



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



TAMARA SOUSA DA SILVA

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE PLUVIOMETRICA E ESPAÇO-
TEMPORAL PARA DIFERENTES MESORREGIÕES DO ESTADO DO
MARANHÃO**

**Chapadina – MA
Dezembro de 2022**

TAMARA SOUSA DA SILVA

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE PLUVIOMETRICA E ESPAÇO-
TEMPORAL PARA DIFERENTES MESORREGIÕES DO ESTADO DO
MARANHÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Profa. Dra. Kamilla Andrade de Oliveira.

**Chapadinha – MA
Dezembro de 2022**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

SOUSA DA SILVA, TAMARA.

ANÁLISE DA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA E ESPAÇO-
TEMPORAL PARA DIFERENTES MESORREGIÕES DO ESTADO DO
MARANHÃO / TAMARA SOUSA DA SILVA. - 2022.

91 p.

Orientador(a): Profa. Dra. Kamilla Andrade de Oliveira.
Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do
Maranhão, Chapadinha, 2022.

1. Seca. 2. SPI. 3. Variabilidade pluviométrica. I.
Kamilla Andrade de Oliveira., Profa. Dra. II. Título.

TAMARA SOUSA DA SILVA

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE PLUVIOMETRICA E ESPAÇO-
TEMPORAL PARA DIFERENTES MESORREGIÕES DO ESTADO DO
MARANHÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a coordenação do curso de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Maranhão como requisito indispensável para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Defendido e aprovado em 20 de Dezembro de 2022, pela comissão examinadora constituída pelos professores:

Profa. Dra. Kamilla Andrade de Oliveira. (Orientadora)

Doutora em Agronomia (Meteorologia aplicada) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Prof. Dr. Ricardo de Normandes Valadares (Membro da Banca)

Doutor em Melhoramento Genético de Plantas pela Universidade Federal Rural
de

Pernambuco (UFRPE) Professor substituto do curso de Agronomia
(CCCh/UFMA)

Maiane Rodrigues do Nascimento (Membro da Banca)

Engenheira Agrícola (Universidade Federal do Maranhão)

Mestranda em Meteorologia Universidade Federal de Alagoas (ICAT/UFAL)

DEDICO

Dedico este trabalho a Deus; pois sem ele eu não teria capacidade de chegar aonde cheguei, e a minha família que sempre me apoiou e me ajudou para que eu concluísse esse trabalho

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de conseguir concluir esse trabalho e por ter me dado forças para conseguir almejar meus objetivos.

Agradeço a toda a minha família que sempre me apoiou, e esteve comigo nos momentos que eu mais precisei, a minha mãe Anna Maria, que nunca mediu esforços para que eu conseguisse concluir a graduação e sempre feliz por minhas conquistas.

Agradeço a Maiane, minha amiga que me ajudou muito nesse trabalho, com seus conhecimentos na área, fez com que eu tirasse todas minhas dúvidas, e foi de fundamental importância para conclusão desse trabalho.

Aos meus amigos, que de maneira indireta, influenciaram na minha formação, a Letícia, Janine, Laercio, Vinícius, Matheus, Aurélio, no qual são meus colegas de turma que sempre estiveram ajudando uns aos outros, tornando assim a vida acadêmica melhor.

A Profa. Dra. Kamilla Andrade de Oliveira, por ter tido o prazer de tê-la como minha orientadora, e por ter me ajudado a desenvolver este trabalho de conclusão de curso, agradeço imensamente por sua contribuição e por ser atenciosa.

Agradeço à Universidade Federal do Maranhão, que me possibilitou a oportunidade de enriquecimento dos conhecimentos adquiridos durante o curso e que de tal forma na minha vida profissional.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 Climatologia e sistemas meteorológicos.....	16
3.2 El Niño e La Niña	17
3.3 Consequências da atuação humana na contribuição dos eventos climáticos extremos em áreas urbanas	19
3.4 Eventos extremos	22
3.5 Influência dos fenômenos climáticos com as secas no Nordeste	23
3.6 Ocorrência de fatores climáticos no estado do Maranhão	24
3.7 Sistemas de Informações climáticas	25
3.8 Geoprocessamento como ferramenta aliada em estudos climatológicos.....	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 Caracterização da área de estudo	28
4.2 Dados Meteorológicos	29
4.3 Análise de Índice de Precipitação Padronizada	30
4.4 Análise de tendências.....	35
4.5 Teste de Significância de T-Student	36
4.6 Método Geoestatístico da Krigagem.....	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 Análise Climatológica de Alto Parnaíba.....	38
5.2 Análise Climatológica de Bacabal	41
5.3 Análise Climatológica de Balsas	44
5.4 Análise Climatológica de Barra do Corda	47
5.5 Análise Climatológica de Carolina	49

5.6	Análise Climatológica de Caxias	52
5.7	Análise Climatológica de Chapadinha.....	55
5.8	Análise Climatológica de Colinas.....	58
5.9	Análise Climatológica de Grajaú	61
5.10	Análise Climatológica de Imperatriz	64
5.11	Análise Climatológica de São Luís.....	67
5.12	Análise Climatológica de Turiaçu	70
5.13	Análise Climatológica de Zé Doca	72
5.1.1	Análise de Tendências de Man Kandall e Krigagem dos dados.....	75
6.	CONCLUSÕES.....	78
	REFERÊNCIAS	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 3. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Alto Parnaíba	39
Figura 4. Índice de Precipitação Padronizada de Alto Parnaíba	40
Figura 5. Tendência climática Alto Parnaíba	41
Figura 6. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Bacabal	42
Figura 7. Índice de Precipitação Padronizada de Bacabal.....	43
Figura 8. Tendência Climática Bacabal	44
Figura 9. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Balsas.....	45
Figura 10. Índice de Precipitação Padronizada de Balsas	46
Figura 11. Tendência Climática Balsas	47
Figura 12. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Barra do Corda	48
Figura 13. Índice de Precipitação Padronizada de Barra do Corda.....	48
Figura 14. Tendência climática Barra do Corda.....	49
Figura 15. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Carolina	50
Figura 16. Índice de Precipitação Padronizada de Carolina.....	51
Figura 17. Tendência Climática Carolina.....	52
Figura 18. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Caxias	53
Figura 19. Índice de Precipitação Padronizada de Caxias.....	54
Figura 20. Tendência Climática Caxias	55
Figura 21. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Chapadinha	56
Figura 22. Índice de Precipitação Padronizada de Chapadinha	57
Figura 23. Tendência climática Chapadinha	58
Figura 24. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Colinas.....	59
Figura 25. Índice de Precipitação Padronizada de Colinas	60
Figura 26. Tendência Climática Colinas	61
Figura 27. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Grajaú	62
Figura 28. Índice de Precipitação Padronizada de Grajaú.....	63
Figura 29. Tendência Climática Grajaú.....	64
Figura 30 Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Imperatriz.....	65
Figura 31. Índice de Precipitação Padronizada de Imperatriz.....	66
Figura 32. Tendência climática Imperatriz.....	67
Figura 33. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de São Luís	68
Figura 34. Índice de Precipitação Padronizada de São Luís	69
Figura 35. Tendência Climática São Luís	70

Figura 36. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Turiaçu.....	71
Figura 37. Índice de Precipitação Padronizada de Turiaçu	71
Figura 38. Tendência Climática Turiaçu	72
Figura 39. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Zé Doca.....	73
Figura 40. Índice de Precipitação Padronizada de Zé Doca.....	74
Figura 41. Tendência climática Zé Doca.....	75
Figura 42. Precipitação acumulada e tendência total para as mesorregiões do Maranhão	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estações meteorológicas do estado do Maranhão e suas coordenadas geográficas.....	29
Tabela 2. Índices de avaliação de secas e períodos úmidos	34
Tabela 3. Tendências nas séries das variáveis meteorológicas.....	77

LISTA DE SIGLAS

BHC	Balanço Hídrico Climatológico
EMBRAPA	A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EN	El Niño
ENOS	Oscilação Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LI	Linha de Instabilidade
NE	Nordeste
NEB	A Região Nordeste do Brasil
NOAA	National Oceanic Atmospheric Administration
OMM	Organização Meteorológica Mundial
POAS	Perturbações Ondulatórias nos ventos Alísios
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SPI	Índice de Precipitação Normalizada
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	Vórtices Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo analisar e quantificar a variabilidade pluviométrica e espaço-temporal para diferentes mesorregiões do Estado do Maranhão com a finalidade de verificar por meio do Índice de Precipitação Padronizada, o monitoramento dos défices e excedentes de precipitações na escala mensal e anual para 13 localidades do Estado, Foram utilizadas uma série temporal de 1976 a 2021, exceto para a estação de Grajaú que contou apenas com dados até 1995, Os dados de precipitação pluvial das séries históricas foram obtidos por meio Instituto Nacional de Meteorologia, (INMET) os dados de precipitação total mensal. Foram obtidos a partir desses dados, a Análise de Índice de Precipitação Padronizada (SPI), feito as tendências a partir do Teste de Significância de T-Student, e o Método Geoestatístico da Krigagem. Observa-se, através do estudo que as microrregiões obtiveram duas estações ao longo do ano a estação chuvosa e a seca, dentre os municípios analisados Turiaçu foi o mais chuvoso com uma média anual 2167,53 mm, com o SPI classificado como extremamente úmido de 3,83 mm o pico ocorre entre os anos de 1985 e 1987, sendo classificada como extremamente seco, pois assumiu o valor de -2,24 mm. Já para as tendências foi possível observar que o ano de 1985 foi o mais representativo para todos os municípios obteve maior pico positivo. As estações com maiores índices interanuais foram Carolina e Chapadinha com 0,3357 mm/ano e 0,2231 mm/ano, respectivamente, e com significância estatística pelo teste T- student, demonstrando aumento em seu índice pluviométrico. Nesse sentido percebe-se que o estado passou por períodos críticos em relação a secas, ficando nítida a importância da avaliação do SPI, principalmente para melhor entender em quais períodos ocorreram as secas, bem como os períodos mais úmidos em cada região.

Palavras-chave: Índice de Precipitação Padronizada; Variabilidade pluviométrica; Seca.

ABSTRACT

This work aimed to analyze and quantify the rainfall and space-time variability for different mesoregions of the State of Maranhão in order to verify, through the Standardized Precipitation Index, the monitoring of deficits and surpluses of precipitation in the monthly and annual scale for 13 locations in the State. A time series from 1976 to 2021 was used, except for the Grajaú station, which only had data up to 1995, of total monthly precipitation. Based on these data, the Standardized Precipitation Index Analysis (SPI), made the trends from the T-Student Significance Test, and the Geostatistical Method of Kriging. It is observed, through the study that the microregions had two seasons throughout the year the rainy season and the dry season, among the analyzed municipalities Turiaçu was the rainiest with an annual average of 2167.53 mm, with the SPI classified as extremely humid from 3.83 mm the peak occurs between the years 1985 and 1987, being classified as extremely dry, as it assumed the value of -2.24 mm. As for the trends, it was possible to observe that the year 1985 was the most representative for all municipalities, with the highest positive peak. The stations with the highest interannual indices were Carolina and Chapadinha with 0.3357 mm/year and 0.2231 mm/year, respectively, and with statistical significance by the T-student test, demonstrating an increase in their rainfall index. In this sense, it can be seen that the state has gone through critical periods in relation to droughts, making clear the importance of evaluating the SPI, mainly to better understand in which periods the droughts occurred, as well as the wettest periods in each region.

Keywords: Standardized Precipitation Index; Pluviometric variability; Dry.

1. INTRODUÇÃO

As condições dos fatores climáticos e hidrológicos de determinada região são os principais parâmetros na estimativa das disponibilidades hídricas de um território e/ou região. Os estudos hidroclimatológicos são premissas básicas que nortearão o desenvolvimento dos trabalhos na definição do modelo de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Desta maneira, a compatibilização entre a disponibilidade e a demanda hídrica somente poderá ser feita quando devidamente ponderados os parâmetros climáticos, especialmente precipitação, evaporação e evapotranspiração, e hidrológicos, como a movimentação e a quantificação das águas superficiais e subterrâneas no tempo e no espaço (MEDEIROS et al., 2022).

Devido as mudanças climáticas ocasionadas pelo homem, diversos fatores vêm sendo afetados no meio ambiente, seja no âmbito meteorológicos ou no meio terrestres. Sendo assim, há uma preocupação nos prognósticos das regiões a serem exploradas, propiciando uma antecipação de qual seria a melhor forma de utilização consciente e eficaz do nicho a ser explorado evitando a degradação do meio ambiente (MAMED et al., 2020). O estudo das alterações climáticas e de eventos extremos torna-se importante devido ao impacto que estes podem ocasionar no meio ambiente (CABALLERO et al., 2018).

O clima exerce grande influência, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos (MEDEIROS et al., 2022). Interage com o ambiente resultando em um processo complexo que envolve a dinâmica da atmosfera, a energia solar, o oceano, cobertura e temperatura, albedo e entre outras. Apesar da incerteza remanescente, é amplamente aceito que o clima está mudando (SANCHES et al., 2014).

A precipitação é tida como a variável climatológica mais importante na região tropical, sendo essencial para o planejamento das atividades humanas e desenvolvimento local. A precipitação é avaliada como fator proeminente a diversas atividades socioeconômicas, e ambientais, onde se destacam as hidrelétricas, indústrias, agropecuária e no aumento dos níveis de reservatórios para fins de abastecimento humano (MEDEIROS et al., 2022).

Segundo Menezes e Fernandes (2016) a alteração no que diz respeito a quantidade e distribuição de precipitação promovem deficiência na disponibilidade de água, acreditando que é de suma importância realizar estudos do comportamento climático e

principalmente de precipitação, para que assim se possa manejar os recursos hídricos, pois a chuva é um fator chave no desenvolvimento humano.

As informações das condições climáticas de uma determinada região são necessárias para que se possam instituir estratégias, que visem o manejo mais adequado dos recursos naturais, planejando dessa forma, a busca por um desenvolvimento sustentável e a implementação das práticas agrícolas viáveis e seguras para o meio ambiente e a sua produtividade (Costa Neto et al., 2014).

Neste contexto, o objetivo da pesquisa busca relacionar através dos métodos estatísticos as mudanças climáticas e influências dos eventos em anos de EL Niño e La Niña nas cinco mesorregiões do Estado do Maranhão. Com a hipótese de que esses fenômenos climáticos podem contribuir para a ocorrência de enchentes ou secas severas, interferindo de forma significativa nas atividades econômicas das regiões atingidas. Assim, capacidade de caracterizar a variabilidade temporal das precipitações anual e mensal nas diferentes mesorregiões do estado do Maranhão, subsidiará políticas públicas para o uso racional dos recursos hídricos e um planejamento ambiental adequado para o enfrentamento dos eventos críticos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Quantificar e avaliar a variabilidade pluviométrica das mesorregiões do Estado do Maranhão

2.2 Objetivos específicos

- Utilizar dados de estações meteorológicas para análise espaço-temporal mensal e anual da precipitação, período de 1976 a 2021;
- Realizar uma análise de tendência de precipitação para o estado do Maranhão;
- Identificar os períodos secos e chuvosos da área estudada com o auxílio do Índice de Precipitação Normalizada (SPI);
- Demonstrar a representação espacial da distribuição da precipitação no estado de acordo com os dados da série temporal.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Climatologia e sistemas meteorológicos

O elemento do clima que provoca as transformações mais rápidas na paisagem do meio tropical e subtropical é a precipitação pluviométrica, sobretudo durante o verão, como episódios de chuvas concentradas (chuvas intensas ou aguaceiros), que ocorrem todos os anos nessa mesma estação; não raras vezes resultam em tragédias, principalmente na zona costeira e nas grandes cidades (SILVA, 2017).

As trocas de energia dentro sistema climático (geossistema clima) são resultantes do balanço da radiação solar no topo da atmosfera com a superfície terrestre (ciclo de energia). Contudo, as trocas de energia, dentro do sistema climático, além de ser diretamente resultante da presença do fluxo de radiação solar são também modulados pela presença da água (balanço hídrico), através das trocas de energia nas suas diferentes fases (sólido, vapor e líquido), naquilo que chamamos de ciclo da água. Assim, para entender o sistema climático é necessário conhecer cada componente desse sistema detalhadamente e suas interações nas diversas camadas: macroclima, mesoclima, clima local e de microclima (MARTINS, 2022). O conhecimento do regime climático sazonal

para uma região é de suma importância, pois ações de planejamento urbanas e rurais são impactadas de diferentes formas e intensidades (MEDEIROS et al., 2021).

Os grandes volumes de dados meteorológicos abrangentes são logicamente importantes no escopo das ciências ambientais, pois permitem associar, direta ou indiretamente, os efeitos das condições atmosféricas em diferentes processos físicos e biológicos que redundam em alterações da superfície terrestre. Processos biológicos de desenvolvimento fenológico das plantas, a manutenção de ecossistemas, a produção de espaços agroprodutivos, e a organização dos espaços urbanos e rurais constituem exemplos de fatores a superfície terrestre que sofrem o impacto de condições hidrológicas. Observações pluviométricas e fluviométricas contribuem para compor o balanço hídrico de cada localidade (SILVA, 2019).

Para Reboita et al., (2010) os estudos sinóticos/dinâmicos de tempo do território da América do Sul promovem papel significativo nos regimes de precipitação. A compilação voltada para os fenômenos que ocorrem nessa região é essencial para a contribuição científica e geração de informação. Serão utilizadas para a determinação do clima, principalmente de estações meteorológicas que registram as variáveis atmosféricas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação entre outras) (REBOITA et al., 2012). Entendendo-se que tais fenômenos iniciam-se a partir de pequenas perturbações atmosféricas na corrente zonal básica e que estas tendem a perturbar o meio fluido, a atmosfera, torna-se obrigatória a análise dos fenômenos (NUNES, 2017).

3.2 El Niño e La Niña

No regime climático sazonal de uma dada localidade, sabe-se que não raro são registradas oscilações climáticas severas, que podem alterar o modelo climático esperado para determinado período. Essas flutuações originam-se entre a circulação atmosférica procedentes de agitações nos gradientes da pressão atmosférica, responsáveis pela formação dos ventos, as quais transformam a estrutura de circulação global sobre a América do Sul, originando fenômenos diversos como os fenômenos de larga escala El Niño e La Niña (MEDEIROS et al., 2021).

O fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS) é caracterizado por anomalias, positivas (El Niño) ou negativas (La Niña), de temperatura da superfície do mar no oceano

Pacífico Tropical. Diversos estudos têm investigado a relação do fenômeno ENOS com a variabilidade climática, principalmente a precipitação pluviométrica, em diversas regiões do planeta. O conhecimento da influência do ENOS na precipitação pluvial em uma região possibilita traçar estratégias para lidar com o risco associado à variabilidade climática na agricultura, economia e ambiente, contribuindo com maior estabilidade social das comunidades, ou mesmo para os governos. (KIST e GELBERT, 2021).

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um processo geofísico que ocorre no Oceano Pacífico Tropical e é um exemplo admirável de interação oceano-atmosfera que interfere no clima global e regional. É constituído de dois componentes, o oceânico, denominado El Niño (EN) propriamente dito, e o atmosférico, a Oscilação Sul (OS). É caracterizado por anomalias positivas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), ou seja, águas mais quentes que as normais se estabelecem no Oceano Pacífico Tropical Centro-Oriental, próximo à costa oeste da América do Sul (MOLION, 2017).

Os padrões ENOS influenciam a distribuição da precipitação em diferentes regiões da América do Sul, e a TSM representa uma importante forçante de previsibilidade climática. Os atuais modelos do sistema climático global dispõem de modelos oceânicos e, portanto, há a necessidade de avaliar o quanto estes modelos acoplados do sistema climático reproduzem as características desses diferentes tipos de ENOS, assim como os seus impactos na distribuição global da precipitação (VIEGAS et al., 2019).

O El Niño Oscilação Sul – ENOS, tem sido relacionado aos extremos de precipitação no Brasil, onde a relação entre o SPI e as fases do El Niño são observados (TERASSI et al., 2018). El Niño Oscilação Sul (ENOS) ou simplesmente El Niño (quando referido a sua fase quente), passou a ser monitorado a partir da década de 50 pelo Centro de Previsões Climáticas da National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA), mas foi entre as décadas de 80 e de 90 que as discussões sobre o fenômeno se iniciaram, quando se observaram alterações na fauna marinha (PEREIRA et al., 2019). Essa alteração se deu por conta da elevação da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) que não permitia a chegada das águas profundas, frias e ricas em nutrientes, à superfície para alimentarem os corais (ROSSI e SOARES, 2017).

Estudos envolvendo os fenômenos El Niño e La Niña se tornam importantes uma vez que a influência sob o clima tem como consequências variações no ciclo hidrológico as quais podem promover um melhor direcionamento das atividades de manutenção da vida e desenvolvimento da sociedade além de prever mudanças climáticas com resultados

catastróficos. Dentro desse contexto a relação oceano-atmosfera-vida está comprovada e sujeita a estudos que melhor caracterize a ocorrência desses fenômenos e suas consequências sob os diversos setores da sociedade como economia, meio ambiente e qualidade de vida (OLIVEIRA e MARCUZZO, 2016).

Ressalta-se que os eventos de El Niño com intensidades variadas não explicam sozinhos os anos secos, assim como os eventos de La Niña não estão associados, necessariamente, a anos chuvosos. A interação desses fenômenos com os sistemas meteorológicos e o Dipolo do Atlântico é que são determinantes no regime de chuvas (OLIVEIRA RODRIGUES, et al., 2017).

No Brasil diversos estudos procuram estabelecer a relação entre o fenômeno ENOS com as alterações nos padrões de chuva, por vezes em excesso, assim como nos eventos de secas anômalas (OLIVEIRA et al. 2020). Em um dos estudos de Medeiros et al., (2016) evidenciaram que os fenômenos ENOS influenciam diretamente nos regimes de chuva na região Nordeste do Brasil. Sendo que o El Niño está associado com a escassez e o La Niña com abundância de chuvas.

É possível afirmar que fenômenos El Niño - Canônico¹ e Modoki, grande influenciador nas características atmosféricas da Região Nordeste do Brasil (NEB) trazendo chuvas e secas, também modula, com relevância, as concentrações de ozônio na atmosfera desta região permitindo que mais ou menos radiação atinja a superfície terrestre. Em ambas as modalidades de El Niño, Canônico e Modoki, há predominância de anomalias negativas², no entanto, na região mais ao norte do NEB há registro de predomínio de anomalias positivas nos trimestres estudados (LIMA, NUNES e MARIANO, 2021).

3.3 Consequências da atuação humana na contribuição dos eventos climáticos extremos em áreas urbanas

A dinâmica climática e suas especificidades têm sido objeto de estudo dos grupos sociais há bastante tempo resultando em muitas linhas de pesquisa. Com efeito, a natureza dos fenômenos atmosféricos tem sofrido alterações ao longo do tempo, corroborando a importância de estudos relacionados ao clima e as suas correlações com a sociedade. Quaisquer alterações atípicas em seus componentes, seja umidade, pressão, temperatura,

dentre outros, implicará em distintos comportamentos climáticos (SILVA e CHAVES, 2021).

Estudos de Al Gore apresenta uma ideia sobre a ameaça ambiental global, e com passar dos anos afeta o aumento da temperatura na terra, essa elevação da temperatura acontece devido o equilíbrio climático mundial que determina o padrão dos ventos e das chuvas, as temperaturas da superfície, nível dos mares as correntes marítimas. De acordo com Al Gore algumas ações principais estabilizaram população mundial, por meio da alfabetização, reduzir a mortalidade infantil e promover métodos de controle de natalidade; desenvolver tecnologias adequadas através de um ambiente estratégico (iniciativa que aborda os problemas da agricultura, florestal, energia, tecnologia de construção, redução e reciclagem de resíduos etc.). Contudo essas alterações que o planeta Terra está experimentando, a evidência da irresponsabilidade dos políticos que se negam a reconhecer a urgência de tocar no assunto, e, o pouco tempo que resta para se evitar uma catástrofe (LEÃO; GIRARDI, 2010)

Desastres naturais de origem climática representam um desafio para o planejamento e gestão das cidades brasileiras, tendo em vista que são bastante recorrentes. Inundações, enxurradas, alagamentos, deslizamentos de encostas são exemplos desses desastres que ocorrem com frequência em áreas urbanas durante o período chuvoso. Nesse cenário, parcelas da população urbana se encontram expostas ao risco de desastres e são vulneráveis a ocorrência de tragédias que podem gerar danos nos aspectos econômicos, sociais e ambientais, podendo ser reversíveis ou não (SILVA e CHAVES, 2021).

