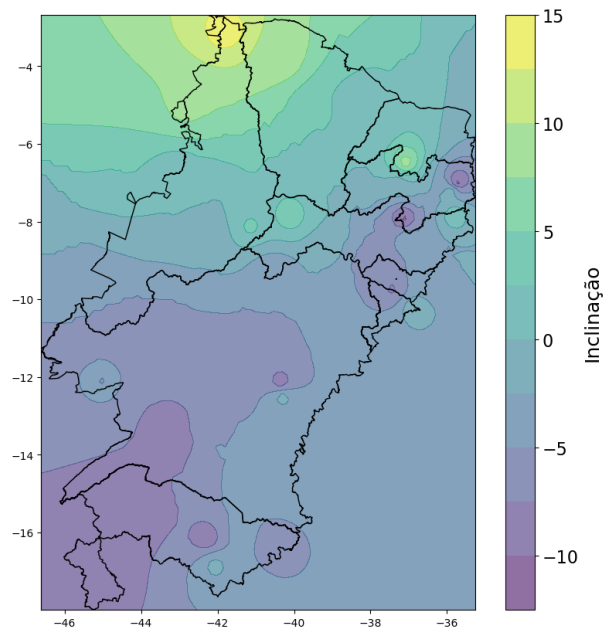


Figura 9 – Distribuição espacial da declividade do teste de Theil-Sen na área de estudo.

4.4 Tendências da precipitação sazonal

Conforme visto no tópico anterior, também foram realizadas análises de tendências para a precipitação sazonal, divididas pelas estações do ano, utilizando o teste de Mann-

Kendall com nível de significância de 0,05% e o teste de Theil-Sen para a estimativa das declividades. Os resultados foram espacializados, e foram elaborados mapas para cada estação do ano, abrangendo os 43 pontos de coleta dos dados do CHIRPS na região do Semiárido Brasileiro, no período de 2003 a 2023.

Assim, foi possível verificar que, no Outono (março a maio), grande parte da região sul do Semiárido apresentou tendência significativa. Ao analisar o mapa de declividades, observou-se uma inclinação negativa, indicando uma possível tendência de diminuição na média de precipitação para essa estação do ano (Figura 10).

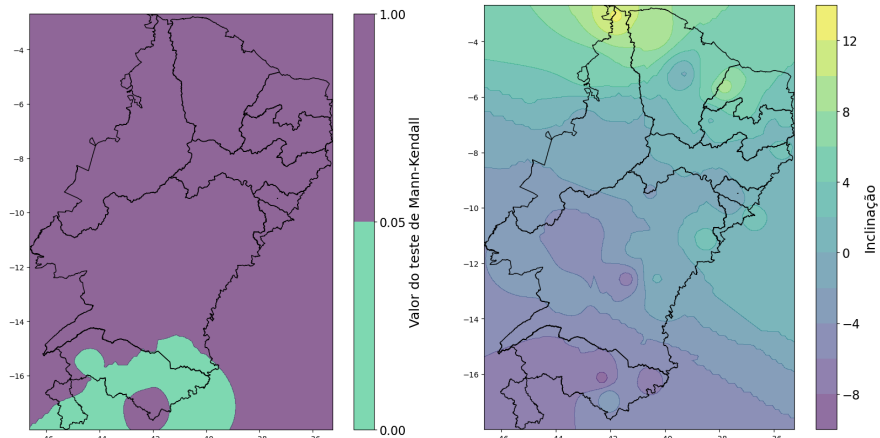


Figura 10 – Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann- Kendall, e declividade do teste Theil-Sen na área de estudo (Outono).

Ao analisar o Inverno, identificou-se que alguns pontos nas regiões da Bahia, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba e Alagoas apresentaram tendência significativa. A verificação do mapa de declividades mostrou uma inclinação negativa para todas essas áreas (Figura 11), o que indica possível diminuição de chuvas no período do inverno nas proximidades destes pontos.