Alerta a Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO) sobre os aspectos ligados diretamente à produção de alimentos, como a perda da biodiversidade, se não forem tomadas providencias imediatamente cujos impactos podem causar perdas significativas na produção de alimentos. No entanto, essas perdas são causadas pela baixa qualidade do solo, das fortes chuvas e do ar, e, por outro, impactos indiretos, podem ser ocasionados consequência dessas mudanças, como perda da biodiversidade em geral, tornando os processos menos férteis, nas florestas, campos, manguezais, águas de maneira geral. Tais impactos começam a comprometer o desenvolvimento dos sistemas produtivos, sobremaneira a produção de alimentos (CENCI; LORENZO, 2020)

Visto que o aquecimento global, interrompe a produção de alimentos e reduz as terras aráveis devido ao aumento das secas, inundações e outros eventos, também agravará os problemas para as pessoas que são deslocadas por razões ambientais de suas

residências para outros locais, em muitos casos não permitindo que elas permaneçam em seus lugares. Essas indicações requerem a sistematização de mecanismos políticos e legais capazes de garantir a proteção dessas pessoas (MAURI; BLANK, 2015).

Nesse aspecto, do mesmo modo que o aquecimento global vem interferindo na produção de alimentos, diminuindo as áreas agricultáveis em razão da intensificação de secas, enchentes e outros eventos, também agravará o problema dos deslocados por causas ambientais, não permitindo, em muitos casos, a permanência deles em seus lugares de origem. Tais indicativos requerem que se sistematizem mecanismos políticos e jurídicos capazes de garantir o amparo a essas pessoas, de modo a prover-lhes os direitos fundamentais quando tiverem de abandonar seus lares, ainda que seus destinos sejam outra região dentro de seus próprios países (BLANK, 2015).

No ano de 2019, inundações e tempestades foram os eventos mais frequentes no globo e responderam por 68% do número total de pessoas afetadas e 64% dos óbitos. No Brasil, vários estados da região nordeste e sudeste registraram uma série de danos resultantes de precipitações intensas entre janeiro e março de 2020. Cidades do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Maranhão, Ceará e Piauí apresentaram números significativos de desalojados, desabrigados, mortos e consideráveis danos estruturais (EMDAT/CRED, 2020).

Segundo Jacobi e Sulaiman (2016) existem uma gama de riscos ambientais atrelados a níveis de desenvolvimento que contribuem para desastres como inundações e deslizamentos, relacionados a situações climáticas severas. Os desastres relacionados com fenômenos naturais vêm comprometendo o setor agropecuário. Os eventos extremos quando atingem áreas agrícolas causam danos aos cultivos, na economia e na disponibilidade e acesso aos alimentos, interferindo na segurança alimentar e nutricional. Visando garantir a disponibilidade de alimentos para a população, países têm adotado ações para a Redução de Riscos de Desastres (RRD) (QUEIROGA, LUZ e FIGUEIRA, 2022).

Quanto mais eficaz é a resposta aplicada nas áreas afetadas pós desastre, maior o nível de preparo daquela sociedade, seja através da sua estrutura física ou seja por práticas eficientes como o socorro às vítimas, sistemas de alertas e técnicas de evacuação (SILVA e CHAVES, 2021). Seguindo o princípio de diversidade morfológica, existem áreas em que nos últimos anos receberam investimentos em sistemas de saneamento e manutenção dos mesmos, portanto, essas localidades centrais e turísticas costumam sofrer menos aos impactos de precipitações mais intensas, ao passo que localidades periféricas e próximas

a densas redes de canais fluviais possuem débil sistema de escoamento superficial e, conseqüentemente, sofrem com os impactos dos volumes pluviométricos (SANTOS et al., 2019).

3.4 Eventos extremos

Desde o início da civilização a humanidade sofre com os desastres naturais, como terremotos, erupções vulcânicas, maremotos, furações, inundações, tsunamis, deslizamentos de encostas, entre outros. Nas últimas décadas houve um aumento expressivo na frequência desses fenômenos, especialmente, no Brasil, tendo sido registrado milhares de perdas humanas, milhões de desabrigados, desalojados e afetados. É importante destacar que a intensidade dos danos, pela magnitude da ameaça e pela capacidade de enfrentamento – resiliência, pudesse identificar o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado pelos desastres naturais (CARVALHO, 2018).

Um evento meteorológico extremo é um evento raro num determinado lugar e altura do ano. As definições de raro variam mas normalmente, um evento meteorológico extremo seria tão ou mais raro do que o percentil 10 ou 90 de uma função de densidade da probabilidade estimada a partir das observações. Quando um padrão de condições meteorológicas extremas persiste durante algum tempo, como uma estação, pode ser classificado como um evento climático extremo, especialmente se produzir uma média ou total que é extremo (por exemplo, seca ou chuva intensa numa estação) (IPCC, 2018). Os desastres naturais relacionados a esses eventos envolvem não apenas a sua ocorrência nos espaços, como também o processo histórico de ocupação humanas dessas áreas e o nível de preparo e a capacidade de resposta que os grupos sociais possuem (SILVA e CHAVES, 2021).

O aumento do número de eventos climáticos extremos, as mudanças nos ecossistemas, a ascensão do nível do mar, a migração de populações, o desaparecimento de geleiras de altitude, a redução das calotas polares e as alterações da disponibilidade de recursos já fazem parte da realidade de milhares de pessoas, e a compreensão dos fatores determinantes destes padrões climáticos mundiais que desafiam, tanto os pesquisadores especializados, como a população em geral. (SABOYA et al., 2021).

Assim, eventos climáticos extremos são anomalias decorrentes de alterações dos elementos que compõem a normal climatológica, que segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (2022), corresponde à média dos parâmetros meteorológicos de uma região,

seguindo os critérios determinados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Tais anomalias podem resultar em mudanças dos condicionantes locais ou globais, proporcionados por elementos naturais ou oriundos da ação humana nos espaços, podendo ser de curta duração (minutos, horas ou dias) ou longa duração (uma ou mais estações). Eventos extremos proporcionados pelos fenômenos El Niño/La Niña possuem maior tempo de duração (cerca de meses), enquanto a formação de correntes de ar em localidades devido a alteração de pressão local causa fenômenos de curta duração (cerca de horas ou minutos).

Para Saboya et al., (2021) os eventos extremos estão associados ao aquecimento global, e que com o passar dos anos esse cenário climático pode acarretar ainda mais desastres naturais de larga escala, contribuindo para a ocorrência frequentes de inundações como o que vem sendo observado nas últimas décadas. As constantes mudanças no clima estão provocando aumento nas ocorrências de eventos climáticos extremos no mundo inteiro (MARENGO, et al., 2010).

A ocorrência desses extremos climáticos em áreas urbanas, uma vez que, geralmente, são áreas extremamente adensadas, tendem a promover graves danos sociais, econômicos e ambientais, conforme aludido anteriormente. Desse modo, estudar tais fenômenos se torna fundamental para a promoção de cidades mais resilientes, o conceito de resiliência perpassa pela capacidade de resposta que os sistemas possuem após a ação de eventos adversos que proporcionaram perdas e danos (COUTO; DI GREGORIO, 2019). A análise dos casos de eventos extremos de precipitação, e o conhecimento dos processos que os ocasionaram, é fundamental para o planejamento das condições de risco e identificação dos impactos sobre a drenagem da área (DORNELES, RIQUETTI, e NUNES, 2020).

Como consequências destes desastres ocorrem perdas de vidas humanas e de animais, prejuízos na economia, agricultura, transporte, saúde e moradia além de causar impactos graves aos mais variados ecossistemas (SABOYA et al., 2021).

3.5 Influência dos fenômenos climáticos com as secas no Nordeste

A ocorrência de secas como consequência de alteração climática em várias regiões globo terrestre, na década de setenta evidenciou-se a vulnerabilidade do homem a esse risco climático demonstrando a necessidade de melhor entendimento, melhor previsão de sua ocorrência e uso correto de medidas mitigadoras (NORONHA et al., 2016). A

ocorrência das secas no NEB resulta em grandes prejuízos socioeconômicos para a população, ao qual parte dos cultivos agrícolas são de subsistência e familiar, tornando-a mais vulnerável a esses eventos extremos (ANDRADE e LIMA, 2013; LIMA e MAGALHÃES, 2019; SANTOS et al., 2022).

Para Santos et. (2022); (NOBRE E SHUKLA, 1996; BASTIANIN et al., 2018) um fator indispensável para o surgimento de secas é o modo de variabilidade ENOS, um fenômeno natural que surge com as variações anômalas da temperatura na superfície da região Tropical do Pacífico, próximo à costa da América do Sul, que modifica as células de circulação atmosférica, logo nos padrões de ventos e precipitação ao redor do planeta. Nas últimas décadas, a ocorrência de secas aumentou ao longo do globo, inclusive no Brasil, e tais episódios ocorrem com maior severidade no Nordeste brasileiro.

O padrão do clima, dos ventos e ondas na região Nordeste mantém uma estreita relação com o deslocamento ou migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), bem como com as condições meteorológicas no Hemisfério Norte (RABELO e ALMEIDA, 2019).

No NEB os impactos são ainda maiores devido à grande variabilidade na ocorrência de precipitação dessa região. Os principais sistemas responsáveis pela ocorrência de precipitação no NEB são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Linha de Instabilidade (LI), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Brisas (Marítima e Terrestres) e as Perturbações Ondulatórias nos ventos Alísios (POAS) (MOLION, et al., 2002). O ENOS é outro modo de variabilidade climática que influencia na ocorrência de precipitação do NEB (SABOYA et al., 2021).

Desastres de origem climática em áreas urbanas estão relacionados ao nível de exposição ao qual a população está inserida. Por isso, tornam-se necessários estudos sobre clima urbano associados a análises do uso e ocupação do solo urbano, tendo em vista que tais fatores podem revelar o grau de vulnerabilidade urbana a qual as populações estão expostas. Ademais, contribuem para a formação de sociedades e estruturas urbanas mais resilientes dentro do quadro das cidades brasileiras (SILVA e CHAVES, 2021).

3.6 Ocorrência de fatores climáticos no estado do Maranhão

O clima de uma região impõe características que a definem compreender o comportamento do clima é essencial para o planejamento de uma série de atividades,

como gestão dos recursos hídricos, agricultura e potencial energético, entre outros (RODRIGUES et al., 2022). Em escalas regional e local, mudanças no clima associadas ao aumento de eventos extremos têm sido evidenciadas em diferentes magnitudes (IPCC, 2012, LÜ et al., 2018; SANTOS et al., 2020).

A região de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado possui particularidades ambientais diretamente impactadas pelas mudanças climáticas. Um exemplo desses impactos é a influência dos fenômenos de interação oceano-atmosfera na região de transição Amazônia-Cerrado, no Maranhão (ASSIS et al., 2015). O bioma do Cerrado denota uma grande diversidade climática, com sazonalidade marcante, tendo em vista uma estação chuvosa e outra seca. Devido a sua grande extensão pelo território brasileiro, o Cerrado apresenta a influência dos domínios climáticos equatoriais, tropicais e, por vezes, extratropicais (NASCIMENTO e NEVES, 2020).

A regionalização federal do Maranhão obedece aos critérios estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de acordo com o processo de transformação do espaço nacional e da estrutura produtiva (LEÃO; JÚNIOR, 2018), que resultou em uma divisão do Estado em 5 regiões geográficas intermediárias subdivididas em 22 regiões geográficas imediatas, compreendendo os 217 municípios.

No estado do Maranhão, a seca ou o excesso de chuvas é um problema, uma vez que eventos extremos tanto para mais, quanto para menos, poderá afetar a vida das pessoas. A identificação de locais que estão sofrendo alguma tendência meteorológica (inclusive chuvas) possibilita estimar danos destas mudanças nas atividades socioeconômicas) (CERQUEIRA, 2021). De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA (2013) o estado do Maranhão ocupa uma região que apresenta uma condição de transição de secas com algumas características de semiárido do Nordeste para condições úmidas do Norte e da Amazônia.

3.7 Sistemas de Informações climáticas

O monitoramento da dinâmica agroclimática é crucial para a otimização da produção agrícola, pois anomalias climáticas são as principais causadoras de baixas na produtividade agrícola mundial (PASSOS et al., 2017). O conhecimento desses fatores sobre cada território contribui para registrar e delimitar o potencial físico e biológico para a manutenção dos recursos naturais, além de poder nortear o planejamento estratégico do uso e ocupação do solo (LIMA e OLIVEIRA, 2021).

O sistema climático terrestre é complexo, e resulta da interação entre a energia solar, a atmosfera, e oceano, que regula as variações da atmosfera e, a superfície, com as suas particularidades. A conversão de energia térmica, entre os Polos e o Equador, em energia cinética que produz movimento, impulsiona as circulações simétricas na atmosfera e nos oceanos em escala planetária. Inerente a circulação atmosférica, ocorrem movimentos horizontais que interagem sobre grandes áreas e podem persistir por períodos de alguns dias a vários meses (NASCIMENTO E NOVAIS, 2020).

Na ciência, a ausência de dados climatológicos são algumas das limitações mais frequentes para se compreender e modelar a variabilidade espacial e/ou temporal de vários processos meteorológicos de uma área, podendo apresentar erros em suas variáveis, pois há existência de falhas nos modelos, requerendo uma maior atenção as séries mensais. (RABELO e ALMEIDA, 2019).

Cerqueira (2021) destaca a importância de se estudar os fenômenos meteorológicos, com isso pode-se acompanhar a evolução ou o retrocesso das chuvas do decorrer do mês, para que se realize uma comparação no que se refere ao período chuvoso e seco, gerando séries históricas nas regiões ou municípios de interesse.

Para Vilar (2020) o monitoramento de eventos climáticos é de suma importância para o armazenamento de água, geração de energia elétrica e para atividades agrícolas e agropecuárias, sendo assim um estudo climático que vise verificar a ocorrência de alterações possibilita a tomada de ações, tanto no que concerne as secas quanto a ocorrência de enchentes e alagamentos.

O sistema de classificação climática de Thornthwaite (1948) permite caracterizar, de forma eficaz, o clima de uma região, devido à metodologia ser sensível aos totais de chuva, e temperatura, somada a informações geradas do Balanço Hídrico Climatológico BHC (ROLIM, 2007). A delimitação do clima permite estabelecer os indicadores do potencial do meio físico para a região em estudo e determinar áreas homogêneas sob a perspectiva socioeconômica (MEDEIROS et al., 2015).

Entre os elementos climáticos, a pluviometria pode ocasionar impactos positivos ou negativos para sociedade local ou regional, visto que todas as atividades econômicas, especialmente a agrícola sofrem a longo prazo com essas oscilações, contribuindo para o aumento significativo de eventos extremos de períodos com secas e regulares (SIQUEIRA; MARY. 2017). Segundo (MANIÇOBA et al., 2017) o índice de anomalia de chuva pode ser explicado por seu comportamento pluvial que está relacionado com as

médias normais climatológicas, com isso apresenta um bom indicador climatológico para se avaliar a variabilidade pluvial.

Os desafios do gerenciamento de riscos e desastres naturais exigem a construção de sistemas que incorporem metodologias apropriadas à identificação dos padrões de distribuição e de tendências nos dados, com base em parâmetros e variáveis que possam ser medidos e monitorados continuamente, como os eventos extremos de precipitação. A identificação dos períodos de recorrência desses eventos atípicos são peças fundamentais na previsão e prevenção de desastres naturais (CARVALHO, 2018).

Em um dos estudos de Novais (2019), foi realizado um modelo de classificações climáticas, elaborado a partir de uma gama de dados de reanálise disponíveis e também por modelagem, ajustando os limites das unidades climáticas de acordo com a escala climática adotada. Com base nesse sistema pode-se analisar e auxiliar a influência das atividades antrópicas da região estudada.

Para Carvalho (2018), uma das formas de alcançar este objetivo é a partir do desenvolvimento, aprimoramento e aplicação de técnicas estatísticas que busquem identificar esses padrões de distribuição espaço-temporal dos eventos extremos de precipitação e dos desastres naturais, caracterizando possíveis cenários susceptíveis à ocorrência de futuros episódios de desastres, após determinação de seus referidos períodos de retorno. O importante é entender a dinâmica e o comportamento dos fenômenos com base na análise de parâmetros estatísticos como: intensidades, frequências e distribuições.

Os resultados da pesquisa podem contribuir, tanto de forma direta como indiretamente, como entradas para outros modelos mais complexos de previsão de recorrência de eventos extremos de precipitação e de desastres naturais (modelos hidrológicos-hidrodinâmicos, meteorológicos, entre outros), subsidiando as tomadas de decisões e a efetivação de políticas públicas que assegurem a minimização de riscos a desastres naturais junto à população de áreas vulneráveis (CARVALHO, 2018).

3.8 Geoprocessamento como ferramenta aliada em estudos climatológicos

As informações das condições climáticas de uma determinada região são necessárias para que se possam instituir estratégias, que visem o manejo mais adequado dos recursos naturais, planejando dessa forma, a busca por um desenvolvimento sustentável e a

implementação das práticas agrícolas viáveis e seguras para o meio ambiente e a sua produtividade (COSTA NETO et al. 2014).

No geoprocessamento, os métodos de interpolação são ferramentas utilizadas para gerar dados espaçados de uma determinada variável a partir de levantamentos de dados pontuais (RABELO e ALMEIDA, 2019). O geoprocessamento vem sendo um grande aliado das tomadas de decisões do homem, fazendo com que as melhores decisões sejam tomadas de forma coerente e com um melhor nível de segurança, podendo ainda dar uma resposta da qualidade de vida e desenvolvimento econômico além dos impactos ambientais existentes naquele local (FONSECA, 2019).

Aguiar e Lobo Jr. (2020), comparou bancos de dados com imagens de satélites, dados de precipitação pluviométrica e temperaturas máxima e mínima, utilizaram também dados de estações INMET nas diversas regiões do Brasil, e com isso detectaram que os dados de temperatura não apresentaram boa relação para baixas latitudes.

De acordo com ASSAD et al. (2003) para se realizar estudos agroclimáticos normalmente deve-se utilizar métodos de interpolação levando em consideração padrões de variabilidade espacial da variável analisada, sendo a média simples e a média móvel ponderada exemplos destes métodos. Através de interpolação por krigagem, onde se utiliza a dependência espacial da variável, expressa por meio de semivariograma, para estimar valores em locais não amostrados sem tendência e com variância mínima com o uso de ferramentas do geoprocessamento.

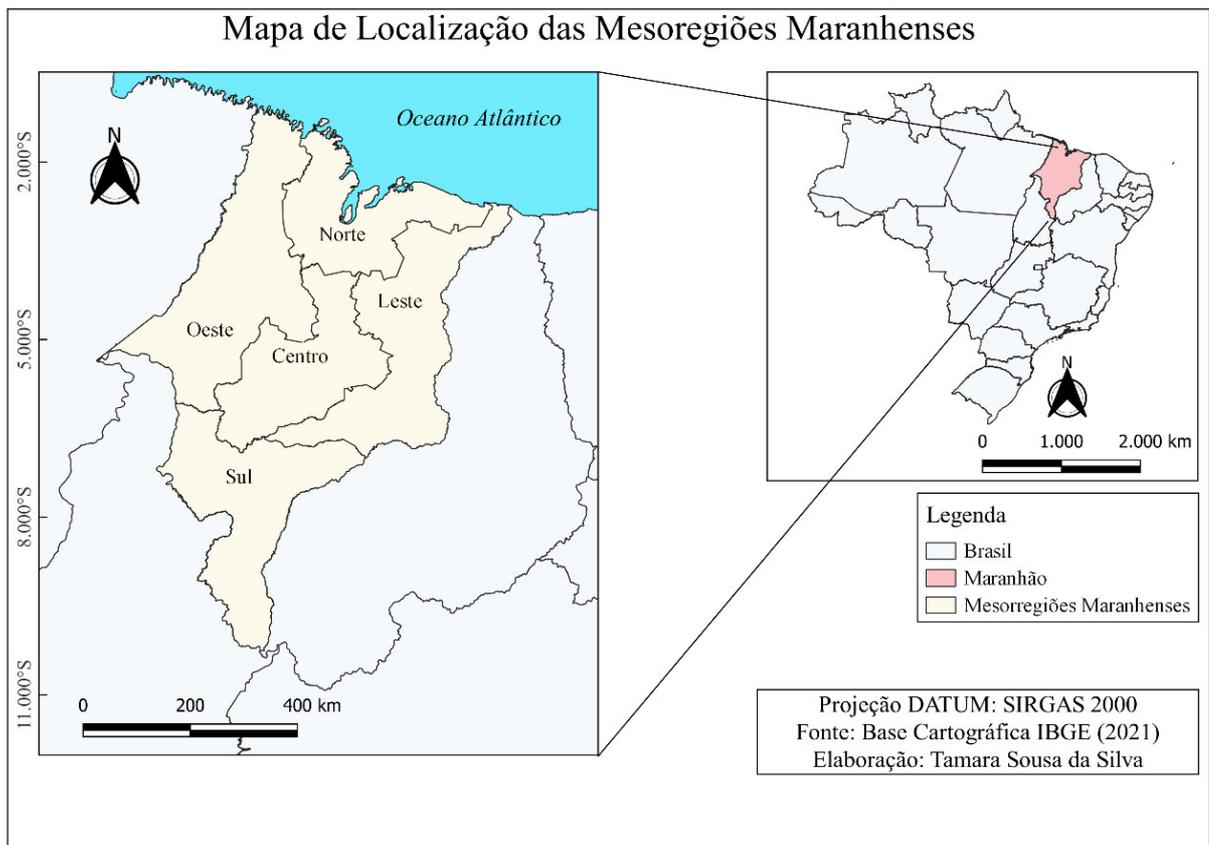
A krigagem leva em consideração a posição e a relação entre os dados, é necessário observar a variância dos dados para concluir sobre os resultados da interpolação. Ao fazer a estatística dos dados coletados, tem que se ter atenção que é uma média, e como o clima semiárido ela tem características irregulares, as vezes essas médias tem que ser analisadas com cuidado, visto que a média pode mascarar o que realmente está acontecendo como uma média baixa para os padrões (RABELO e ALMEIDA, 2019).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no Estado do Maranhão (Figura 1), localizado entre as coordenadas 1° 01' a 10° 21' SUL e 41° 48' a 48° 50' OESTE. O Estado possui limites ao Norte com o Oceano Atlântico (639,5 km), ao Sul e Sudoeste com Tocantins (1.060 km), a Oeste com o Pará (798 km) e a Leste e Sudeste com o Piauí (1.365 km) (SEMA, 2011).

Figura 1. Área de estudo, Estado do Maranhão



Fonte: Autora, 2022.

4.2 Dados Meteorológicos

Os dados foram obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia, (INMET). Os dados de precipitação mensal correspondem as estações meteorológicas localizadas em diferentes regiões do Estado (Tabela 1) e correspondem a série temporal de 1976 a 2021, exceto para a estação de Grajaú que contou apenas com dados até 1995.

Tabela 1. Estações meteorológicas do Estado do Maranhão e suas coordenadas geográficas.

NOME	LATITUDE	LONGITUDE
Alto Parnaíba	-9,108	-45,949
Bacabal	-4,218	-44,776
Balsas	-7,529	-46,046
Barra do Corda	-5,506	-45,237
Carolina	-7,337	-47,460
Caxias	-4,867	-43,357
Chapadinha	-3,743	-43,352
Colinas	-6,033	-44,233
Grajaú	-5,800	-46,450
Imperatriz	-5,536	-47,479
São Luís	-2,527	-44,214
Turialva	-1,661	-45,372
Zé Doca	-3,269	-45,651

Fonte: Autora, 2022.

4.3 Análise de Índice de Precipitação Padronizada

O Índice de Precipitação Padronizado (SPI), foi utilizado para quantificar o déficit de precipitação para múltiplas escalas de tempo, este dado refere-se ao impacto da seca na disponibilidade de fontes de água. Por essa razão, calculou-se o índice em escalas de tempo de três, seis, doze, vinte e quatro e quarenta e oito meses de acordo com o método de McKee (1993)

O SPI é obtido a partir das funções de densidade de probabilidade que descrevem as séries históricas de precipitação em distintas escalas de tempo, e requer séries com no mínimo 30 anos de observação (SILVA, et al., 2013; FERNANDES et al., 2009).

O SPI é calculado pela equação 2:

$$g(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

sendo:

$a > 0$ = parâmetro de forma (adimensional);

$b > 0$ = parâmetro de escala (mm);

$\chi > 0$ = total de precipitação (mm);

$\Gamma(\chi)$ = função gama.

A função gama é obtida por meio da equação 3:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

Para a estimativa dos parâmetros de forma a e b , utiliza-se o método da máxima verossimilhança equações 4, 5 e 6:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}$$

$$A = \ln(x) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(\bar{x})$$

sendo:

\bar{x} = média aritmética da precipitação pluvial (mm);

\ln = logaritmo neperiano;

N = número de observações de precipitação.

Os resultados dos parâmetros de forma e escala são então usados para se obter a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para uma escala de tempo mensal. A probabilidade cumulativa é obtida pela equação (7):

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx$$

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} \cdot e^{-t} dt$$

Desde que a função gama é indeterminada para $x = 0$ e uma distribuição de precipitação pode conter zeros, a probabilidade cumulativa toma o seguinte aspecto, equação 9.

$$H(x) = q + (1 - q) \cdot G(x)$$

sendo:

$H(x)$ = distribuição de probabilidade cumulativa;

q = probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros);

$G(x)$ = distribuição cumulativa teórica.

Quando m é o número de zeros em uma série temporal de precipitação, Thom (1966) indica que q pode ser estimado por $m/n + 1$. Segundo Thom (1966) utiliza-se tabelas da função gama incompleta para determinar a probabilidade cumulativa $G(x)$, já McKee et al. (1993) usam um método analítico junto com um código de software sugerido por Press et al. (1988) para determinar a probabilidade cumulativa.

A distribuição de probabilidade cumulativa $H(x)$ é então transformada em uma variável aleatória normalizada (Z) com média zero e desvio padrão 1, onde a variável (Z) corresponderá ao valor de SPI (FERNANDES et al., 2009). Essa é uma transformação equiprobabilística que Panofsky e Brier (1958) definiram como uma característica essencial para transformar uma variável de distribuição gama para uma variável com uma distribuição normal.

As probabilidades cumulativas empíricas foram bem desenvolvidas por Panofsky e Brier (1958), onde os dados de precipitação são organizados em ordem crescente de magnitude, de forma que os valores são baixos e onde o tamanho da amostra é dado pela equação 10

$$q = \frac{m}{n + 1}$$

sendo:

m = número de ordem dos valores de zero em uma série climatológica;

n = tamanho da amostra.

Tendo em vista que seria desnecessário reproduzir vários gráficos para cada localidade e em todas as escalas temporais possíveis e para cada mês do ano, o valor de (Z) ou SPI é obtido mais facilmente pela aproximação matemática desenvolvida por Abramowitz e Stegun (1965), que converte a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal a variável (Z).

Em que Z é definido pelas equações 11 e 12

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^2} \right) \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^2} \right) \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1$$

Sendo t definido pelas equações

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{1 - (H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1$$

Os coeficientes utilizados nas equações 11 e 12 são:

$$C_0 = 2,515517;$$

$$C_1 = 0,802853;$$

$$C_2 = 0,010328;$$

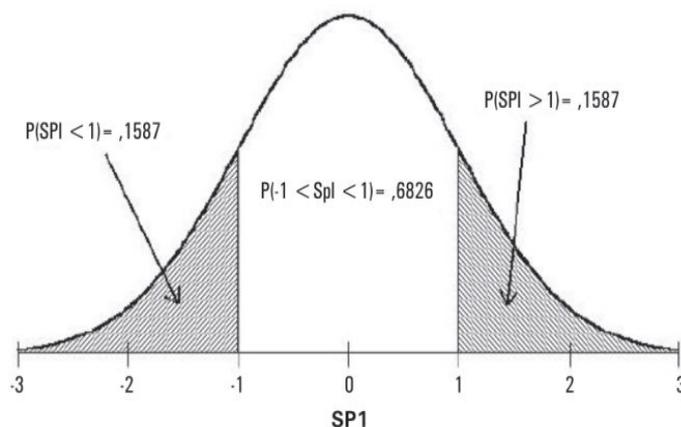
$$d_1 = 1,432788$$

$$d_2 = 0,189269;$$

$$d_3 = 0,001308.$$

Conceitualmente, o SPI representa o z-score, ou seja, o número de desvios padrão acima e abaixo do qual um evento (valor) se encontra em relação à média. Entretanto, isso não é totalmente correto para escalas curtas de tempo, visto que a distribuição original da precipitação original não é assimétrica. No entanto, a Figura 2 ilustra que durante o período base, no qual os parâmetros gama são estimados, o SPI terá uma distribuição normal com valor esperado 0 e variância 1. Um índice com essas características é desejável de modo a permitir comparações de valores do índice para diferentes localidades e regiões significantes (FERNANDES et al., 2009).

Figura. 2. Distribuição normal com o SPI tendo uma média de 0 e uma variância



Fonte: Domingos (2006).

McKee et al. (1993) usaram os valores de SPI para definirem a existência ou não de seca e o seu grau de intensidade. Segundo os autores, a seca ocorre sempre que o valor do SPI é continuamente negativo, atingindo uma intensidade igual ou menor que menos um (-1,0). A seca termina quando o valor do SPI se torna positivo. A classificação é feita com base nos limites indicados na Tabela 4, permitindo caracterizar não somente as secas, mas também os períodos mais úmidos. Esse método tem a grande vantagem de padronizar a análise, permitindo comparar regiões totalmente distintas, como por exemplo regiões com climas mais úmidos e chuvosos com regiões mais áridas e secas.

Tabela 2. Índices de avaliação de secas e períodos úmidos

SPI	Categoria
0 - 2,00	Extremamente Úmido
1,5 a 1,99	Severamente Úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente Úmido
0,1 a 0,99	Umidade Incipiente
0 a -0,99	Seca Incipiente
-1,00 a -1,49	Moderadamente Seco
-1,50 a -1,99	Severamente Seco
0 - 2,00	Extremamente Seco

Fonte: McKee et al. (1993)

4.4 Análise de tendências

O teste de Mann-Kendall é um teste não paramétrico utilizado para identificar mudanças climáticas em séries temporais de dados que, na hipótese da estabilidade de uma série temporal, os valores devem ser independentes e a distribuição de probabilidades deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples). Na aplicação do teste estatístico de Mann-Kendall a série de dados, o tempo é a variável independente (ELY e DUBREUIL, 2017).

Por tratar-se de um método não paramétrico, ele não requer distribuição normal dos dados. Outra vantagem deste método é o fato de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (YUE et al., 2002.; ZHANG et al.; 2009; apud SALVIANO et al., 2016).

A aplicação do teste, relatada por numerosos autores, tem evidenciado resultados muito consistentes (SANTOS e PORTELA, 2007).

Levando em consideração uma a série temporal de N valores anuais (um valor por ano) com termo genérico Y_i , $i = 1, \dots, N$. Utilizando o teste de Mann-Kendall, cada valor Y_i , $i = 1, \dots, N - 1$ é comparado com todos os valores que se lhe seguem Y_j , $j = i + 1, i + 2, \dots, N$, obtém-se uma nova série Z_i que contém um indicador do valor relativo da diferença entre termos da série Y_i , de acordo com:

$$Z_i = \text{sgn}(Y_i - Y_j) = \begin{cases} 1 & \text{se } Y_i > Y_j \\ 0 & \text{se } Y_i = Y_j \\ -1 & \text{se } Y_i < Y_j \end{cases} \quad (1)$$

A estatística de teste de é obtida através da soma da série Z_i , da seguinte forma:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j)$$

MANN, 1945, e KENDALL, 1975, apud SANTOS e PORTELA, 2007, demonstraram que, para amostras com grande dimensão em que a estatística do teste ocorre sem a presença de valores nulos de Z_i , e considerando a hipótese nula, H_0 , de ausência de tendência, a estatística S segue aproximadamente uma distribuição normal com média nula, ou seja:

$$E[S] = 0$$

e variância definida por:

$$Var[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18}$$

em que N é a dimensão da amostra. A significância de S para se obter a hipótese nula pode ser testada com recurso a um teste bilateral, sendo que pode ser rejeitada para grandes valores da estatística Z(t) definida de acordo com:

$$Z(t) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

A hipótese nula de ausência de tendência, H_0 , é rejeitada sempre que $|Z(t)| > Z_{\alpha/2}$; em que α é o nível de significância adotado e $Z_{\alpha/2}$ é a variável normalmente reduzida para a função de distribuição normal padrão, na cauda direita da distribuição. O sinal da estatística Z(t) indica se a tendência é crescente ($Z(t) > 0$) ou decrescente ($Z(t) < 0$). Nas aplicações efetuadas no âmbito do estudo subjacente ao presente artigo adotou-se o nível de significância de $\alpha = 0,05$ ou 5%.

Não obstante o teste de Mann-Kendall permitir detectar tendências estatisticamente significativas não fornece qualquer estimativa da magnitude dessas tendências. Para tal é necessário aplicar um estimador estatístico da tendência, para o que se recorreu ao estimador de declive inicialmente proposto por SEN, 1968, descrito, de acordo com HIRSCH et al., 1982, in LETTENMAIER et al., 1993, SANTOS e PORTELA, 2007.

4.5 Teste de Significância de T-Student

O teste T-Student, é um teste que tem sido utilizado em vários trabalhos entre esses trabalhos também pode ser citados trabalho na área da hidrologia e climatologia (SANCHES et al., 2017; CABRAL JÚNIOR et al., 2017; FRAUCHES et al., 2020; apud CABRAL JÚNIOR e LUCENA, 2021) dessa forma evidenciam bastante eficiência como recurso de tomada de decisões.

A base teórica que fundamenta o teste t de Student é a mesma da distribuição normal de probabilidade, e já estava disponível na última metade do século XIX. O teste surgiu, no entanto, no início do século XX, a partir das observações e experimentações

práticas de STUDENT. O teste t é um teste para comparação de médias, onde o objetivo é observar a probabilidade de ocorrência do resultado encontrado para a média calculada a partir da hipótese nula que é a de igualdade entre as médias populacionais das amostras comparadas (SPERANDEI, 2007).

Conforme Busab e Morettin (2010); ALMEIDA JÚNIOR (2017), a utilização do teste T student é um dos métodos que servem para a validação de resultados com variáveis que seguem a distribuição normal com média μ e variância σ^2 desconhecida.

A estatística do teste é dada por:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}} \sim tn - 1$$

onde \bar{x} é a média amostral, μ_0 é o valor utilizado para comparação com a média na hipótese nula, s é o desvio padrão da amostra, calculado em (1.7), e n é o tamanho da amostra. A estatística do teste, segue uma distribuição t de Student com n - 1 graus de liberdade.

$$s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

O comportamento em grandes amostras é verificado em

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\bar{x} - \mu_0}{s} \sqrt{n} = \infty$$

Observa-se que à medida do tamanho da amostra cresce, com isso a estatística do teste também cresce, concluindo, e com isso consequentemente, a média amostral é diferente da média populacional que está sendo testada.

4.6 Método Geoestatístico da Krigagem

Para a realização de zoneamentos climáticos e/ou identificação de regiões climáticas, são necessárias técnicas de espacialização das informações que utilizam, quase que exclusivamente, dados locais por meio de análises matemáticas e estatísticas.

Atualmente, a identificação de zoneamento climático na Ciência Geográfica é operacionalizada majoritariamente em ambiente SIG e, portanto, necessita de bases de dados temáticos georreferenciados para execução de suas análises espaciais (NEVES et al., 2013).

Para a presente pesquisa foram utilizados os dados do INMET que compreenderam os anos de 1976 a 2021, esses dados foram submetidos ao método de krigagem, para evidenciar a espacialização climatológica do Estado do Maranhão.

A krigagem é um método que permite estimar o valor desconhecido associado a um ponto, área ou volume, a partir de um conjunto de número de dados disponíveis. A krigagem é feita após a conclusão dos estudos geoestatísticos, os quais poderão inclusive indicar a não aplicação deste método se o comportamento da variável regionalizada for totalmente aleatório. Os estudos geoestatísticos levam a definição de um modelo de variograma, que servirá para inferir os valores de variância e covariância que serão utilizados pelos métodos geoestatísticos de interpolação (BARBOSA, 2006).

Assim como proposto por Murara (2019) para a interpolação de dados foi utilizado o método que consistiu em construir e projetar novos conjuntos de informações a partir dos dados pontuais obtidos de uma amostragem consistente. Ou seja, fez-se necessário um conjunto existente de dados previamente conhecidos, neste caso as estações meteorológicas, Alto Parnaíba, Bacabal, Balsas, Barra do Corda, Carolina, Caxias, Chapadinha, Colinas, Grajaú, Imperatriz, São Luís, Turiaçu, Zé Doca. A interpolação pode ser classificada de várias formas, em relação à utilização do conjunto de pontos, podendo ser locais ou regionais, ou em relação à avaliação de erros associados aos valores interpolados, podendo ser determinísticos ou geoestatísticos (MAGERSKI e VIRGENS FILHO, 2021)

Para realização do método e representação espacial, foi utilizado o *software* de QGis, posteriormente ao processo de interpolação foi realizada a elaboração dos *layouts* que originaram os mapas de acumulados de precipitação do período estudado.

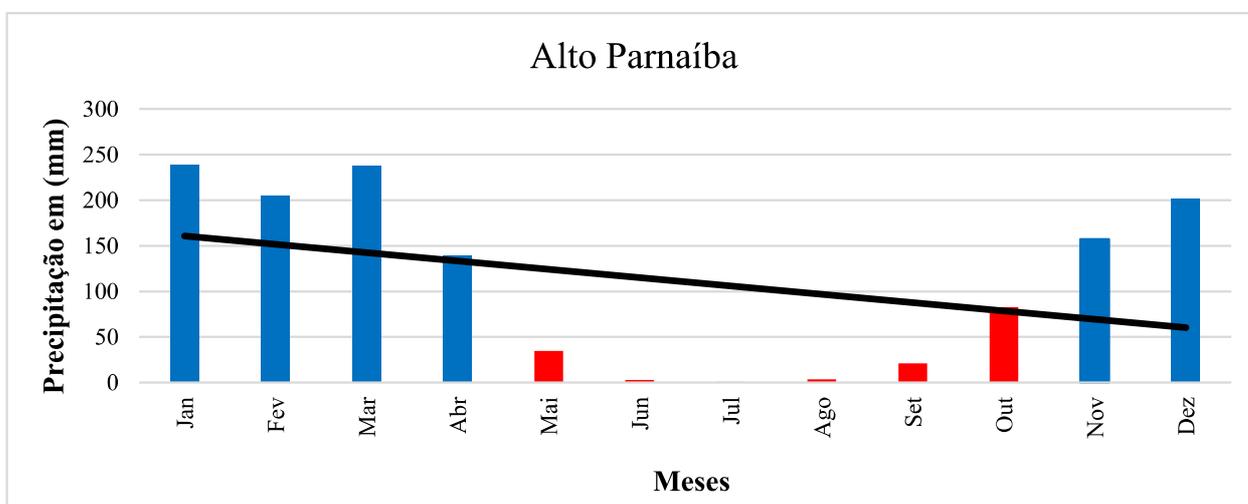
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Climatológica de Alto Parnaíba

Analisando as normais climatológicas, observa-se que a média do comportamento mensal pluviométrico da série nos últimos 46 anos, mostraram que os municípios do Alto Parnaíba apresentaram uma variabilidade pluviométrica entre 0, e 238 mm/mês, esse valor é o de maior destaque na quadra chuvosa para essa estação meteorológica. Neste município o período mais chuvoso correspondeu aos meses de janeiro, fevereiro e março, (Figura 3), sendo o período com menor ocorrência de chuvas, entre os meses de abril a novembro e o mês de janeiro o de maior concentração de precipitação na região.

O município de Alto do Parnaíba possui duas estações bem definidas, de forma a apresentar um padrão das médias que notavelmente possuem o mesmo comportamento na distribuição mensal da precipitação definindo previamente com duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca. Assim como encontrado por Reis et al. (2020), evidenciando que a maior variabilidade concentrou-se nos meses que correspondem a estação mais chuvosas, dezembro a março.

Figura 1. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Alto Parnaíba



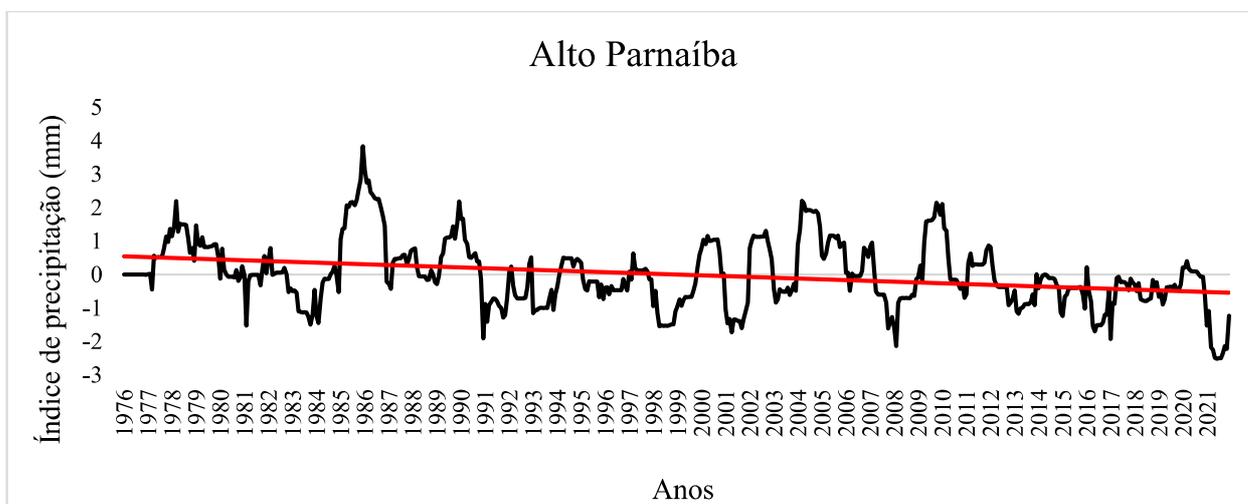
Fonte: Autora, 2022.

Na análise de Índice de Precipitação Padronizada para o Alto do Parnaíba (Figura 4) observou-se as oscilações no aumento e queda da precipitação para o município. Conforme pode ser observado, ocorreu um período de aumento na precipitação de 3,83 mm, classificado como extremamente úmido, o pico ocorreu entre os anos de 1985 e 1987 alcançando a hegemonia positiva da série temporal estudada para

a região de Alto do Parnaíba. Em relação a maior queda, observou-se que ocorreu em 2021, classificada como extremamente seco, pois assumiu o valor de -2,24 mm, saindo do que é considerado normal para a região.

Segundo Terassi et al. (2018), os eventos que podem estar relacionados com a queda do índice de precipitação no período semelhante aos resultados encontrados, foram El Niño, que por sua vez influenciaram na variabilidade anual das chuvas de 1997/1998, categorias entre moderadamente seco a extremamente seco.

Figura 2. Índice de Precipitação Padronizada de Alto Parnaíba

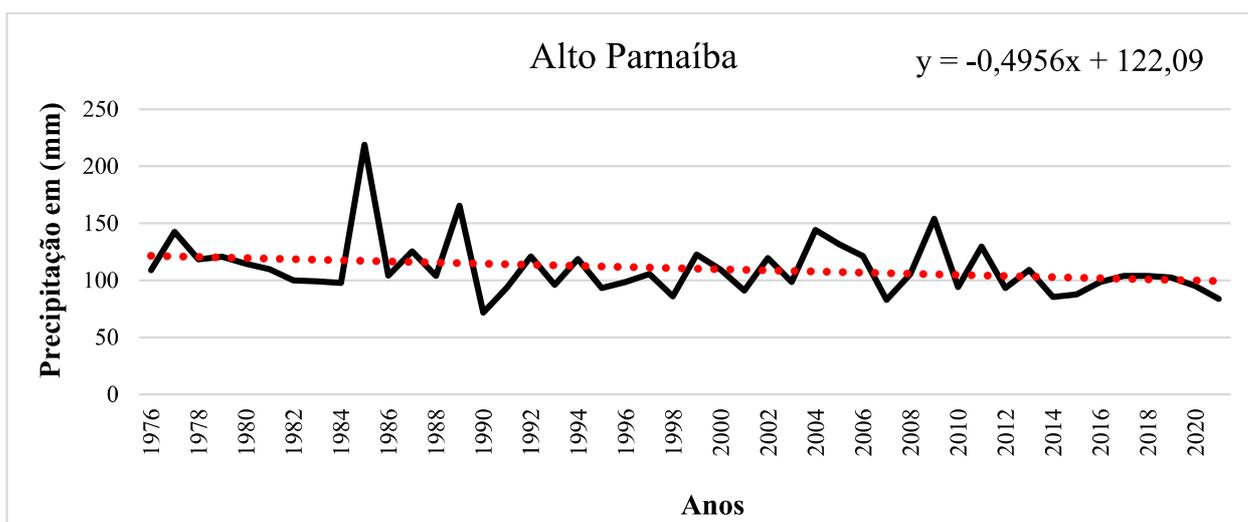


Fonte: Autora, 2022.

A série submetida, ao período de 1976 a 2021 (Figura 5) apresentou seu maior pico em 1985 com 218,85 mm, e o pico negativo foi em 1990 com 71,57 mm. Ao realizar a tendência de Mann Kendall notou-se o valor -0,4956 mm/ano, e a série toda apresentou cerca de -22,7991 mm, dessa forma pode-se evidenciar a diminuição da precipitação no município do Alto Parnaíba.

Conforme apontado por Ferreira et al. (2022) ao aplicar o método para descobrir as tendências climáticas, em regiões produtoras de feijão no Ceará notou que a região Nordeste, sofre com influência direta da variabilidade climática, em que tal variabilidade afeta principalmente o setor agrícola.

Figura 3. Tendência climática Alto Parnaíba



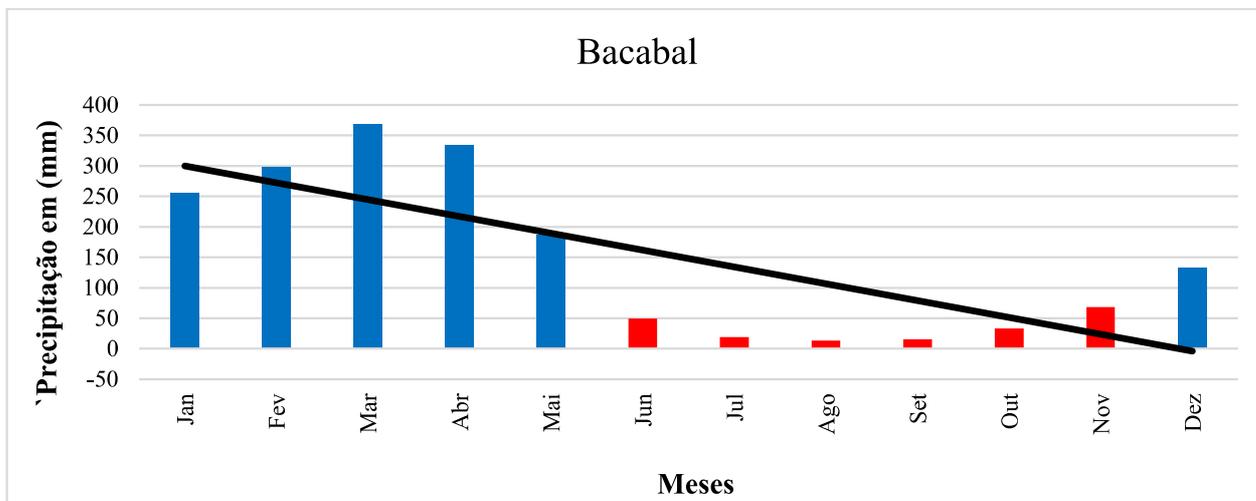
Fonte: Autora, 2022.

5.2 Análise Climatológica de Bacabal

Na análise climatológica das médias da série histórica, a estação de Bacabal apresentou uma variabilidade climatológica com valores altos de precipitação mensal, (Figura 6). Observando a quadra chuvosa que tem início de janeiro a junho, nota-se que o mês mais chuvoso foi o mês de março com 369,34 mm. Em relação aos meses com menor índice de precipitação, maio a dezembro, o mês de agosto com 13,48 mm, obteve as menores precipitações.