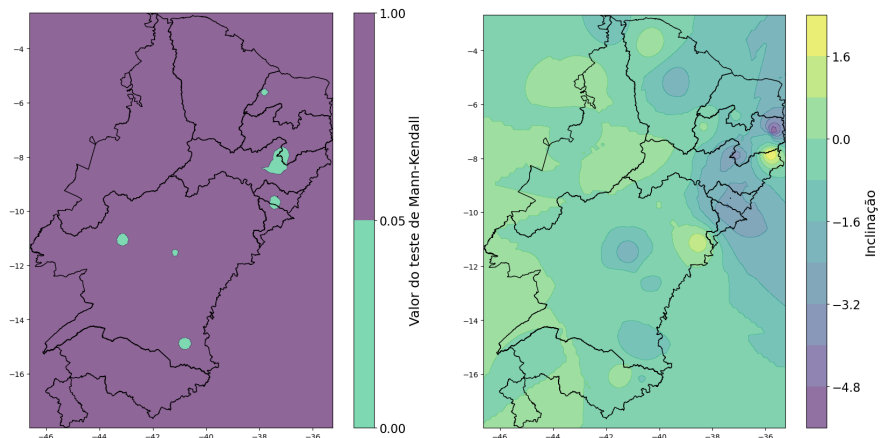


Figura 11 – Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann- Kendall, e declividade do teste Theil-Sen na área de estudo (Inverno).

A respeito da Primavera, a maior parte da região do Semiárido não apresenta tendência significativa, com exceção de dois pontos: um no Piauí e outro no centro do Ceará. Ao avaliar o mapa de declividade, observa-se que ambos os pontos possuem inclinação positiva, o que pode indicar uma tendência de aumento da precipitação nessas regiões durante o período da Primavera (Figura 12).

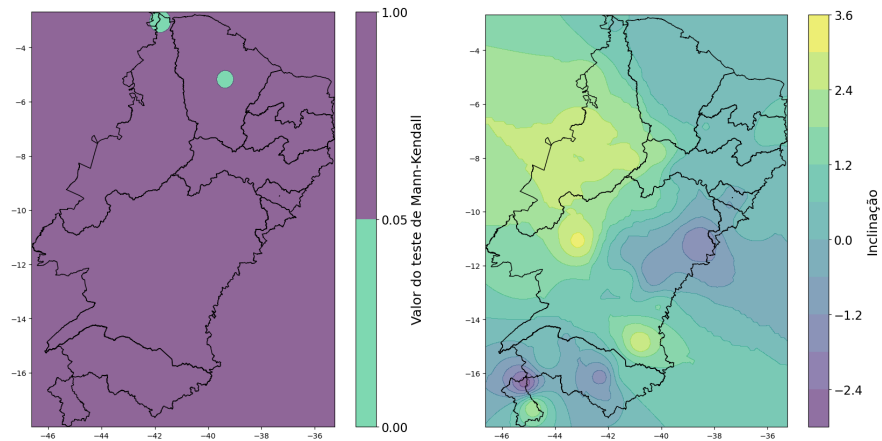


Figura 12 – Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann- Kendall, e declividade do teste Theil-Sen na área de estudo (Primavera).

Por fim, a análise do Verão sinaliza apenas um ponto com tendência significativa, localizado na região do centro-oeste de Alagoas. Ao verificar o mapa da declividade, constata-se que essa região possui inclinação negativa, o que pode indicar uma diminuição da média de precipitação durante o Verão nessa área. O restante do Semiárido não apresenta tendência significativa para essa estação (Figura 13).

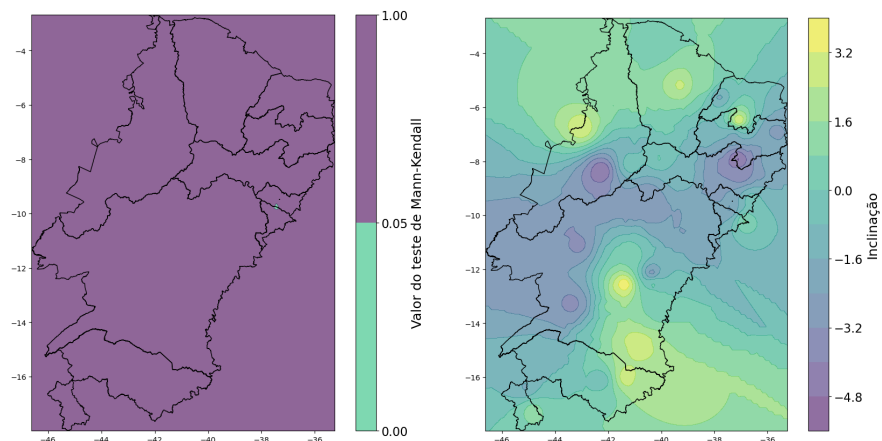


Figura 13 – Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann-Kendall, e declividade do teste Theil-Sen na área de estudo (Verão).