Ao avaliar os índices pluviométricos mensais, Marques et al. (2022) observaram que algumas estações meteorológicas no Estado do Maranhão possuem altos índices, com ocorrência maior no mês de março, corroborando assim com os resultados encontrados no estudo. Os autores ainda destacam a relação desse período com a atuação ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), tal sistema causa intensa instabilidade, que converge com os ventos na camada superior da atmosfera. Tal movimento gera o cinturão de nuvens pesadas originando assim as chuvas, ocorrendo principalmente nos meses de março e abril.

Figura 6. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Bacabal

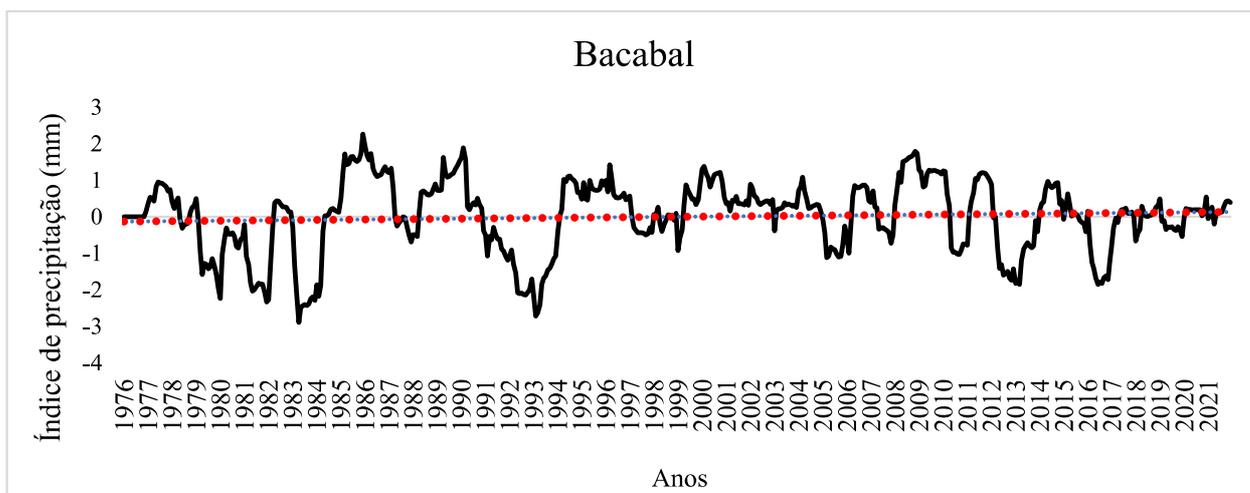


Fonte: Autora, 2022.

Com base nos valores de SPI para Bacabal, observa-se (Figura 7) declínios iniciando em 1979 e que transita para um período crítico até seu ponto mais baixo em 1983 com -2,47 mm, extremamente seco. Porém em 1985, ocorre um período mais úmido com um pico de 2,29 mm. Em 1986, ultrapassando esses anos com valores positivos de SPI tem-se novamente uma seca em 1993 de -2,62 mm, a recuperação ocorreu em 1995 persistindo entre pequenos picos e quedas até 2021.

Para Barros et al. (2021) períodos críticos acima dos aceitáveis requerem bastante atenção, tendo em vista que eventos menos intensos de seca podem acabar se desenvolvendo e se intensificando conforme a atuação de fenômenos externos, acarretando secas severas se prolongadas.

Figura 7. Índice de Precipitação Padronizada de Bacabal

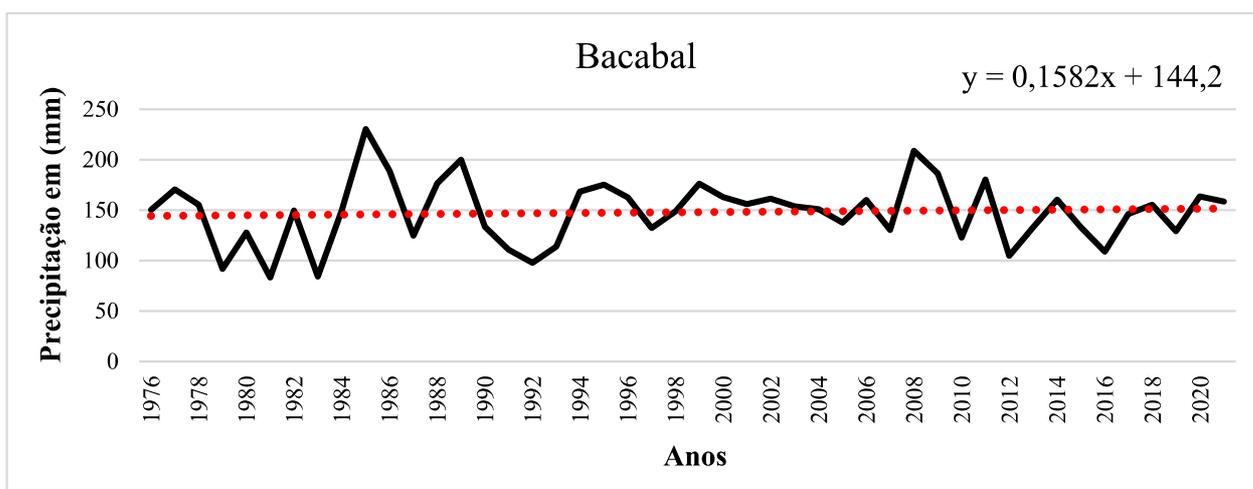


Fonte: Autora, 2022.

A estação de Bacabal mostrou pico negativo correspondente ao ano de 1993 com 84,04 mm anual, todavia, o maior pico no índice pluviométrico foi em 1985, quando evidenciou cerca de 230,44 mm em sua média anual (Figura 8). De acordo com o teste de Mann Kandall o município de Bacabal apresentou tendencia interanual de 0,1582 mm/ano, e considerando a série toda obteve-se também o valor positivo de 7,2789 mm, registrando assim comportamento de aumento em seu índice pluviométrico.

Os resultados de tendências de Bacabal corroboram com os de Santos et al. (2020) em que também evidenciaram o aumento de forma significativa para a mesma estação meteorológica analisando o comportamento da precipitação.

Figura 8. Tendência Climática Bacabal



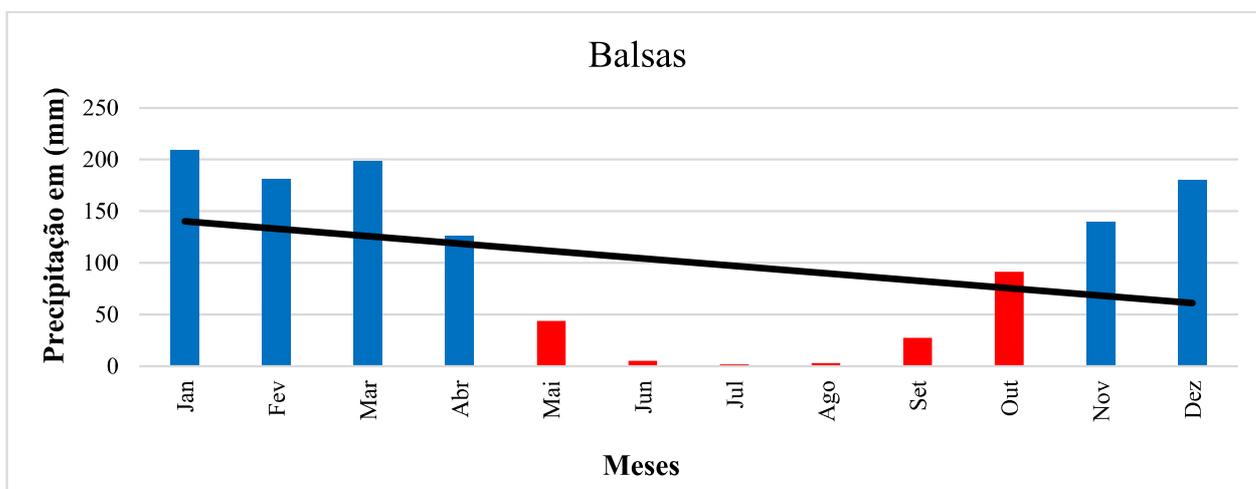
Fonte: Autora, 2022.

5.3 Análise Climatológica de Balsas

A cidade de Balsas conta com um índice pluviométrico semelhante a cidade de Alto do Parnaíba, (Figura 9). Observa-se que a configuração da quadra chuvosa é a mesma, iniciando em dezembro e encerrando em março. Para essa Estação ou para a Cidade de Bacabal o mês mais chuvoso é janeiro com 208,98 mm, e os meses que apresentam pouca precipitação são de abril a novembro, sendo o mês de julho o mais atingido pelo déficit com 2,00 mm. Percebe-se também que de janeiro a maio a precipitação decaiu, passando pelos três meses mais críticos, e em seguida a precipitação aumenta até chegar em um dos quatro meses mais chuvosos que é o mês de dezembro da quadra chuvosa da estação de Balsas.

Ao comparar os resultados com os de Santos (2019) percebe-se uma certa semelhança em relação ao período considerado como os mais chuvosos e os menos favorecidos pelas chuvas para a cidade de Teresina assim como os da estação de Balsas.

Figura 9. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Balsas

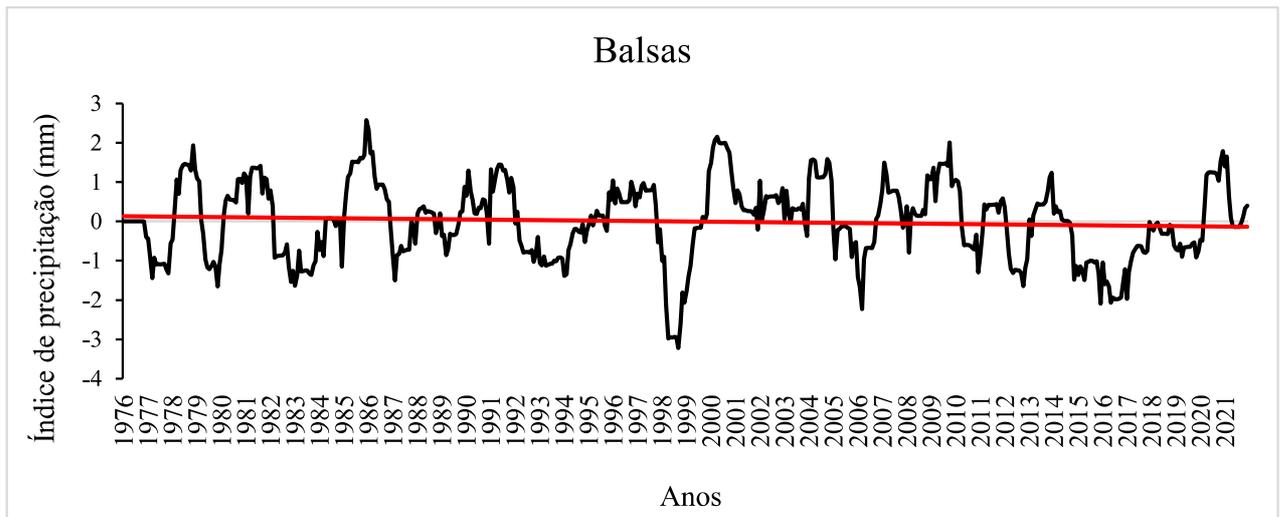


Fonte: Autora, 2022.

Ao avaliar o SPI para a estação de Balsas (Figura 10) percebe-se que entre 1998 e 1999 ocorreu um período de seca extremamente severa de -3,22 mm, extremamente seco, sendo o período mais crítico dentre a série analisada, e em seguida o ano de 2006 com -2,23 mm. Os períodos mais úmidos se deram de 1985 a 1987 como pode ser observado pelo pico que chegou a 2,32 mm, sendo extremamente úmido, o seu segundo maior pico foi em 2000 se alongando a 2001 que chegou a cerca de 2,14 mm.

Conforme elencado por Souza (2021) ao utilizar o SPI para o estado de Alagoas em um período considerado extenso também salientou em seus resultados a ocorrência de secas consideradas moderadas, severas e extremas foram seguidas ou procedidas por secas leves.

Figura 10. Índice de Precipitação Padronizada de Balsas

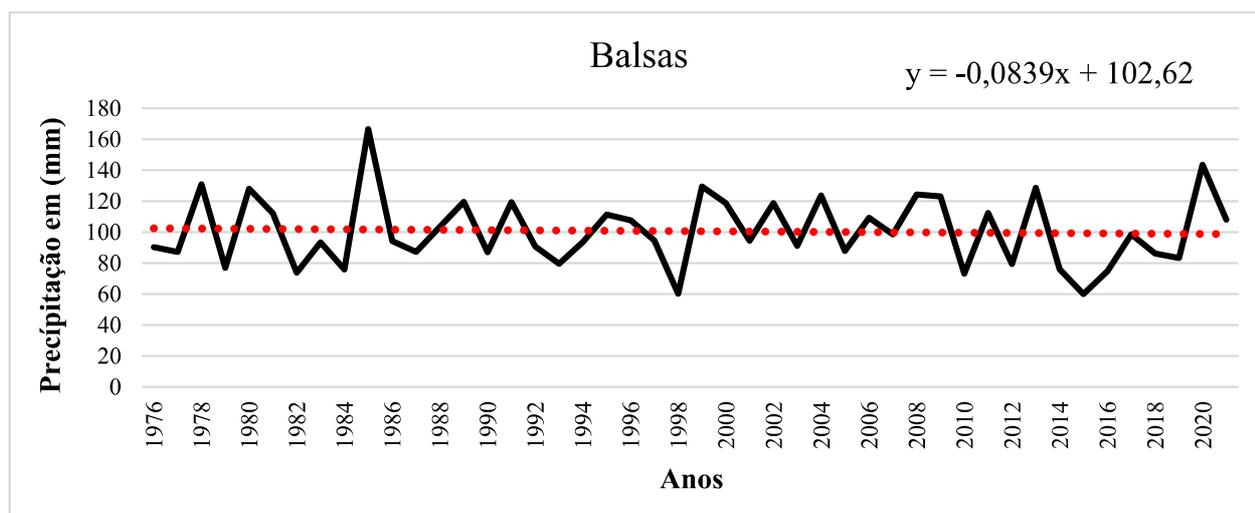


Fonte: Autora, 2022.

Balsas apresentou em sua série durante a análise o maior pico ocorrido em 1985 com 166,60 mm anual, contudo, em 2015 ocorreu o pico negativo do índice de precipitação com 60,01 mm. De acordo com os valores das tendências de Mann Kendall os valor interanual foi de -0,0839 mm/ano e a série toda foi de -3,8613 mm configurando a diminuição da precipitação na estação de Balsas (Figura 11).

Conforme descrevem em sua pesquisa Campos e Chaves (2019) indicaram que a região do Cerrado nos últimos anos registrou tendências de redução de precipitação. Como o bioma também pertence ao estado do Maranhão, a região sul onde está localizado o município de Balsas pode ser observada a redução não tão significativa ao longo dos anos.

Figura 11. Tendência Climática Balsas



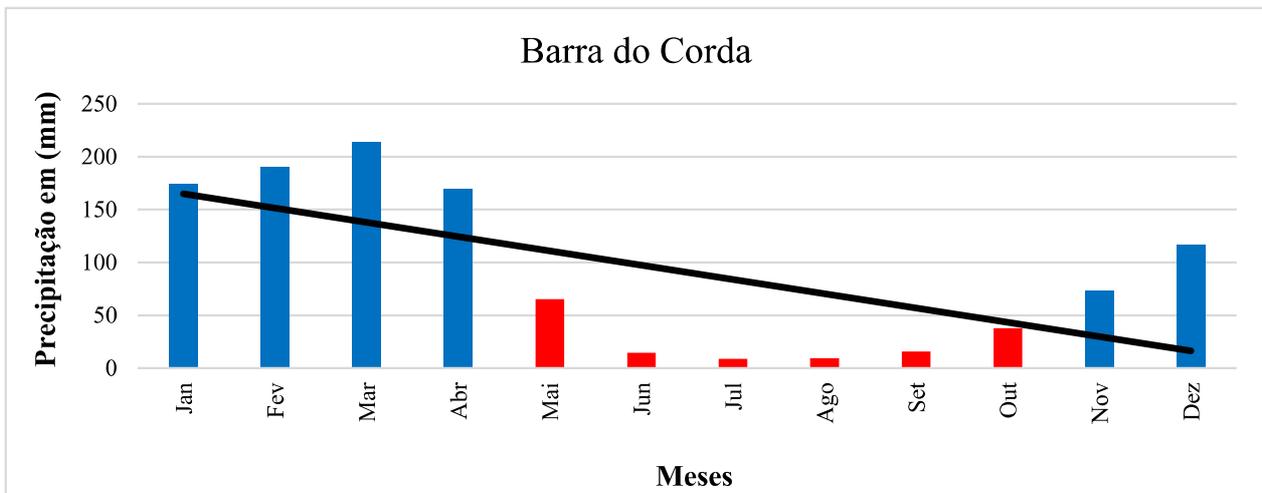
Fonte: Autora, 2022.

5.4 Análise Climatológica de Barra do Corda

Em Barra do Corda conforme o gráfico (Figura 12) os meses mais chuvosos são de janeiro a abril, sendo o mês de março o mais chuvoso deles de acordo com a média mensal, cerca de 214, 11 mm. Percebe-se que de maio a dezembro a média de precipitação vai decaindo, apenas dezembro ultrapassa os mais de 100 mm. Diante desse quadro o mês com a menor índice pluviométrico é o mês de julho com 9,00 mm.

Segundo Marque et al. (2021) a estação de Barra da corda exibe comportamento de período chuvoso assim como de estiagem semelhante aos de Alto do Parnaíba, Balsas, Carolina, Colinas e Imperatriz, em que na análise de suas médias mensais não ultrapassam os 300 mm.

Figura 12. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Barra do Corda

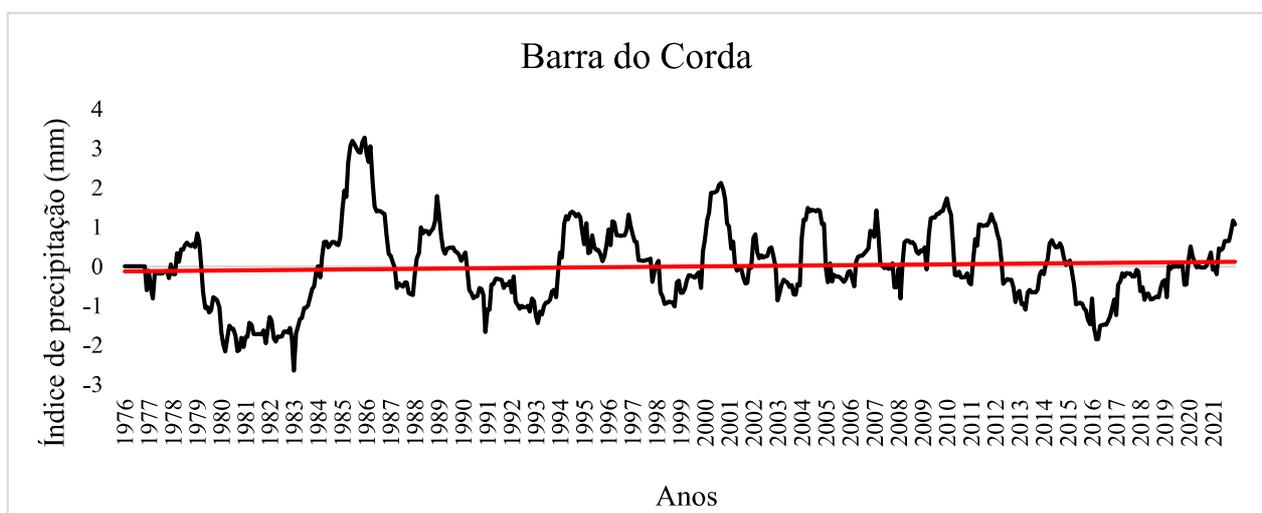


Fonte: Autora, 2022.

Com base no SPI para a estação de Barra do Corda (Figura 13) foi analisado um quadro de seca proeminente em 1980 que se estendeu até 1983 atingindo o pico máximo da série, com -2,64 mm classificado como extremamente seco, a situação nessa estação crítica, no entanto houve a recuperação em 1994 quando em 1986 alcançou o valor de 3,27 mm sendo extremamente úmido.

Para Rodrigues et al. (2021) os eventos de secas ocorrem principalmente devido a ocorrência do El Niño, e na região nordeste, em que a intensidade e durabilidade desse fenômeno pode influenciar e causar prejuízos devido aos baixos níveis pluviométricos.

Figura 13. Índice de Precipitação Padronizada de Barra do Corda

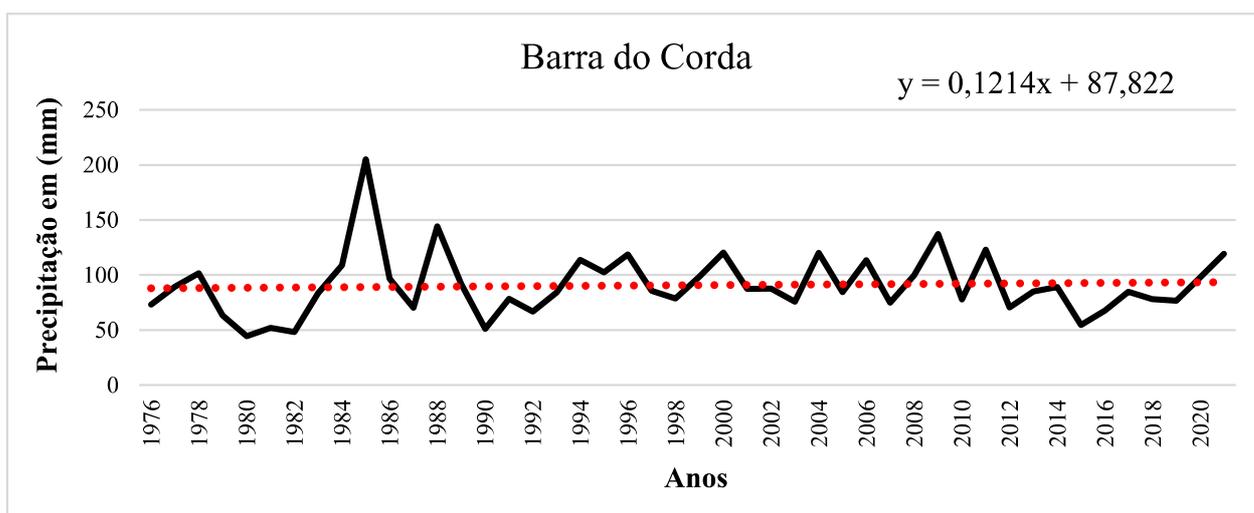


Fonte: Autora, 2022.

Conforme pode ser observado (Figura 14) a estação de Barra do Corda apresentou o pico mais significativo em 1985 com 204,98 mm, no entanto, em 1990 foi o pico com menor ocorrência de precipitação com 51,02 mm. O teste de Mann Kendall indicou tendência interanual de 0,1213 mm/ano e a série toda com 5,5836 mm, os valores positivos corroboram para o aumento das chuvas em Barra do Corda.

O comportamento das variações dos picos das médias anuais, no período estudado, salienta-se certa estabilidade após 1990. Silva et al. (2019), também observou-se semelhante variação dos dados, e destacaram que em termos de décadas os últimos períodos observados demonstram maior estabilidade de eventos de precipitação.

Figura 14. Tendência climática Barra do Corda



Fonte: Autora, 2022.

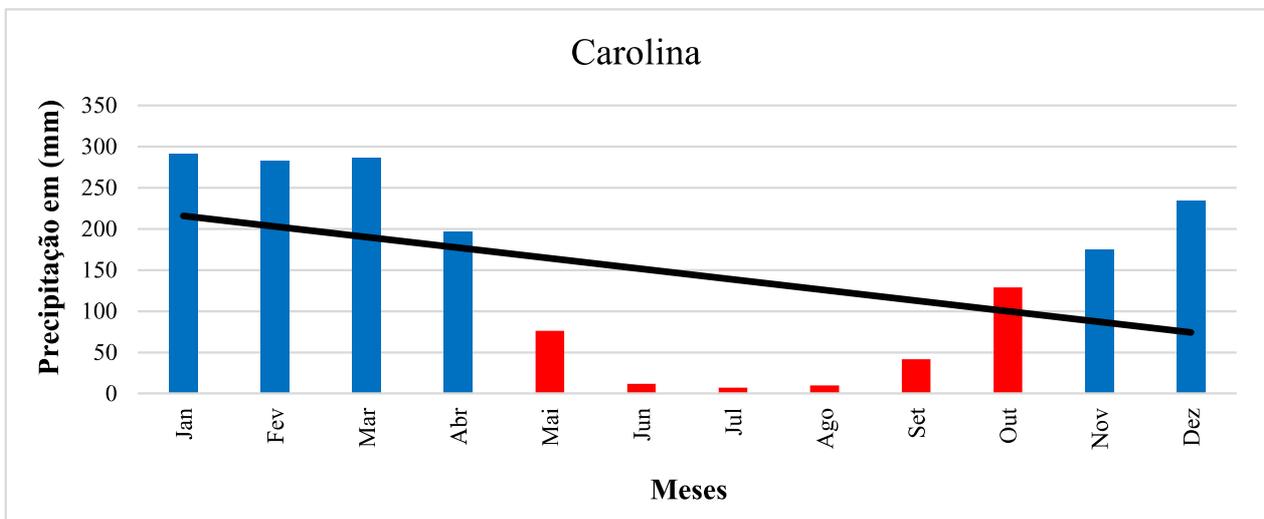
5.5 Análise Climatológica de Carolina

A análise realizada para de Carolina teve semelhanças com Alto do Parnaíba e Balsas, que por sua vez evidenciou em seus meses mais chuvosos iniciam-se em dezembro, encerrando em março (figura 15). O mês mais chuvoso dentre os quatro apresenta uma média de 290,96 mm, os outros meses ultrapassam a margem dos 200 mm mensais. Os meses com o índice de precipitação inferior são os de abril a novembro. Percebe-se que mesmo abril possui uma média de precipitação acima dos 200 mm

também, no entanto foram levados em consideração os quatro meses mais chuvosos em destaque, nota-se também que o mês que apresenta menor índice pluviométrico é o de julho com 7,30 mm. já em outubro inicia-se a elevação dos índices pluviométricos até entrar em dezembro.

Assim como enfatiza Correia Filho et al. (2011), o município de Carolina possui altas médias pluviométricas, com os três primeiros meses do ano como sendo os mais beneficiados com o regime chuvoso.

Figura 15. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Carolina

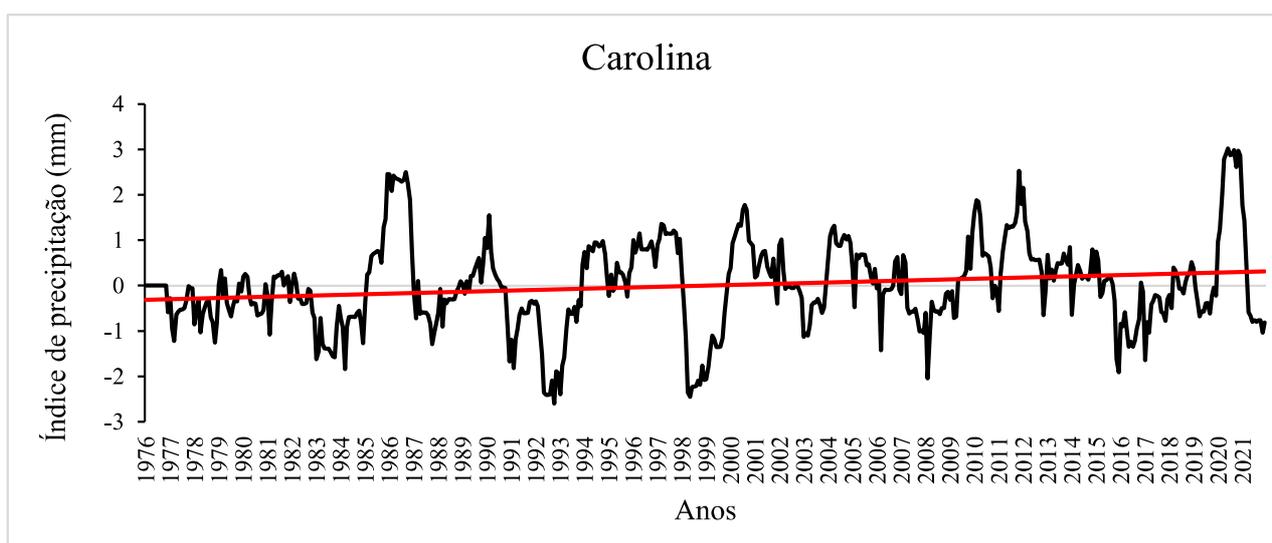


Fonte: Autora, 2022.

Acompanhando o SPI para Colinas (Figura 16), é evidente um quadro de seca que se iniciou em 1977 com pausas mínimas, mas que ao mesmo tempo se mostram um padrão de seca até o ano de 1985, quando entre 1986 e 1987 colinas atinge um pico em sua precipitação classificada como extremamente úmido com 2,49 mm. Em 1991 mais uma vez Colinas passa por um período crítico, não tendo um índice de SPI positivo até o ano de 1994 que chegou a 2,59 mm, extremamente seco, mais que o dobro do período passado úmido. Ocorreu a recuperação dos períodos secos tendo outra queda em 1998. Passando esses anos os períodos úmidos se mantiveram entre comportamentos secos e úmidos, onde foi observado o maior pico positivo da série temporal analisada para Carolina, ocorrendo entre 2020 e 2021 com cerca de 3,02 mm extremamente úmido.

De acordo com Siqueira e Nery (2017), a seca pode ser considerada um fenômeno de cunho natural, no entanto, torna-se preocupante dependendo do local afetado, pois com a seca são trazidos impacto de origem sociais e ambientais.

Figura 16. Índice de Precipitação Padronizada de Carolina

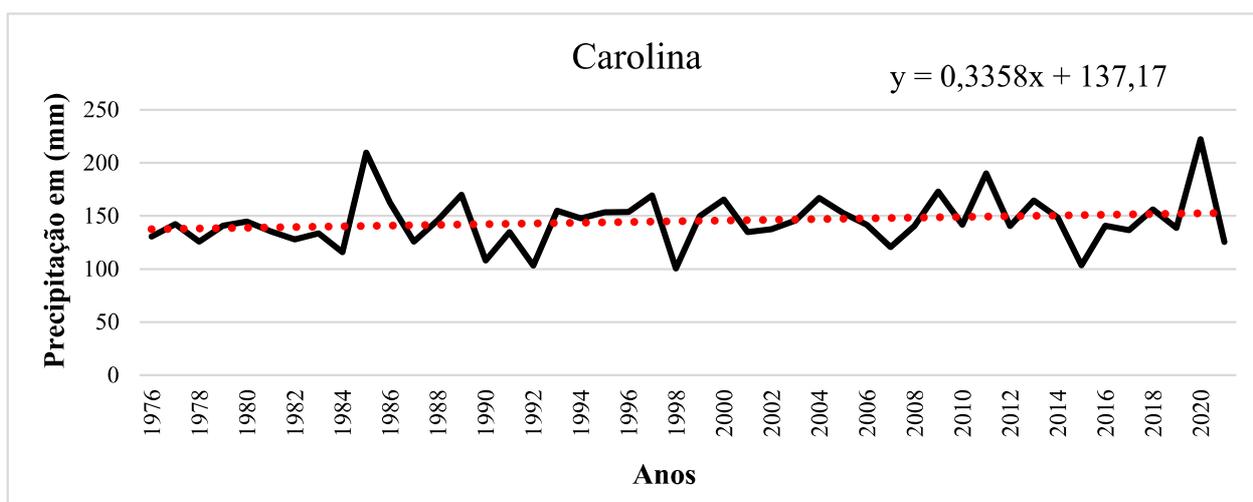


Fonte: Autora, 2022.

Analisando o gráfico de tendência para Carolina (figura 17) nota-se em o comportamento das médias de precipitação para a série anual evidencia alguns momentos de quedas, e em alguns se mantiveram acima de 150 mm e até mesmo dos 200 mm, ao utilizar o método de Mann Kandall tem-se que a tendencia interanual foi de 0,3357 mm/ano e quando foi levada em consideração a série toda apresentou ainda uma tendência negativa de 15,4462 mm, ou seja, por meio das análise o método evidenciou aumento no índice pluviométrico na estação de Carolina.

Conforme Bettiol (2021) os resultados de tendências negativas, ou seja, redução da precipitação em sua maioria causam diversos prejuízos principalmente em regiões que colaboram para a produção agrícola, em sua pesquisa enfatizou como a região do cerrado com longos veranicos podem sofrer com a diminuição do índice pluviométrico.

Figura 17. Tendência Climática Carolina



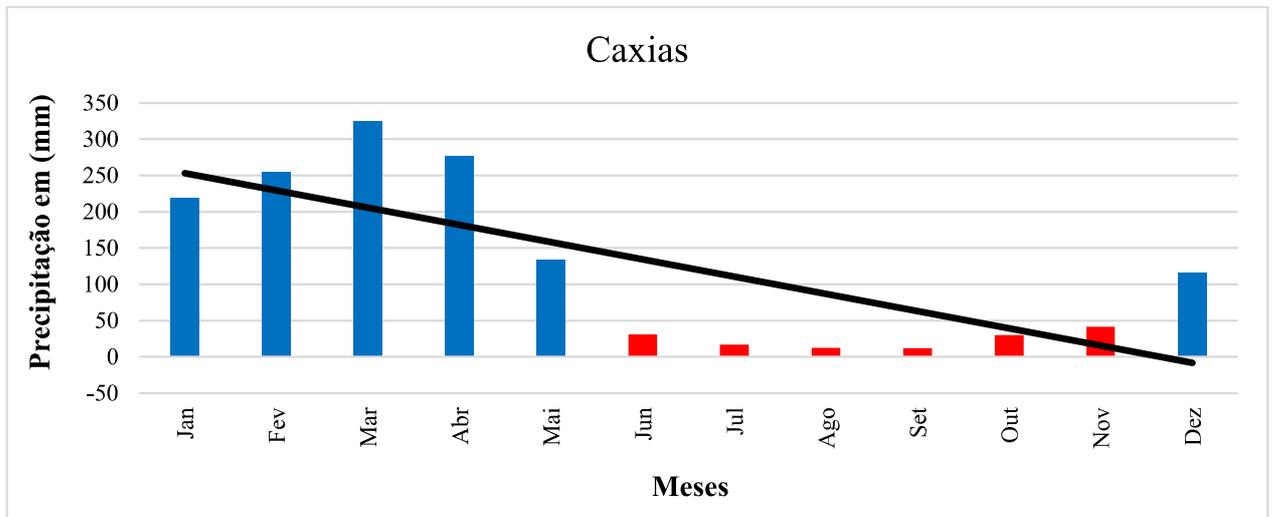
Fonte: Autora, 2022.

5.6 Análise Climatológica de Caxias

A estação de Caxias evidencia um quadro climatológico em que os 6 meses mais chuvosos são de janeiro a abril (Figura 18), os quais apresentam médias acima de 200 mm, dentre estes o mês com maior precipitação é março com 324 mm. Ao analisar os demais claramente nota-se a diminuição da precipitação com início em março, com média abaixo dos 150 mm se prolongando até dezembro, havendo destaque para setembro com média de 12, 21 mm.

Segundo Silva e Nunes (2018, p. 4) e Silva et al. (2021) a cidade de Caxias possui irregularidade pluviométrica que é uma das suas características locais, isso pode ser avaliado ao longo dos meses do ano. Os autores também associam essa variabilidade aos sistemas atmosféricos que atuam na região nordeste, afetando o regime de chuvas no estado do maranhão desencadeando assim a variabilidade das chuvas em Caxias.

Figura 18. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Caxias

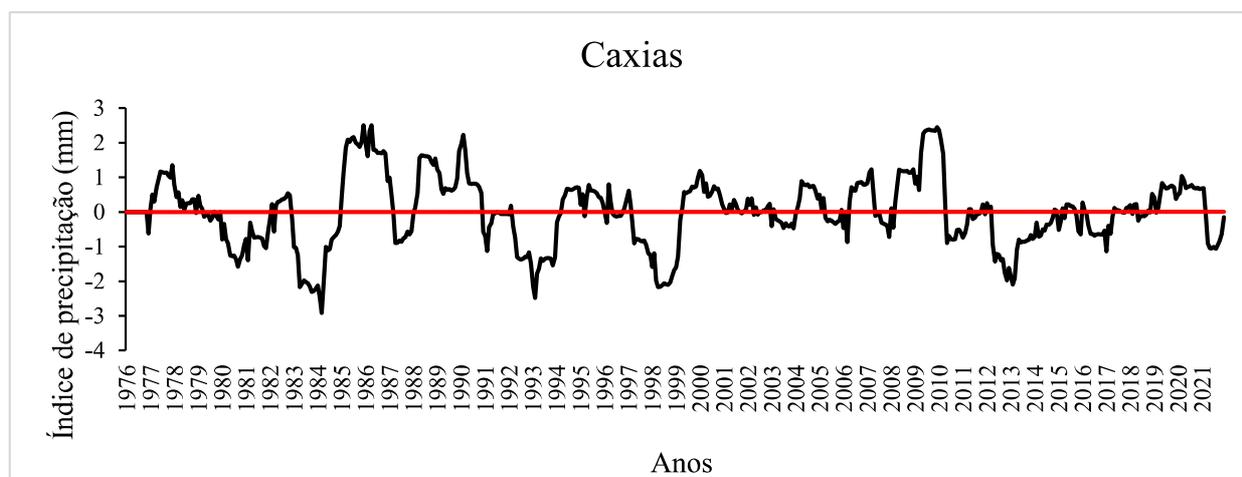


Fonte: Autora, 2022.

O SPI para Caxias evidenciou períodos de seca severa entre 1984 e 1985 (figura 19), com um índice extremamente seco de - 2,91 mm, no entanto também ocorreu em 1986 e 1987 o maior pico da série classificado como extremamente úmido com 2,50 mm. Nota-se poucos períodos de secas severas em Caxias, alguns deles bem pronunciados em 1993, outro entre 1998 e 1999, os mais recentes entre 2013 e 2014.

Em um dos estudos de Canamary (2015) aplicou a análise de SPI com intuito de realizar o monitoramento de secas no Nordeste, assim como também utilizou o método para a previsão de secas, por meio do índice tona-se possível prever esses eventos. Em outra pesquisa Canamary et al. (2015) puderam avaliar o desempenho de previsões do SPI em análises voltadas para a região do estado do Ceará.

Figura 19. Índice de Precipitação Padronizada de Caxias

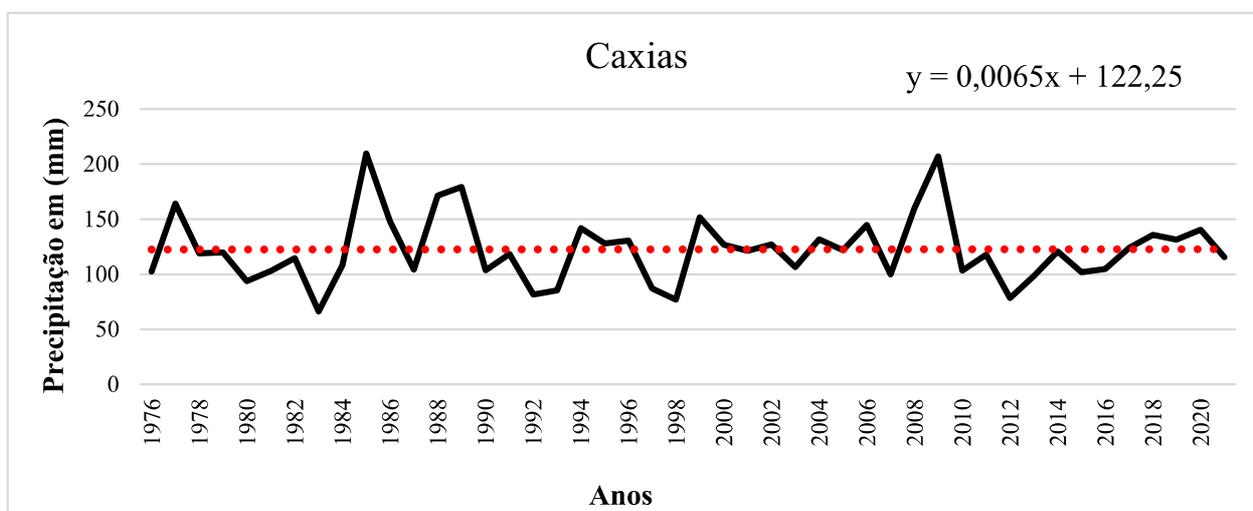


Fonte: Autora, 2022.

De acordo com a análise da série temporal (figura 20) no gráfico observou-se um pico negativo ocorrido em 1983, registrado com 66,22 mm, contudo, também foram evidenciados dois grandes picos de precipitação em 1985 com 209,59 mm e outro que aconteceu em 2009 com 207,18 mm. Na análise de tendências observa-se que em Caxias existem oscilações de precipitação que transitam de 50 mm e acima de 200 m, dessa forma notou-se a tendência interanual de 0,0064 mm/ano o valor positivo indica que a cada ano a precipitação na região aumenta, assim como a tendência analisada para a série toda também foi positiva confirmando que de 1987 a 2021 a precipitação teve aumento de 0,2976 mm.

Conforme destacam Rabelo et al. (2016), o pico ocorrido em 1985 pode ser considerado um caso isolado, pois não ocorreu novamente durante a série voltando apenas em 2009, quando as chuvas aumentaram notavelmente. Os autores associam tal ocorrência aos altos níveis de precipitação, a dinâmica da circulação atmosférica por toda a zona da costa do maranhão, que desempenha desequilíbrio na pluviometria do estado, por meio do padrão estabelecido nos oceanos Pacífico e Atlântico tropical foi característico de anos extremamente chuvosos: anomalia negativa da TSM, ocorrido em 2009.

Figura 20. Tendência Climática Caxias



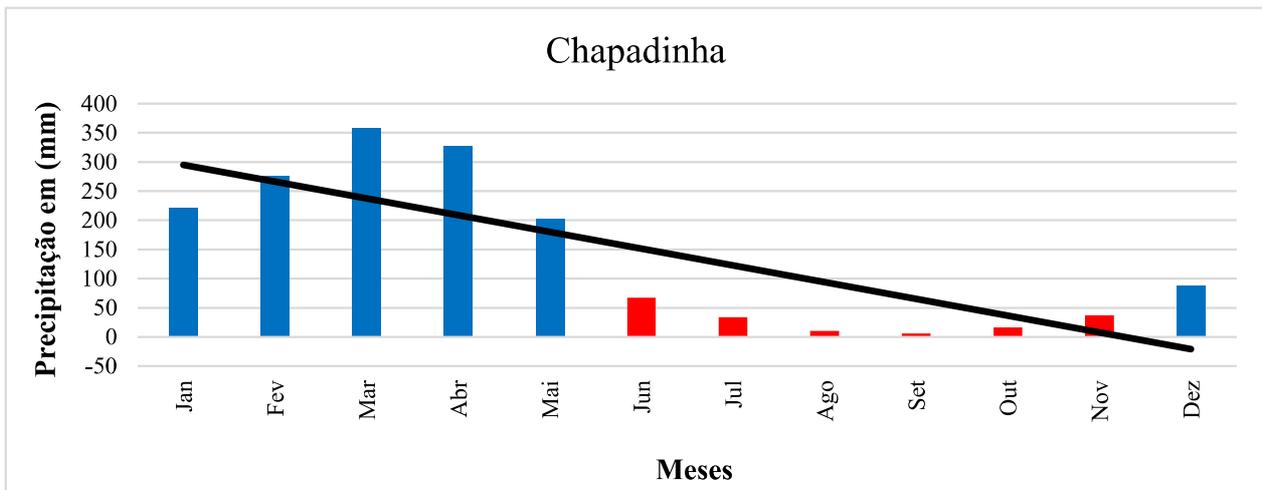
Fonte: Autora, 2022.

5.7 Análise Climatológica de Chapadinha

A região a qual a estação de Chapadinha pertence apresentou uma climatologia com a quadra chuvosa de janeiro a junho, sendo o mês de março o mês com maior índice mensal de precipitação de 358,39 mm e o segundo abril com 326,47 mm. Analisando o quadro climático de Chapadinha nota-se também que a região é dividida em uma estação mais chuvosa e ou menos provida de precipitação, sendo esta correspondente aos meses de junho a dezembro como observado (figura 21) ao qual o mês com menor presença de precipitação é o mês de setembro com 6,16 mm.

Acerca dos resultados acima de acordo com Passos et al. (2016) a estação de Chapadinha evidencia duas, a chuvosa a qual os autores em sua pesquisa enfatizam que se concentram a aproximadamente 84% do acumulado anual, aos quais os índices pluviométricos ultrapassam os 200 mm nos meses com chuvas mais intensas. Os meses com menores índices contribuem com somente 16% do total de chuva acumulada anualmente.

Figura 21. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Chapadinha

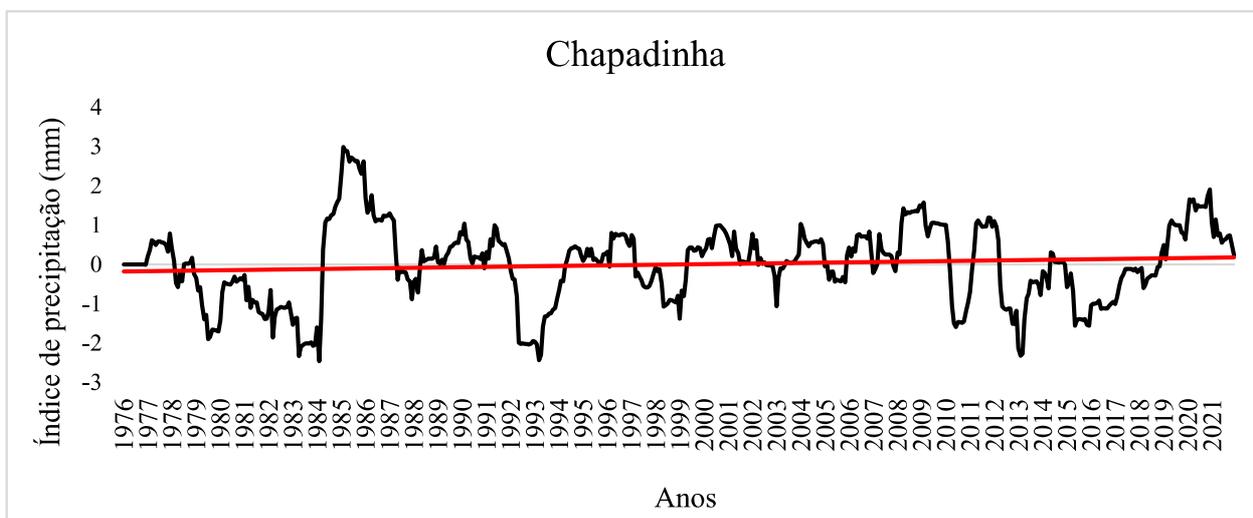


Fonte: Autora, 2022.

A cerca do SPI para a região de Chapadinha, observa-se que em relação a série disposta, ocorreram determinados períodos críticos de secas dentre esses períodos destaca-se o ano de 1984 que evidenciou uma queda na precipitação de -2,46 mm, extremamente seco, assim como em 1993 com -2,44 mm, e 2013 com -2,32, sendo estes os anos que mais sofreram secas (figura 22). Em contrapartida ao analisar os anos com maiores índices de precipitação assumiu-se que no período de 1985 a 1987 foram os anos mais úmidos, sendo exatamente o período com o maior pico de aumento no regime de chuva com cerca de 2,98 mm classificado como extremamente úmido.

Assim como Nogueira et al. (2012) puderam verificar a influência do El Niño provocando anomalias negativas no regime de chuvas em Chapadinha durante o verão.