4.5 Análise do máximo de dias úmidos e secos consecutivos

Tendo como base os dados de precipitação do CHIRPS dos 43 pontos estudados no período de 2003 a 2023 na região do Semiárido Brasileiro, os números máximos de CWD e CDD foram quantificados para o desenvolvimento da espacialização dos resultados dos índices.

Foram gerados 21 mapas na avaliação do CWD, um para cada ano. A partir da análise dos resultados, observou-se que os anos com a maior e menor quantidade de CWD são 2008 e 2014, respectivamente.

Na análise espacial da Figura 14, é possível verificar que, com exceção do norte da Bahia, do oeste de Pernambuco e de um pequeno pedaço do Piauí, a maior parte do Semiárido apresenta valores de 8 a 24 CWD em 2008. Em contraste, em 2014, a maior parte da área está coberta por valores que variam de 3 a 6 CWD, ano em que houve uma forte queda no volume de chuvas, registrando uma diminuição de aproximadamente 20% no volume de precipitação, conforme apontado pelo INPE.

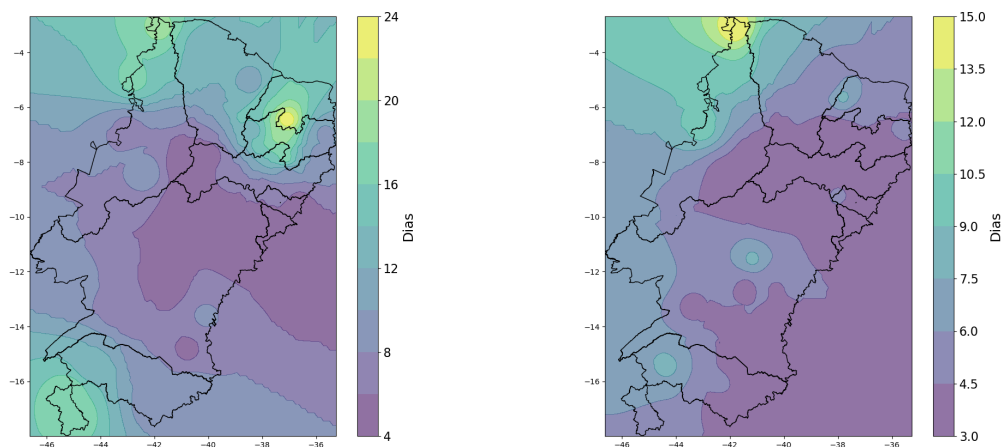


Figura 14 – Ano com maior número de CWD (2008), e ano com menor número de CWD (2014).

Para a avaliação do índice CDD, também foram gerados 21 mapas. Com base nesse mapeamento, os registros indicam que os anos com maior e menor número de CDD foram 2017 e 2022, respectivamente.

Destacando a primeira região árida do Brasil, localizada no norte da Bahia, com valores de 180 a 220 de CDD, o Semiárido Brasileiro registra, em sua maior parte, valores de 100 a 220 de CDD, como descrito na Figura 15. Em contrapartida, no ano de 2022, é possível identificar que a maior parte da região de estudo obteve valores inferiores a 75 dias secos consecutivos. Segundo o INMET, as chuvas durante o inverno de 2022 estiveram próximas, ou acima da média, em quase todas as regiões brasileiras, com destaque para a costa leste do Nordeste.

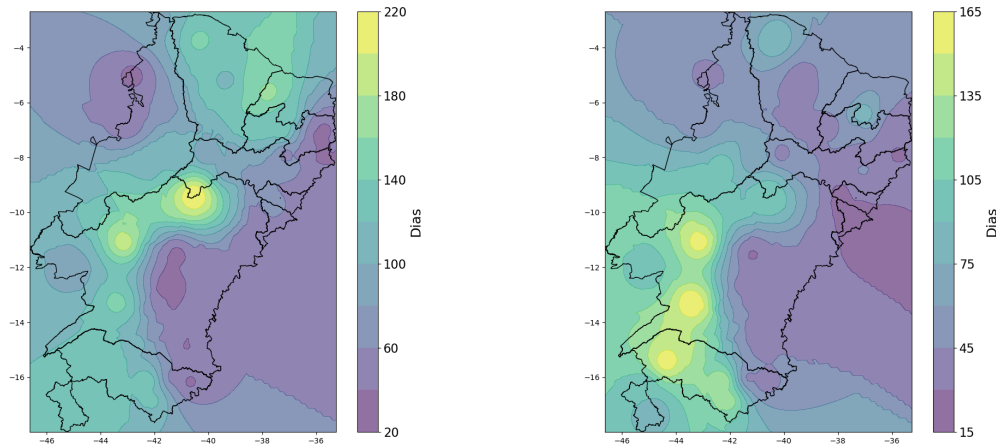


Figura 15 – Ano com maior número de CDD (2017), e ano com menor número de CDD (2022).