Figura 22. Índice de Precipitação Padronizada de Chapadinha

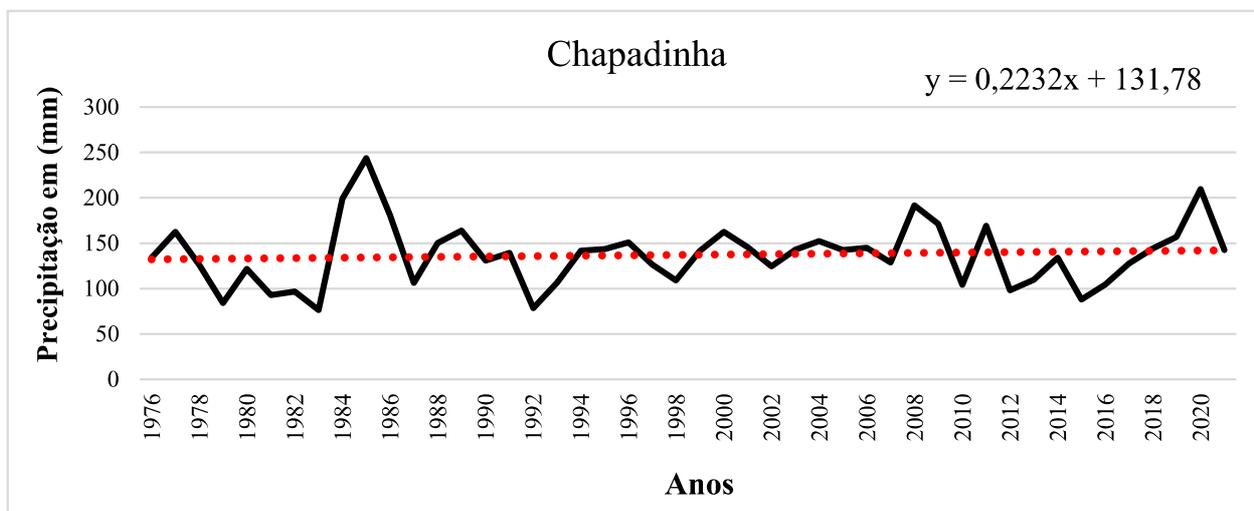


Fonte: Autora, 2022.

A respeito da análise de tendências para a Chapadinha observa-se na Figura 23 que um dos menores índices de precipitação se deu em 1983 com 76,28 mm em contrapartida o maior pico da série ocorreu em meados de 1985, com 243,70 mm, e nos anos seguintes se comportaram entre 80 mm e pouco mais de 200 mm, a tendência de Mann Kandall na série revelou tendencia positiva de 0,2231 mm/ano, ou seja, anualmente ocorreu aumento, ao considerar a série toda o aumento foi de 10,2667 mm

Os resultados positivos corroboram com os de Silva et al. (2016) que também utilizaram o teste de Mann Kandall obtiveram valores positivos, confirmando o aumento da precipitação em Chapadinha.

Figura 23. Tendência climática Chapadinha



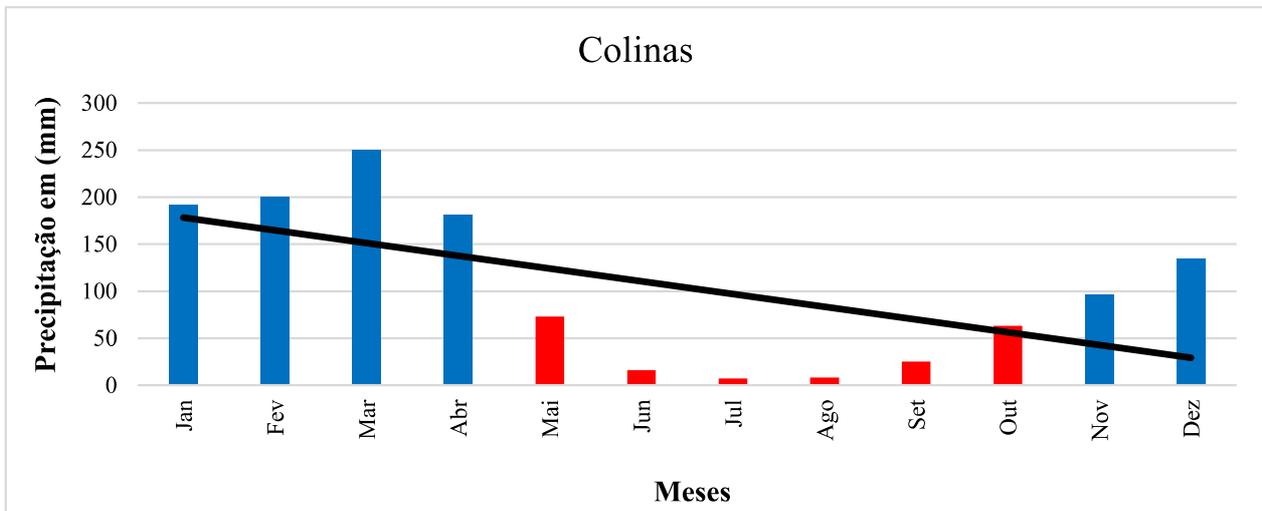
Fonte: Autora, 2022.

5.8 Análise Climatológica de Colinas

Colinas demonstrou um comportamento climatológico semelhante ao da estação de Barra do Corda, (figura 24) em que os meses mais chuvosos são de novembro a abril, nota-se que dentre os meses mais úmidos o que possui maior índice de precipitação é o mês de março com uma média de 250, 51 mm, em contrapartida o mês com o menor índice é o mês de junho com média correspondente a 7,22 mm.

Segundo Marques et al. (2021), as estações de Alto do Parnaíba, Balsas, Barra do Corda, Carolina, Colinas e Imperatriz, possuem semelhança em relação ao seu período chuvoso assim como o seu período de estiagem.

Figura 24. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Colinas

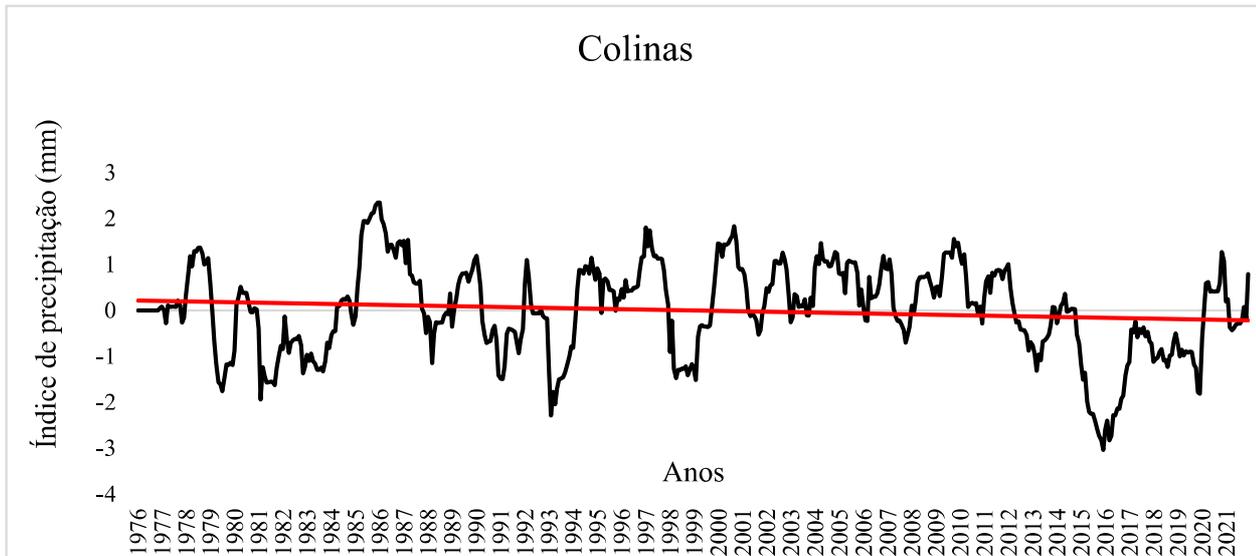


Fonte: Autora, 2022.

Levando em consideração a série de precipitação, o SPI (figura 25) para a estação de Colinas evidenciou períodos críticos, sendo estes alguns desses períodos o ano de 1993 classificado como extremamente seco com $-2,29$ mm outro período crítico que pode ser destacado ocorre no ano de 2016 que ultrapassa a seca mais antiga, chegando a $-3,04$ mm. Em relação aos períodos mais úmidos da série a análise revelou o ano de 1986 como extremamente úmido com $2,34$ mm e em segundo o ano de 2001 com $1,83$ mm, sendo estes os anos da série com índices acima da média.

Diante disso Silva et al. (2020) apontam que a variabilidade espaço-temporal do regime de chuvas total anual atribui características peculiares, associando os padrões do comportamento pluviométrico com as estações do ano bem como as anomalias climáticas, assim como as condições de relevo e vegetação não obstante a distância da região costeira do nordeste brasileiro.

Figura 25. Índice de Precipitação Padronizada de Colinas

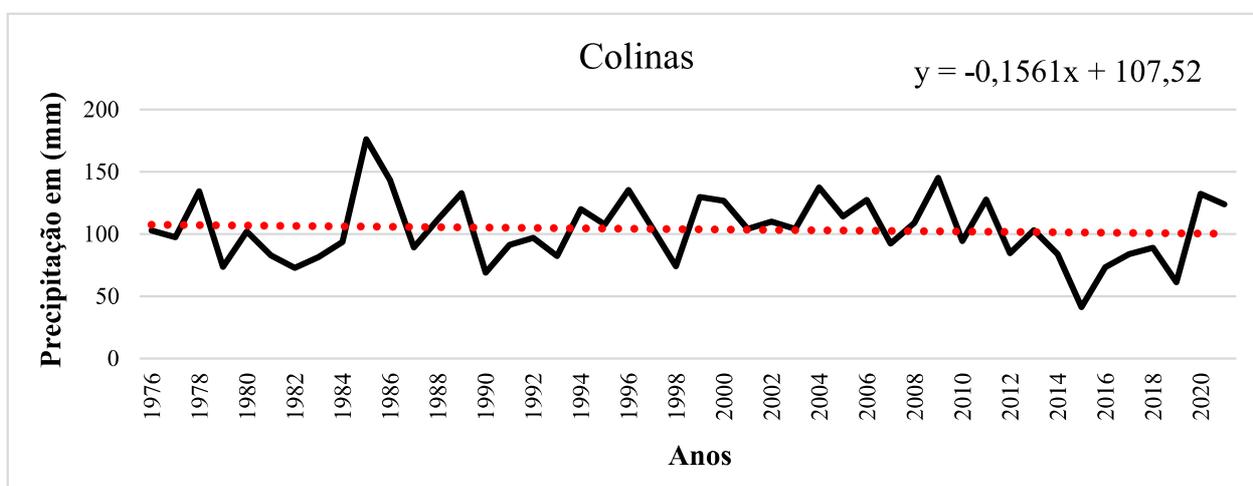


Fonte: Autora, 2022.

Colinas foi uma das estações que durante a análise apresentou índices de precipitação acima de 150 mm alguns anos que evidenciam seu comportamento de baixo índice pluviométrico pode ser visto no pico negativo de 2015 com uma queda de 41,33 mm, e mais uma vez em 2019 com 61,25 mm (Figura 26). Os maiores picos são vistos nos anos de 1985 com 176,13 mm e em 2009 com 145,2 mm. Com base na série histórica ao utilizar o método de Mann Kendall obteve-se um resultado de -0,1560 mm/ano e a série toda apresentou valor de -7,1798 mm.

Em Silva et al. (2016) o período seco analisado demonstrou comportamento de tendencia de precipitação com redução para a estação de Colinas.

Figura 26. Tendência Climática Colinas



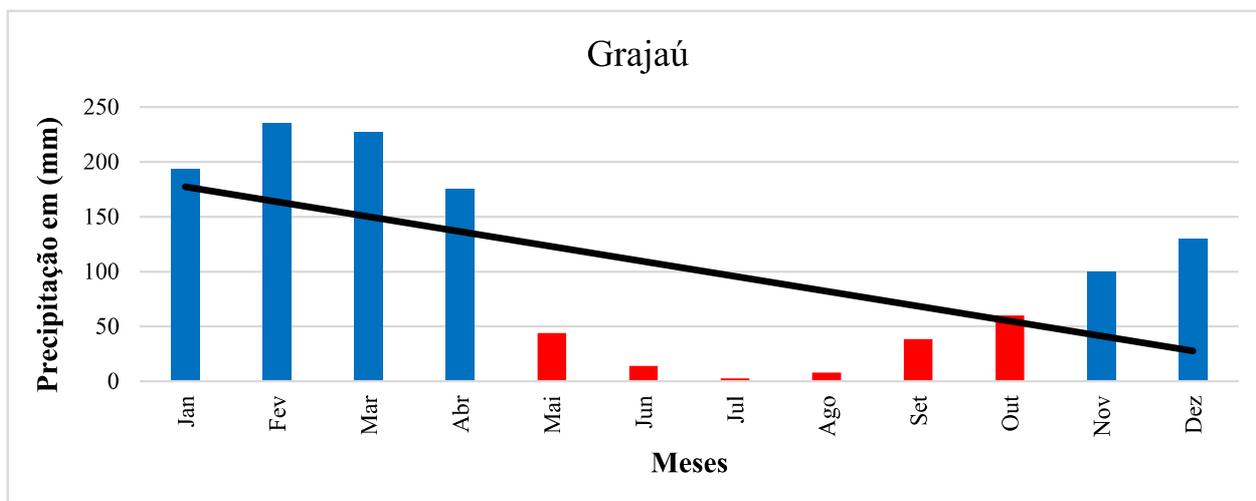
Fonte: Autora, 2022.

5.9 Análise Climatológica de Grajaú

A série analisada para a estação de Grajaú foi de 1976 a 1995, devido a defasagem dos dados as análises consistiram para esse período (figura 27). Grajaú apresentou em seus seis meses mais chuvosos de novembro a abril, sendo de janeiro a abril considerados a quadra chuvosa, pois ultrapassaram as médias mensais acima de 150 mm, o mês com maior índice pluviométrico foi fevereiro com 235,25 mm, em si tratando dos meses menos chuvosos foram os meses de maio a outubro, e o com chuvas mais escassas foi julho que obteve média de 2,56 mm.

Avaliando os resultados acima em relação à média climatológica nota-se que a precipitação possui certa contribuição para os corpos hídricos superficiais. Segundo Medeiros et al. (2018), o regime de chuvas auxilia na manutenção fluvial do rio Grajaú que é um curso de água que banha o estado do Maranhão, seu curso deságua no rio Mearim, um dos mais importantes do estado.

Figura 27. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Grajaú

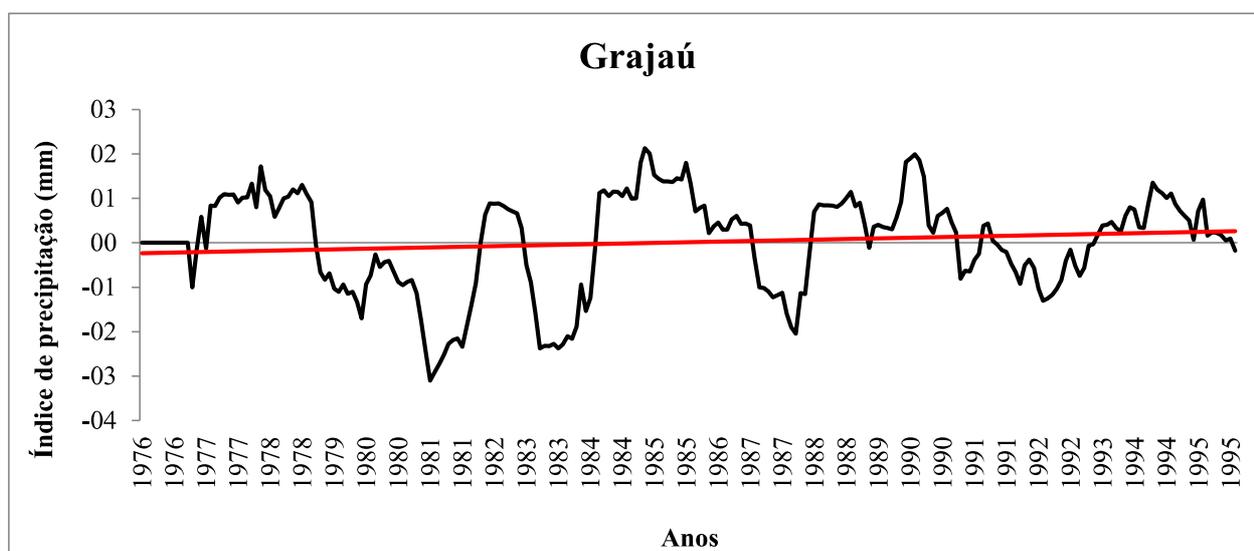


Fonte: Autora, 2022.

O SPI para a estação de Grajaú descreve o comportamento das séries com períodos extremamente secos, (figura 28), o ano considerado o mais crítico da série é o ano de 1981 com -3,09 mm, extremamente seco, em segundo o ano de 1987 com -2,04 mm, com relação aos anos que evidenciaram padrões altos de umidade foram 1985 com 2,00 mm extremamente úmido e 1990 com o índice de 1,99 mm severamente úmido. Os valores indicaram assim as secas e os anos mais úmidos dessa região durante o período que compreendeu 1976 a 1995.

Em Nascimento et al. (2017) ao analisarem o comportamento das secas no estado do Maranhão classificaram o período de 1987 a 2015 com maiores incidências de eventos secos, quanto ao período considerado os mais úmidos foram os anos de 1998/1999 e em 2000. Também enfatizam que eventos como El Nino (La Nina) atuaram no período analisado no Estado.

Figura 28. Índice de Precipitação Padronizada de Grajaú

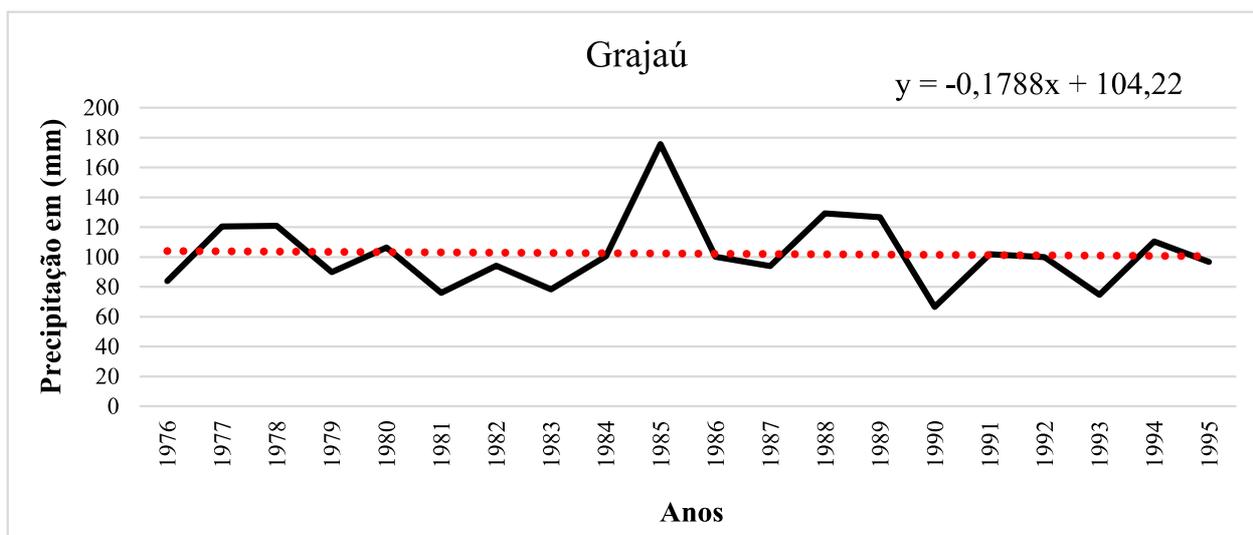


Fonte: Autora, 2022.

De acordo com a Figura 29 do início da série 1979 até 1995 Grajaú apresentou um pico positivo de precipitação em 1985 de 175,65 mm, e um pico negativo em 1990 com 66,51 mm corroborando com os mesmos períodos analisados pelo SPI. Ao aplicar a tendência de Mann Kendall foi obtido tendência interanual de -0,1788 mm/ano e a série toda obteve -3,5768 mm, ou seja, a estação de Grajaú apresentou diminuição em seu índice pluviométrico.

De acordo com Reboita et al. (2018) ao analisar o comportamento de tendências climáticas para o estado de Minas Gerais observou que o número de dias chuvosos diminuiu e a intensidade de eventos extremos como chuvas torrenciais de curto período aumentaram.

Figura 29. Tendência Climática Grajaú



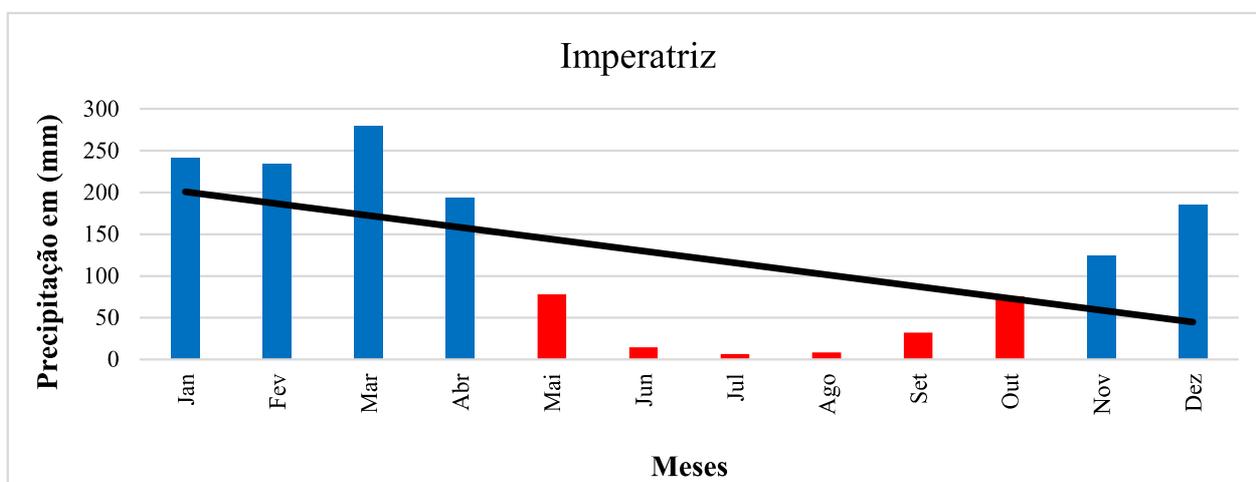
Fonte: Autora, 2022.

5.10 Análise Climatológica de Imperatriz

De acordo com a figura 30, a climatologia da estação meteorológica de Imperatriz demonstrou médias que configuraram os meses mais chuvosos como sendo de novembro a abril, durante sesses meses ocorreu uma variação de média que foram de 279,01 mm para o mês de março e 124,27 mm para o mês de novembro. Deste modo nota-se ainda no gráfico que os meses com maior escassez de chuvas são os meses de maio a outubro, em que o mês mais crítico é o mês de julho com média de 6,27 mm.

Conforme enfatizam Abreu Junior e Silva (2020) percebe-se que as variáveis meteorológicas influenciam na produtividade agrícola de Imperatriz, principalmente a precipitação. Ainda ressalta que a agrometeorologia é uma importante ferramenta para o melhor entendimento da dinâmica da produtividade dos cultivos agrícolas na região.

Figura 30 Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Imperatriz

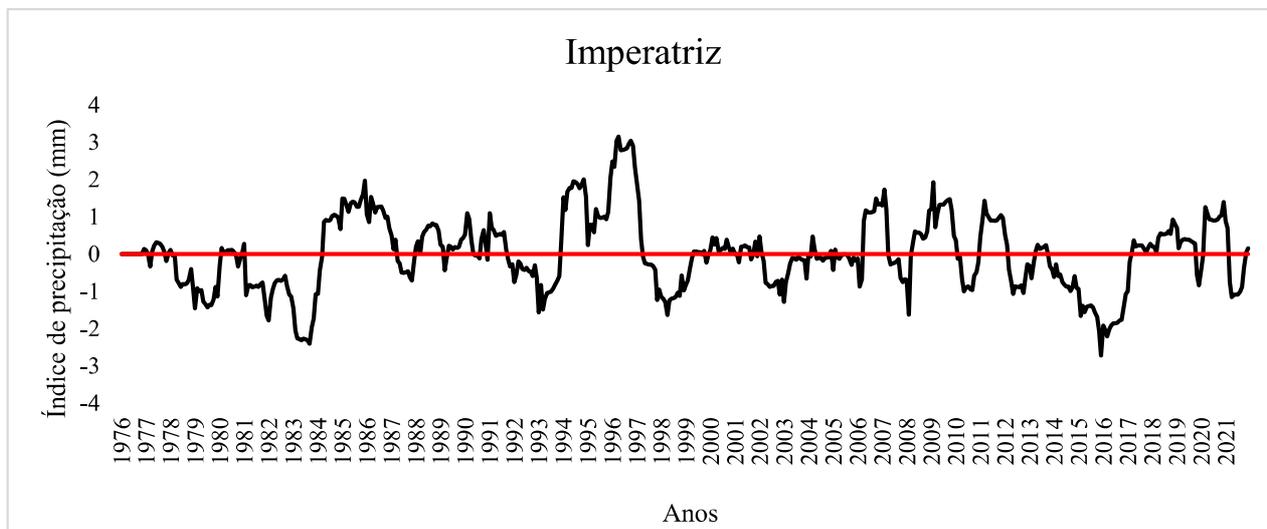


Fonte: Autora, 2022.