4.6 Tendências do número máximo de dias úmidos e secos consecutivos

A análise de tendências do número máximo de CDD e CWD foi realizada após a execução do teste de Mann-Kendall, com nível de significância de 0,05% (ou valor alpha de 0,5), e o teste de Theil-Sen, aplicados nos resultados dos índices obtidos na análise anterior.

Dessa forma, considerando o aspecto espacial dos resultados obtidos através dos dois testes realizados nos 43 pontos de dados do CHIRPS no Semiárido Brasileiro, a Figura 16 apresenta a espacialização dos níveis de significância de tendências do teste de Mann-Kendall e as declividades obtidas pelo teste de Theil-Sen, respectivamente, para o índice de dias úmidos consecutivos.

Considerando os dados obtidos, nota-se que não há tendência significativa na maior parte do Semiárido, com exceção de dois pontos: um no noroeste do Piauí e outro no centro-leste de Pernambuco, ambos com tendência significativa ao nível de 0,05%. Ao analisar o mapa da declividade, percebe-se que o ponto do Piauí apresenta uma tendência de crescimento para o número de dias úmidos, enquanto o ponto em Pernambuco demonstra uma tendência de diminuição dos dias úmidos.

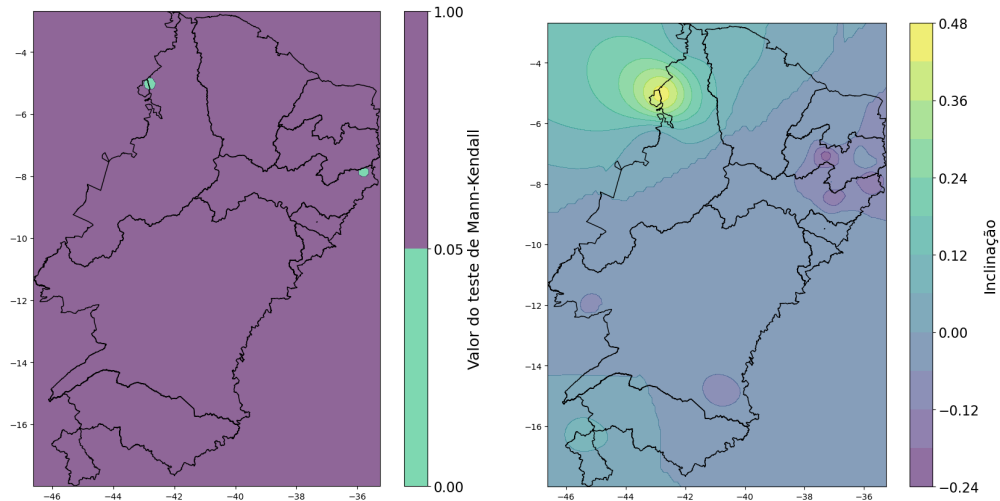


Figura 16 – Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann- Kendall, e declividade do teste Theil-Sen na área de estudo para indicação de tendências do índice CWD.

Seguindo a ideia anterior, foram gerados mapas para espacializar os resultados dos dois testes para o índice de CDD. Os resultados obtidos demonstram que, ao nível de significância de 0,05%, na maior parte do Semiárido Brasileiro não houve tendência significativa, com exceção de, novamente, dois pontos: um ao leste do Piauí e outro no norte de Minas Gerais.

Verificando o mapa da declividade na Figura 17, pode-se perceber que o ponto no Piauí possui inclinação negativa, o que pode indicar uma tendência significativa na diminuição do CDD, em contraste com o ponto em Minas Gerais, que apresenta uma declividade positiva, indicando uma tendência significativa para o aumento do CDD nessa área.