Para a análise do SPI referente a estação de Imperatriz percebe-se que durante a serie analisada apresentou uma queda de cerca de -2,40 mm esse período extremamente seco que ocorreu em meados de 1984, porém entre 1986 e 1987 ocorreu um aumento desse índice, o que acarretou em um período considerado severamente úmido de 1,96 mm, o maior pico de aumento de precipitação da série para Imperatriz foi em 1996, em que alcançou 3,14 mm extremamente úmido, e o maior pico negativo ocorreu em 2016 com -2,71 mm configurando assim um período extremamente seco nessa época (Figura 31).

Ao analisarem o SPI para a microrregião de Imperatriz Nascimento et al. (2015) observaram o SPI médio nas escalas de 3, 6 mm e 12 meses para o período de 1985 a 2013, também notaram que nos anos finais da série houve uma predominância de eventos extremos de seca em todas as escalas do SPI. Os eventos severamente e extremamente chuvosos (valores maiores que 1,5mm).

Figura 31. Índice de Precipitação Padronizada de Imperatriz

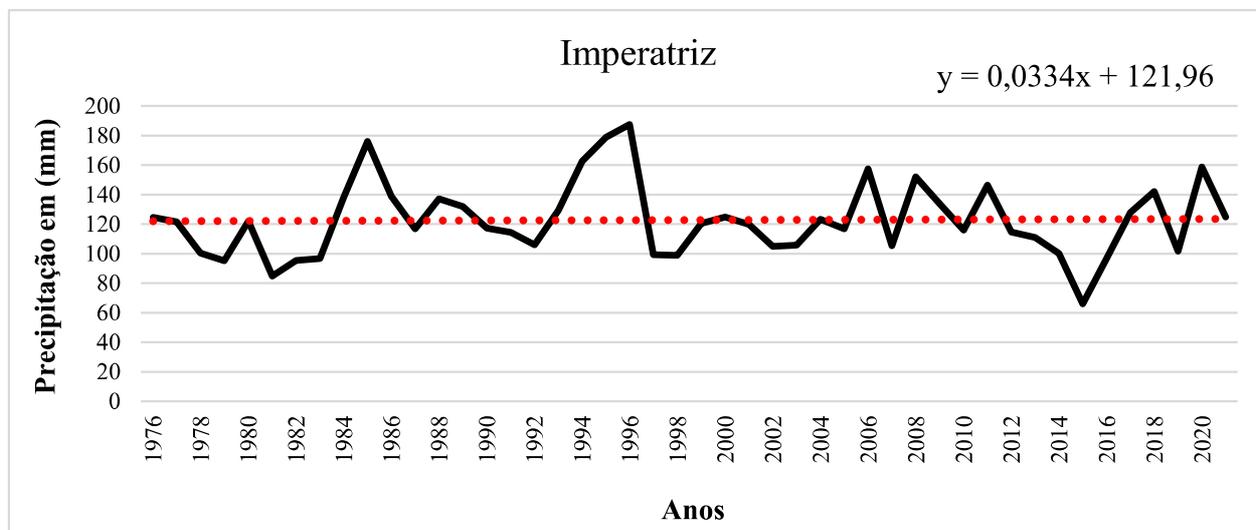


Fonte: Autora, 2022.

Conforme pode ser evidenciado (Figura 32), Imperatriz demonstrou dois picos positivos, o primeiro ocorreu em 1985 com 176,06 mm e o segundo o mais alto em 1996 com 187,50 mm em média a pluviometria de Imperatriz não registrou médias abaixo de 80 mm, exceto o ano de 2015 com 65,98 mm. Ao aplicar o teste de Mann Kandall na série foi obtido uma tendencia interanual de 0,0334 mm/ano e ao considerar a série toda a estação de Imperatriz teve uma tendencia de 1,5365 mm, com isso pode-se dizer que a precipitação está aumentando na região.

Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2016) quando ao submeterem a série de precipitação ao teste de Mann Kandall também detectaram a tendência anual positiva, configurando o aumento do índice pluviométrico em Imperatriz.

Figura 32. Tendência climática Imperatriz



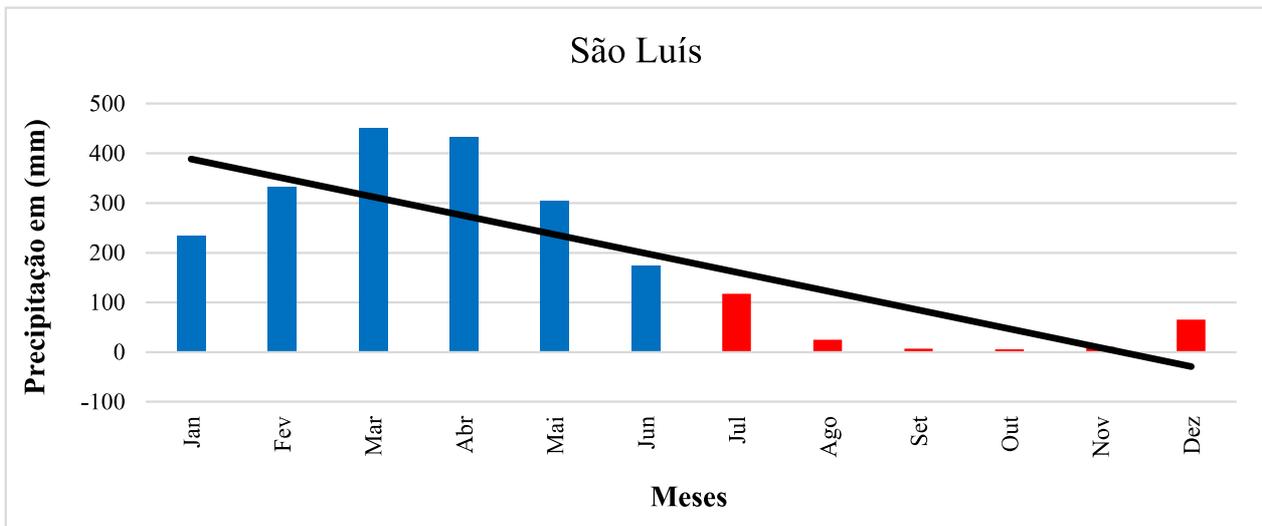
Fonte: Autora, 2022.

5.11 Análise Climatológica de São Luís

A climatologia da estação meteorológica de São Luís revela um comportamento de duas estações bem definidas, (figura 33), em que as médias mensais descrevem os seis meses mais chuvosos de janeiro a junho, estes seis meses por sua vez possuem variações de índices pluviométricos de 450,63mm em março a 172,53 mm, em junho. Em relação a estação mais seca do ano os meses de julho a dezembro revelam índices bastante baixos, em que o mês de outubro é tido como o mais seco com 5,76 mm.

A estação de São Luís foi uma das que apresentaram maiores medias mensais, Garcês Junior et al. (2020) analisaram o regime mensal de São Luís que compreendeu o período de 1987 a 2017 e evidenciam que durante essa série a estação apresentou episódios de precipitações intensas que culminaram nas médias mais elevadas em sua análise.

Figura 33. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de São Luís

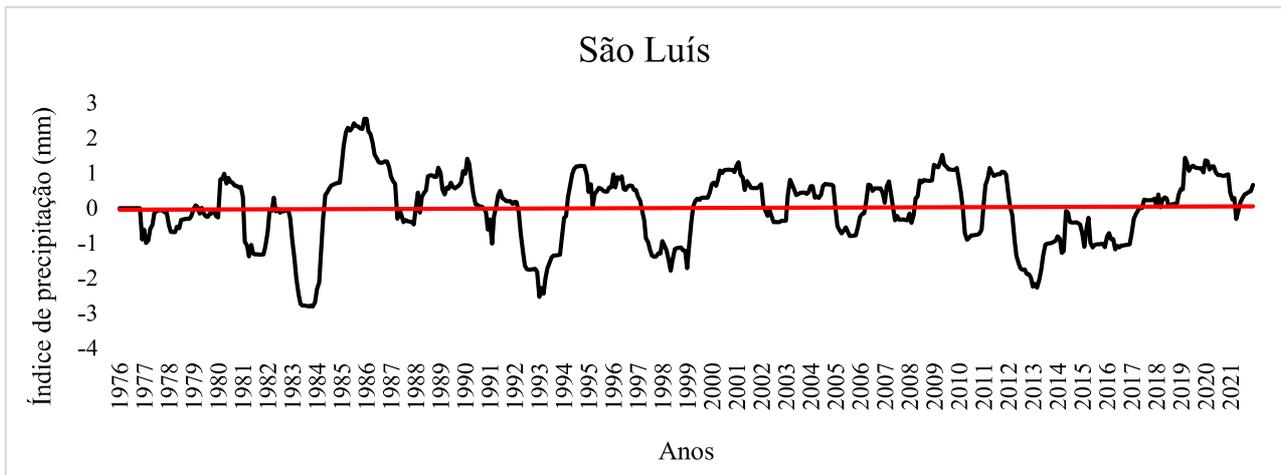


Fonte: Autora, 2022.

A cerca da análise de SPI (Figura 32) de acordo com a série, notou-se dois períodos considerados extremamente críticos em 1984 com um pico negativo de -2,80 mm extremamente seco e em outro período mais à frente no ano 1993 com -2,53 mm. A análise também revelou um pico positivo constatando o período mais úmido em 1986 com 2,54 mm considerado extremamente úmido o mais alto da série.

Anomalias positivas e negativas foram notados por Silva et al. (2021) quando analisou a precipitação da região hidrográfica do Rio São Francisco, os autores identificaram as ocorrências de diminuição de índices de precipitação, assim como puderam identificar os períodos críticos atingidos por eventos de seca.

Figura 34. Índice de Precipitação Padronizada de São Luís

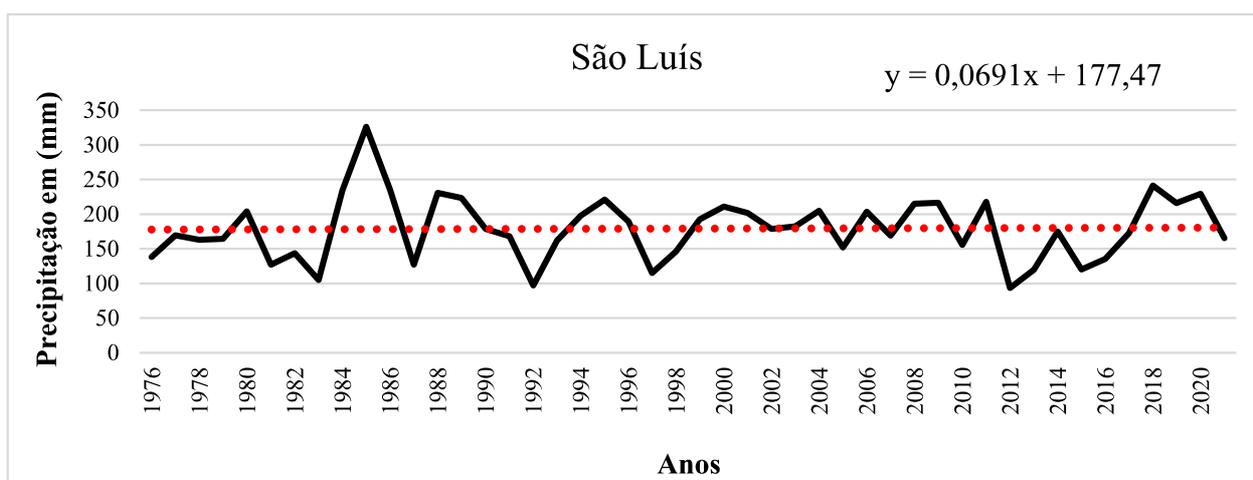


Fonte: Autora, 2022.

Avaliando o comportamento anual da precipitação para São Luís (figura 35) nota-se que ocorreu o maior pico positivo em 1985 em que alcançou cerca de 326,38 mm, por outro lado o pico negativo se deu no ano de em 2012 com 93,38 mm. A análise de tendências demonstrou um valor interanual de 0,0690 mm/ano, e a série todo teve 3,1778 mm, o resultado positivo implica dizer que a precipitação vem aumentando ao longo dos anos.

Segundo Costa (2021) utilizando o teste de Mann Kendall encontrou tendência positiva para a estação de São Luís, sendo em sua pesquisa uma das capitais do Nordeste com detecção de aumento de precipitação

Figura 35. Tendência Climática São Luís



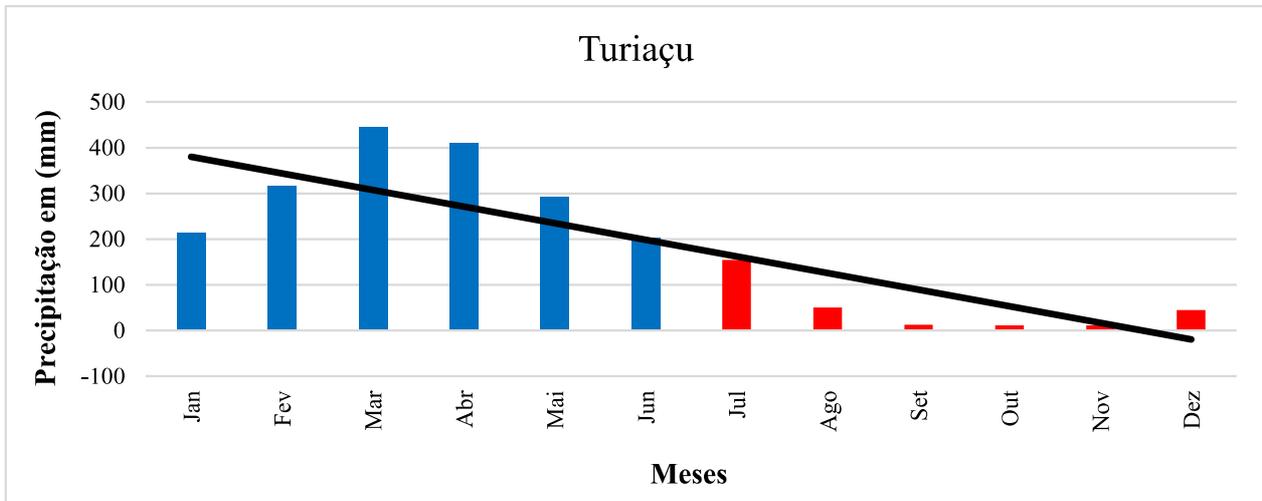
Fonte: Autora, 2022.

5.12 Análise Climatológica de Turiaçu

A estação de Turiaçu exibe comportamento semelhante a São Luís, com duas estações bem definidas (figura 36). Os seis meses mais chuvosos são de janeiro a junho, sendo o mês de março o mais chuvoso com índice pluviométrico de 445,14 mm, enquanto os seis meses seguintes se enquadram como os mais secos, com o mês de novembro com 11,57 mm.

Os resultados das médias climatológicas acima corroboram com os resultados encontrados por Passos e Mendes (2018) que observaram a precipitação mensal e anual para a estação de Turiaçu.

Figura 36. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Turiaçu

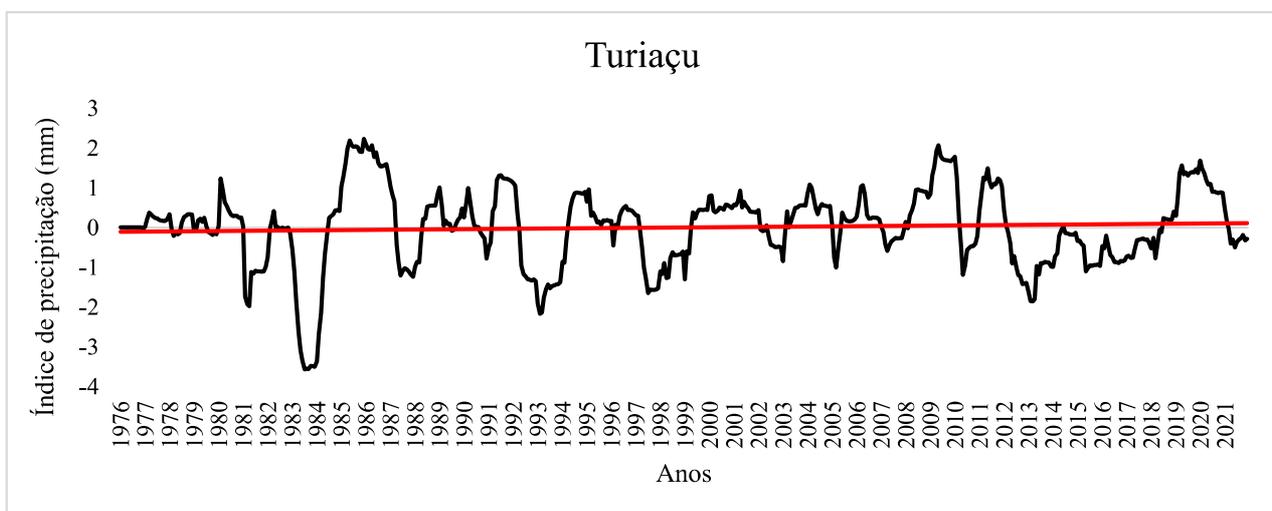


Fonte: Autora, 2022.

Aplicando o SPI na série de precipitação para Turiaçu (figura 37), notou-se que entre 1983 e 1984 ocorreu um período extremamente seco de -3,56 mm, extremamente seco, um pico positivo foi registrado em 1985 com 2,18 mm, extremamente úmido e novamente uma queda entre 1993 e 1994 com -2,12 mm cerca de 10 aos, depois ocorreu o mesmo comportamento entre 2013 e 2014 com -1,85 mm.

No tocante dos resultados acima em Passos et al. (2018) identificaram que a precipitação alcançou níveis elevados em 1985, e os menos índices ocorreram em 1983.

Figura 37. Índice de Precipitação Padronizada de Turiaçu

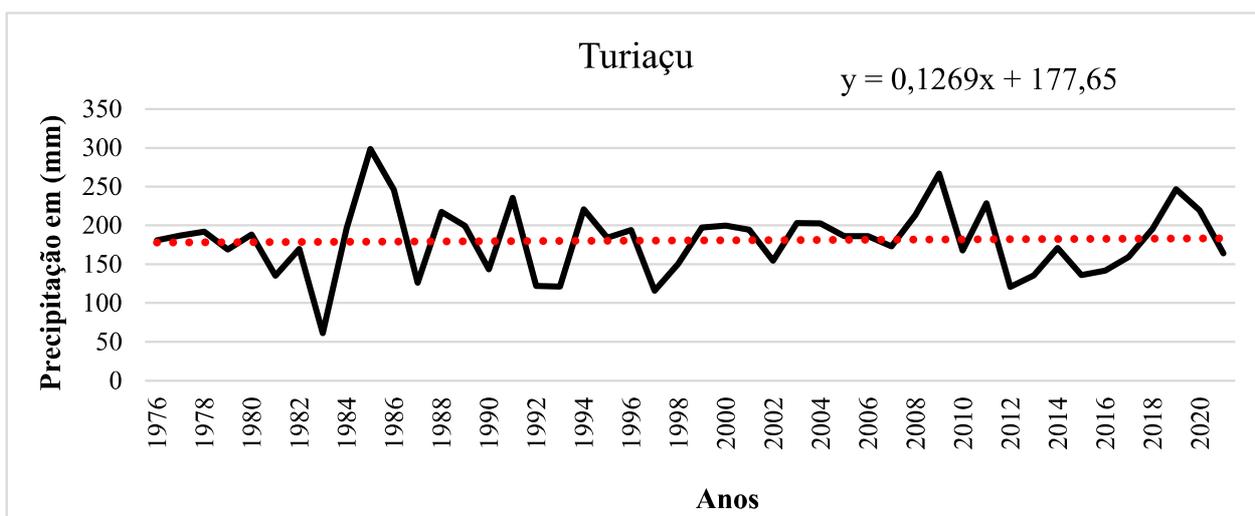


Fonte: Autora, 2022.

De acordo com a figura 38, a estação de Turiaçu evidenciou em sua série um pico negativo em 1983 com 61,15 mm seu maior pico ocorreu posteriormente em 1985 com 298,26 mm. Quando aplicado análise de tendência de Mann Kendall foi encontrado 0,1268 mm/ano interanual e para a série toda 5,8354 mm dessa forma percebe-se o aumento do índice pluviométrico para a região e Turiaçu.

Conforme apontado por Rabelo et al (2016) em sua análise geral da série estudada, o método de Mann Kendall apresentou tendência positiva, para a estação de Turiaçu.

Figura 38. Tendência Climática Turiaçu



Fonte: Autora, 2022.

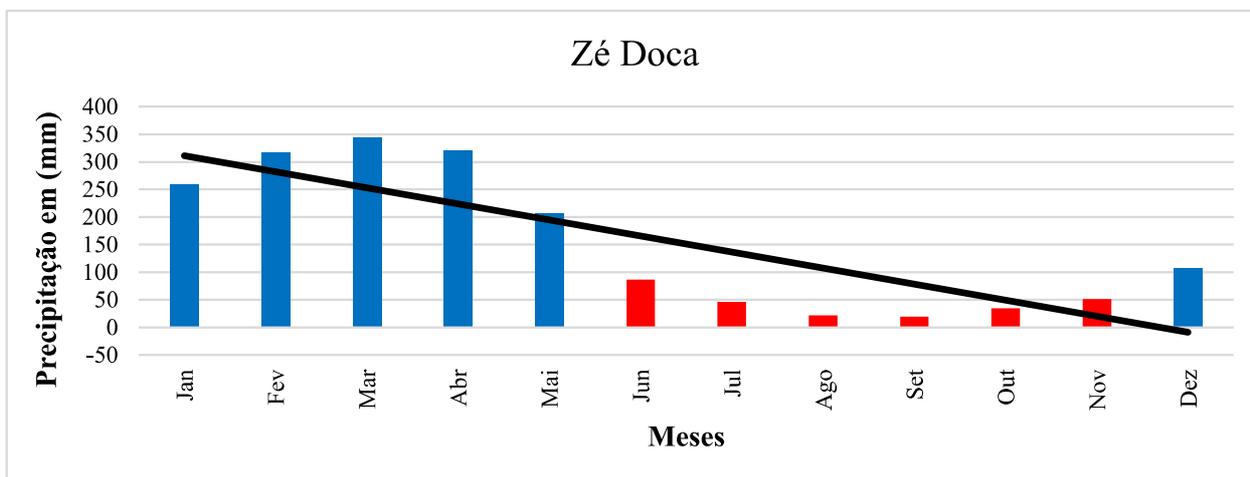
5.13 Análise Climatológica de Zé Doca

O regime de chuvas para a estação meteorológica de Zé Doca (Figura 39), evidencia os meses com maior índice pluviométrico de dezembro a maio, ao qual o mês caracterizado como o mais chuvoso é março com 343,41 mm, quanto aos meses menos favorecidos pela precipitação são os meses de junho a novembro, conforme pode ser visto o mês com índice inferior aos demais é setembro com 19,38 mm.

De acordo com Sousa (2021) a estação de Zé Doca tem duas estações bem definida, o autor ainda salienta que em sua análise por meio do balanço hídrico

meteorológico a estação é marcada por grandes déficits hídricos como observado na série temporal de 1985 a 2020.