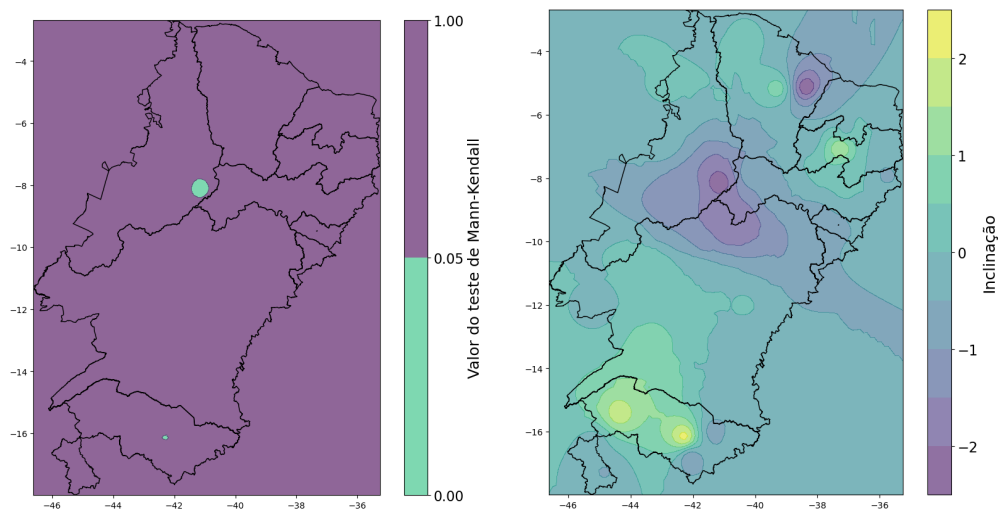


Figura 17 – Distribuição espacial do teste Mann- Kendall, e declividade do teste Theil-Sen na área de estudo do índice CDD.

5 Considerações finais

Este trabalho buscou realizar uma análise espaço-temporal abrangente da precipitação no Semiárido Brasileiro no período entre 2003 e 2023, utilizando dados do CHIRPS e métodos estatísticos para identificar padrões e tendências significativas nessa região. Os resultados obtidos nessa pesquisa permitiram chegar a algumas conclusões, que serão exploradas a seguir.

A precipitação média anual no período estudado foi de 763 mm, com valores máximos de 2.069 mm e mínimos de 181 mm, demonstrando a alta variabilidade pluviométrica característica da região. A distribuição espacial revelou que as áreas próximas ao litoral apresentam médias um pouco mais elevadas (700-1.400 mm), enquanto a região do norte da Bahia se destaca pela escassez hídrica mais acentuada, sendo inclusive reconhecida como a primeira região árida do Brasil.

Na análise sazonal, identificou-se que o Verão constitui o período mais chuvoso, com precipitações superiores a 250 mm em grande parte do Semiárido, enquanto o Inverno apresentou os menores volumes, com precipitação abaixo de 100 mm na maioria das áreas. O Outono mostrou grande concentração de chuvas na porção norte da região, e a Primavera apresentou precipitação média acima de 180 mm em boa parte da área.

Quanto às tendências de precipitação anual, foram identificados dois pontos com tendência significativa de diminuição: um próximo à região central da Bahia e o outro no oeste de Alagoas. Na análise de tendências de precipitação sazonal, pode-se destacar que: o Outono demonstrou tendência significativa de diminuição na região sul do Semiárido; o Inverno apresentou tendência de redução em pontos da Bahia, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba e Alagoas, com exceção de uma área no centro-oeste da Bahia que apresentou tendência de aumento; a Primavera mostrou tendência de aumento em pontos do Piauí e centro do Ceará; e o Verão exibiu tendência de diminuição apenas no centro-oeste de Alagoas.

A análise dos índices CWD e CDD revela que, em 2008, foi registrado o maior número de CWD, com 8 a 24 dias na maior parte da região, enquanto em 2014 foi observado o menor CWD, com apenas 3 a 6 dias. O ano de 2017 teve o maior CDD, com valores entre 100 e 220 dias na maior parte do Semiárido, e 2022 registrou o menor CDD, com menos de 75 dias em grande parte da área.

Na análise das tendências dos índices, o CWD obteve tendência significativa de aumento no noroeste do Piauí e de diminuição no centro-leste de Pernambuco, enquanto o CDD apresentou tendência de diminuição no leste do Piauí e de aumento no norte de Minas Gerais.

Por fim, estes resultados fornecem importantes subsídios com potencial para o auxílio na gestão de recursos hídricos no Semiárido Brasileiro, evidenciando áreas com tendências significativas de precipitação, que merecem atenção especial e podem fazer parte do planejamento de políticas e ações públicas. Para trabalhos futuros, sugere-se a ampliação do período de análise para identificação de tendências de prazo mais longo, bem como a incorporação de outros índices climáticos para uma caracterização mais completa, a realização de análises comparativas com produtos de outros satélites e/ou uma análise em conjunto com dados de temperatura.

Referências

ACESSO À ÁGUA PARA POPULAÇÕES DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO P R O P O S T A S D A S O C I E D A D E C I V I L. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/images/UserFiles/File/Acesso_a_agua_para_populacoes_do_Semiarido_brasileiro.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2024.

ANJINHO et al. XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS: Análise da acurácia dos dados de precipitação obtido pelo produto CHIRPS. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/142/XXIV-SBRH0765-1-0-20210809-161207.pdf>>. Acesso em: 7 out. 2024.

BRANDÃO, R.; GONÇALVES, F. V. Validation of TRMM data in the geographical regions of Brazil. *RBRH*, v. 26, 1 jan. 2021.

Brasil registra uma queda de 20% no volume de chuva em 2014, diz INPE. Disponível em: <<https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/brasil-registra-uma-queda-de-20-no-volume-de-chuva-em-2014>>. Acesso em: 27 out. 2024.

CAPOZZOLI et al. Avaliação dos campos de precipitação MSWEP, CHIRPS e MERGE para bacia do Alto Rio Paraná. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=12872>>. Acesso em: 7 out. 2024.

CHIRPS: Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations | Climate Hazards Center - UC Santa Barbara. Disponível em: <<https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>>. Acesso em: 7 out. 2024.

COSTA, Análise espaço-temporal de chuvas na Paraíba utilizando estimativas do satélite TRMM. Ufpb.br, 2015.

CURI, D. *Gestão Ambiental*. 1ª ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2012.

DAS. Quase 30% das estações meteorológicas do Brasil estão sem manutenção. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2021/07/19/quase-30percent-das-estacoes-meteorologicas-do-brasil-estao-sem-manutencao.html>>. Acesso em: 14 out. 2024.

FERREIRA. Utilização de imagens transmitidas por satélites meteorológicos. Disponível em: <<http://mtc-m16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marciana/2005/01.06.11.41/doc/cap10.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2024.

FUNK, C. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, v. 2, n. 1, dez. 2015.

ISSA, M. A. Instrumentos Meteorológicos. Disponível em: <<https://www.cemtec.ms.gov.br/instrumentos-meteorologicos/>>. Acesso em: 29 ago. 2024.

Instituto Nacional de Meteorologia | Previsão do Tempo. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/sobre-meteorologia>>. Acesso em: 14 out. 2024.

Lacerda et al. Tendência do clima do semiárido frente às perspectivas das mudanças climáticas globais: o caso de Araripina, Pernambuco. *Embrapa.br*, 27 dez. 2016.

MELO, V. DA S.; LIMA, L. M. Caracterização da chuva da microrregião de Catolé do Rocha no Estado da Paraíba baseada em estatística aplicada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 36, p. 97–106, 24 jan. 2021.

NOVO, E. M. L. M. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. 4ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010. 387p.

NOGUEIRA et al. Evaluating Precipitation Estimates from Eta, TRMM and CHRIPS Data in the South-Southeast Region of Minas Gerais State—Brazil. *Remote Sensing*, v. 10, n. 3, p. 313, 18 fev. 2018.

PEREIRA, A.; CASTRO, D.; DILMA, M.; TEIXEIRA, S.; CAMPOS, G.; NASCIMENTO, J.; CAETANO, R. Educação Ambiental: estudo sobre a captação e armazenamento de água de chuva no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, v. 1, jul. 2023, p. 41–53.

CIRRUS 12 UNEMET. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://unemet.org.br/cirrus/edicoes/por/ed12/curiosidades_cirrus12.pdf>. Acesso em: 7 out. 2024.

RODRIGUES, R. et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento no contexto brasileiro e internacional: ferramentas para a análise da vegetação. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_revista_semana_academica_1.pdf>. Acesso em: 16 out. 2024.

RODRIGO, R. No norte da Bahia, primeira região árida do Brasil tende a aumentar e pode afetar Pernambuco. Disponível em: <<https://www.brasildefatoe.com.br/2024/02/26/no-norte-da-bahia-primeira-regiao-arida-do-brasil-tende-a-aumentar-e-pode-afetar-pernambuco>>. Acesso em: 25 out. 2024.

Novo satélite meteorológico é monitorado em tempo real pelo INMET. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/novo-satelite-meteorologico-e-monitorado>>. Acesso em: 16 out. 2024.

INSA, O Semiárido Brasileiro. Disponível em: <<https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro>>. Acesso em: 29 ago. 2024.