Figura 39. Média climatológica estação seca e chuvosa da estação meteorológica de Zé Doca

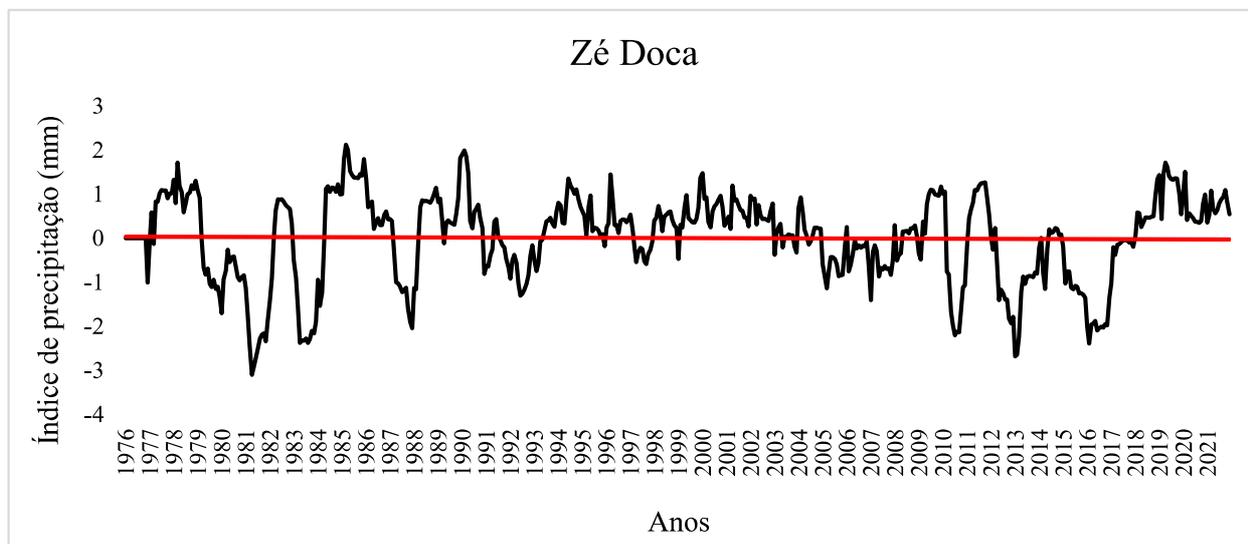


Fonte: Autora, 2022.

O SPI para a estação de Zé Doca apresentou em sua série períodos críticos, (Figura 40), um dos períodos extremamente secos foram nos anos de 1981 com -3,00 mm extremamente seco, e mais tarde em 2013 com -2,67 mm. Contudo, os períodos considerados úmidos ela presença de precipitação teve pico expressivos nos anos de 1985 com 2,12 mm extremamente úmido e em 1990 com 1,99 mm severamente úmido.

Para Da Silva et al. (2020) o conhecimento em relação a extremos climáticos é imprescindível, pois por meio das ferramentas é possível avaliar quantitativamente os eventos sejam de secas ou mais chuvosos em que a região leste vem sofrendo ao longo dos anos, e o SPI em sua pesquisa foi de grande auxílio na detecção desses eventos.

Figura 40. Índice de Precipitação Padronizada de Zé Doca

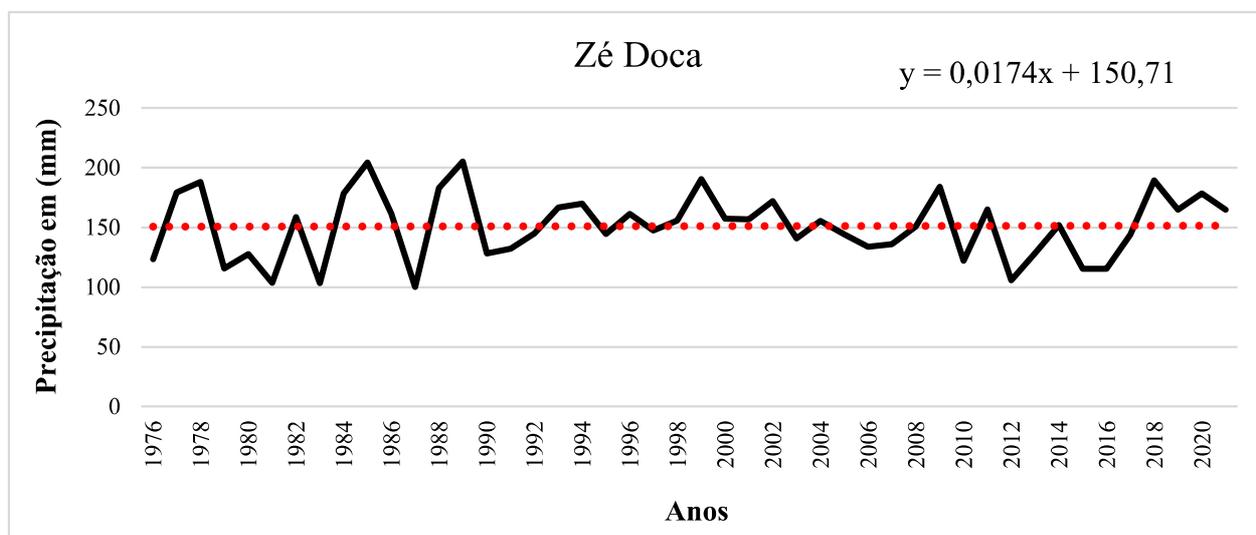


Fonte: Autora, 2022.

Ao analisar a figura 41, nota-se o comportamento anual da precipitação e oscilação da precipitação em diversos períodos, um dos picos positivos ocorreu em 1985 com 204,31mm e mais tarde um comportamento parecido em 1989 com 205,24 mm. Os picos negativos mais expressivos ocorreram em meados 1987 com 100,06 mm e em 2012 com 105,69 mm. A tendência interanual encontrada foi de 0,0174 mm/ano e a série toda com o valor de 0,8025 mm demonstrando o aumento da precipitação em Zé Doca.

Para Santos et al. (2021) a estação de Zé Doca é considerada como chuvosa devido os seus altos índices de precipitação se comparadas suas médias com as de outras estações do estado. Os autores associam essa característica a proximidade de zona costeira.

Figura 41. Tendência climática Zé Doca



Fonte: Autora, 2022.

5.1.1 Análise de Tendências de Man Kendall e Krigagem dos dados

Na tabela 3 é possível avaliar o comportamento da precipitação com base nas estações meteorológicas do estado do Maranhão, bem como verificar o regime pluviométrico ao longo dos anos. O método de Mann Kendall demonstrou com base na série como cada estação meteorológica reduziu ou teve aumento de precipitação. As estações com maiores índices interanuais foram Carolina, e Chapadinha, com 0,3357 mm/ano e 0,2231 mm/ano, respectivamente, e com significância estatística pelo teste T-student, demonstrando aumento em seu índice pluviométrico. No caso das estações com status de redução tendência interanual são Colinas com -0,1560 mm/ano e Alto Parnaíba com -0,4956 mm/ano com significância estatística pelo teste T-student. Contudo podemos observar que a estação de Grajaú, foi a localidade que não apresentou teste t com significância, em função de apresentar uma série temporal menor, em relação as outras localidades, fazendo com que não haja dados suficiente para comparação das medias. Dessa forma percebe-se que estações sofrem com a redução das chuvas entre um ano e outro.

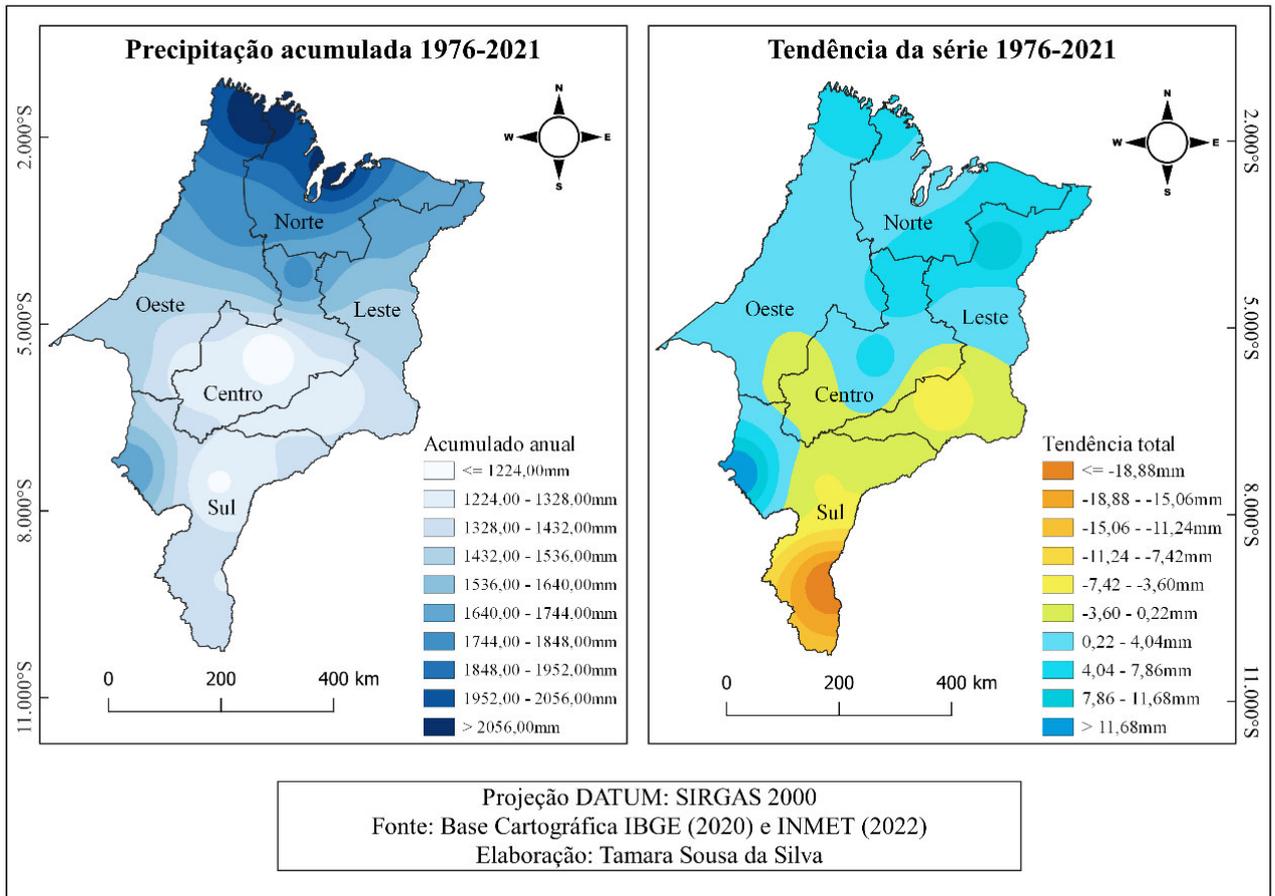
Tabela 3. Tendências nas séries das variáveis meteorológicas

Cidade	Tendência Interanual	Tendência para toda série	Situação da Tendência	Teste T
Alto Parnaíba	-0,4956 mm/ano	-22,7991 mm	Diminuindo	Com significância
Bacabal	0,1582 mm/ano	7,2789 mm	Aumentando	Com significância
Balsas	-0,0839 mm/ano	-3,8613 mm	Diminuindo	Com significância
Barra do Corda	0,1213 mm/ano	5,5836 mm	Aumentando	Com significância
Carolina	0,3357 mm/ano	15,4462 mm	Aumentando	Com significância
Caxias	0,0064 mm/ano	0,2976 mm	Aumentando	Com significância
Chapadinha	0,2231 mm/ano	10,2667 mm	Aumentando	Com significância
Colinas	-0,1560 mm/ano	-7,1798 mm	Diminuindo	Com significância
Grajaú	-0,1788 mm/ano	-3,5768 mm	Diminuindo	Sem significância
Imperatriz	0,0334 mm/ano	1,5365 mm	Aumentando	Com significância
São Luís	0,0690 mm/ano	3,1778 mm	Aumentando	Com significância
Turiação	0,1268 mm/ano	5,8354 mm	Aumentando	Com significância
Zé Doca	0,0174 mm/ano	0,8025 mm	Aumentando	Com significância

Fonte: Autora, 2022.

Conforme a espacialização dos resultados de acumulados de precipitação e comportamento de tendências pelo método de Mann Kendall, com base em todas as estações meteorológicas do Maranhão, pode-se observar o quadro do regime pluviômetro por divisão regional (Figura 42).

Figura 42. Precipitação acumulada e tendência total para as mesorregiões do Maranhão



Fonte: Autora, 2022.

Observa-se na figura 42 as regiões com os maiores acumulados estão localizadas na parte litorânea do estado em uma distribuição entre as regiões norte, leste e oeste maranhense acima. As tendências apresentadas em negativo são em cores alaranjadas, localizadas nas mesorregiões sul, parte do oeste, centro e leste maranhense, caracterizando a redução da precipitação nessas mesorregiões do estado. As regiões com valores positivos estão representadas em azul, descrevem o comportamento de aumento de precipitação de acordo com a interpolação.

6. CONCLUSÃO

A série temporal analisada de 1976 a 2021 demonstrou o comportamento da precipitação no estado de acordo com as tendências climáticas. Na região sul do estado tem-se a ocorrência de decréscimo do regime pluviométrico ao longo dos anos. Para as regiões próximas do litoral foi detectado aumento do volume precipitado conforme apontado pelas tendências na série.

O estado passou por períodos críticos em relação a secas, ficando nítida a importância da avaliação do SPI, principalmente para melhor entender em quais períodos ocorreram as secas, bem como os períodos mais úmidos em cada região.

Em suma, as ferramentas utilizadas na pesquisa demonstraram eficiências aos objetivos almejados, mas também para públicos como produtores que necessitam de informações sobre as regiões com as melhores condições pluviométricas, para maiores níveis de produtividade. Assim como também serve como embasamento para a tomada de decisão do poder público, considerando a investigação das secas e de períodos extremamente úmidos que causam cheias e alagamentos, e para que assim possam ser empregadas medidas mitigadoras com ações atenuantes à problemática ligada a gestão pública.

REFERÊNCIAS

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. **Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables**. New York: Dover, 1965. 1046 p

ABREU JUNIOR, A. M., SILVA, J. Agrometeorologia como suporte ao manejo dos cultivos agrícolas no município de Imperatriz–MA. Anais do Congresso Simpósio de Ciências Agrárias e Ambientais. 2020.

AGUIAR, J. T. DE; LOBO JR., M. Reliability and discrepancies of rainfall and temperatures from remote sensing and Brazilian ground weather stations. Remote Sensing Applications: **Society and Environment**, v. 18, p. 100301, abr. 2020

ALMEIDA JÚNIOR, G. R. Metodologia para subamostragem em grandes bancos de dados amostrais complexos para realização de testes de hipóteses. 2017. ii, 73 f., il. Dissertação (Mestrado em Estatística) Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ANDRADE, M. D. M., LIMA, K. K. Projeção climática da frequência de eventos de precipitação intensa no Nordeste do Brasil: resultados preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 6 (5), 1158-1173. 2013.

ARAÚJO, S. O., CARDOSO, T S. S. R., BRITO, K. H. Variabilidade pluviométrica, produção de arroz e percepção de agricultores no município de Caxias/Ma. **Acta Geográfica**, v. 15, n. 39, 2021.

ASSAD, E. D., MACEDO, M. A. D., ZULLO JÚNIOR, J., PINTO, H. S., BRUNINI, O. Avaliação de métodos geoestatísticos na espacialização de índices agrometeorológicos para definir riscos climáticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.38, n. 2, p.161-171. 2003.

ASSIS, J.M.O.; SOUZA, W.M.; SOBRAL, M.C.M. Climate analysis of the rainfall in the lower-middle stretch of the São Francisco river basin based on the rain anomaly index. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 2, p. 188-202, 2015.

BARBOSA, J. P. M. Utilização de método de interpolação para análise e espacialização de dados climáticos: o SIG como ferramenta. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 17, p. 85-96, 2006.

BASTIANIN, A., LANZA, A., MANERA, M. Impactos econômicos da oscilação sul do El Niño: evidências do mercado cafeeiro colombiano. **Economia agrícola**, v. 49, n. 5, pág. 623-633, 2018.

BETTIOL, G. M. **Conformidade entre dados biofísicos orbitais e terrestres para o zoneamento agroclimático, identificação espaço-temporal de tendências de precipitação e suas relações com uso e cobertura da terra no bioma cerrado**. 2021. 199 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

BLANK, D. M. P. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, p. 157-172, 2015.

BODAS T. P. M. D., OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. D., GÓIS, G. D., GALVANI, E. Variabilidade do índice de precipitação padronizada na região norte do estado do Paraná associada aos eventos de El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 11-25, 2018.

BODAS TERASSI, P. M. D., OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. D., GÓIS, G. D., GALVANI, E. Variabilidade do índice de precipitação padronizada na região norte do estado do Paraná associada aos eventos de El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 11-25, 2018.

CABALLERO, C. B., OGASSAWARA, J. F., DORNELES, V. R., NUNES, A. B. A precipitação pluviométrica em Pelotas/RS: tendência, sistemas sinóticos associados e influência da ODP (The rainfall in Pelotas/RS: trend, associated synoptic systems and PDO influence). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1429-1441, 2018.

CABRAL JÚNIOR, J. B., LUCENA, R. L. Análises estatísticas da precipitação e temperatura do ar em ambientes semiáridos. **Revista Entre-Lugar**, 12(24), 170–191, 2021.

CANAMARY, E. A. **Avaliação de índices para fins de monitoramento e previsão de secas no Nordeste setentrional**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-174/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 133p.

CANAMARY, E. A.; REIS JUNIOR, D. S.; MARTINS, E. S. P. R. Evaluation of Ensemble SPI Forecasts for Ceará, Northeastern Brazil. In: International Conference on Drought: Research and Science-Policy Interfacing, 2015, Valencia. **Drought: Research and Science-Policy Interfacing**. Londres: CRC Press, 2015. 245-250.

CARVALHO, I. C. D. H. Análise de recorrências de eventos de desastres naturais com base no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) e séries históricas de precipitação no Brasil: uma contribuição metodológica. 2018.

CENCI, D. R.; LORENZO, C. A mudança climática e o impacto na produção de alimentos: alguns elementos de análise da realidade brasileira e argentina. **Revista Direito em Debate**, v. 29, n. 54, p. 32–43, 13 nov. 2020.

CERQUEIRA, H. Avaliação mensal de chuva: janeiro de 2021. Disponível em <https://www.nugeo.uema.br/?p=29042>. Acesso em: 16 jun. 2022.

CORREIA FILHO, F. L., GOMES, É. R., NUNES, O. O., LOPES FILHO, J. B. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Carolina**. CPRM, 2011.

COSTA NETO, F. A., MEDEIROS, R. M., SOUSA, E. P. OLIVEIRA, R. C. S. Balanço hídrico como planejamento para a cidade de Olivedos-PB. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, CONTECC. Centro de Convenções Atlantis City – Teresina, 2014.

COSTA, P. C. de S. **Análise da média e da tendência das precipitações horárias das capitais do Nordeste brasileiro**. 2021. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação

em Engenharia Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio grande do Norte, Natal, 2021

DA SILVA, D. F., LIMA, M. J. S., SOUZA NETO, P. F., GOMES, H. B., SILVA, F. S., ALMEIDA, H. R. R. C., COSTA, R. L. Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 449-464, 2020.

DOMINGOS, S. I. S. **Análise do índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI)**. 2006. 62 p. Tese (Licenciatura em Meteorologia) - Universidade de Lisboa, Portugal.

DORNELES, V. R., RIQUETTI, N. B., NUNES, A. Forçantes dinâmicas e térmicas associadas a um caso de precipitação intensa sobre o Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.

ELY, D., DUBREUIL, V. Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná–Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

EMBRAPA. Relatório do diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico do Estado do Maranhão. Campinas, SP: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. 324 p.

EM-DAT. CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED). The human cost of weather related disasters 1995-2015. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, Volume 2, Número 2, p. 47-62, janeiro/junho, 2021. ISSN: 2675-9748, 2015.

FERREIRA, F. E. P., LOPES, J. R. F., NERY, A. R. Análise espacial das tendências climáticas e sua influência na agricultura irrigada no Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, p. 602-625, 2021.

GARCÊS JÚNIOR, A. R.; BRASILEIRO, F. M. G.; BARBOSA, L. N.; ZANELLA, M. E. Análise comparativa dos eventos pluviométricos intensos em Fortaleza/CE e São Luís/MA no período de 1987 a 2017. **Geo UECE (online)**, v. 09, n. 17, p. 70-86, 2020.
GORE, A. Terra em Balanço. São Paulo: Editora Augustus, 1993

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/normais-climatol%C3%B3gicas>. Acessado em: 20 de junho de 2022.

IPCC: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. QIN, D.J. DOKKEN, K.L. EBI, M.D. MASTRANDREA, K.J. MACH, G.-K. PLATTNER, S.K. ALLEN, M. TIGNOR, P.M. MIDGLEY. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012, 582 pp.

JACOBI, P. R., SULAIMAN, S. N. Governança ambiental urbana em face das mudanças climáticas. **Revista USP**, n. 109, p. 133-142, 2016.

- KIST, A., GEBERT, D. M. Análise preliminar da influência do fenômeno ENOS na precipitação no Paraná no período de 1974 a 2020. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 8, n. 1, 2021.
- LEÃO, H. C. R. S.; JÚNIOR, A. S. B. Perfil Econômico do Maranhão. **Diário Econômico do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste**, v. 3, p. 1–27, 2018.
- LEÃO, I. Z. C. C.; GIRARDI, L. R. O pensamento ambiental de Al Gore. **Economia & Tecnologia**, v. 22, p. 129-136, jun/set. 2010.
- LIMA, D. M. C. D., NUNES, M. D., MARIANO, G. L. Impacto do ENOS na Variabilidade da Coluna Total de Ozônio Sobre a Região Nordeste do Brasil-Parte 1: El Niño Canônico e Modoki. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 931-944, 2021.
- LIMA, M. T. V., OLIVEIRA, C. W. Validação estatística dos dados climáticos disponíveis na plataforma Climate-Data. Org para o Estado do Ceará. **Revista Geama**, v. 7, n. 2, p. 13-20, 2021.
- LÜ, M., JIANG, Y., CHEN, X., CHEN, J., WU, S., LIU, J. Spatiotemporal Variations of Extreme Precipitation under a Changing Climate in the Three Gorges Reservoir Area (TGRA). **Atmosphere**, v. 9, n. 1, p. 24, 2018.
- MAGERSKI, J. M., VIRGENS FILHO, J. S. Avaliação da técnica de krigagem ordinária utilizando o modelo geoestatístico estável no preenchimento de falhas de séries de precipitação pluviométrica nas sub-bacias hidrográficas localizadas em regiões de classificação climática distintas no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 2149-2171, 2021.
- MAMED, D. D. O., MARCHESAN, J., BAZZANELLA, S. L. Natureza e desenvolvimento: questões para uma sociedade sustentável. - São Paulo, SP: **Editora Liber Ars**, 2020.
- MANIÇOBA, R.M.; SOBRINHO, J.E.; GUIMARÃES, Í.T.; JUNIOR. E.G.C.; SILVA. T.T.F.; ZONTA, J.H. Índice de anomalias de chuva para diferentes mesorregiões do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 10, 1110-1119. 2017.
- MARENGO, J. A.; RUSTICUCCI M.; PENALBA, O.; RENOM, M. NA intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, p. 509–529, 2010.
- MARQUES, E. S. F., GONÇALVES, M. F., BLANCO, C. J. C., CRUZ, J. D. S. Análise da disponibilidade hídrica para o aproveitamento de água de chuva no estado do Maranhão, Brasil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 15, n. 1, p. 201-216.
- MAURI, D.; BLANK, P. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas the context of climate changes and its victims. **Mercator**, v. 14, n. 2, p. 157–172, ago. 2015.

- MCKEE, T. B., DOESKEN, N. J., KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: **Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology**. 1993. p. 179-183.
- MEDEIROS, F. J., LIMA, K. C., CAETANO, D. D. A., SILVA, F. J. D. O. Impacto da variabilidade interanual da precipitação nos reservatórios do semiárido do Nordeste do Brasil. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 41 - 3 / 2018 p. 731-741.
- MEDEIROS, R. M., ARAÚJO, W.R, HOLANDA, R. M, SABOYA, L. M. F, CUNHA FILHO, M., FRANÇA, M.V. Espacializações pluviométricas pelo método krigagem na bacia hidrográfica do alto rio Paraíba, Brasil. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 6, pág. e29011629106-e29011629106, 2022.
- MEDEIROS, R. M., DE FRANÇA, M. V., DE HOLANDA, R. M., PEREIRA, M. L. F., DE ARAÚJO, W. R., SABOYA, L. M. F. El Niño e a La Niña e suas influências no clima de Bom Jesus Piauí–Brasil. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 2, n. 6, p. e26484-e26484, 2021.
- MEDEIROS, R. M., HOLANDA, R. M., FRANÇA, M. V., SABOYA, L. M. F., NETO, F. C. R., ARAÚJO, W. R. Espacialização pelo método da Krigagem nas variabilidades pluviométrica, evapotranspiração e evaporação no Estado do Pernambuco–Brasil. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 2, n. 8, p. e28573-e28573, 2021.
- MEDEIROS, R. M., SABOYA, L. M. F., CUNHA FILHO, M., DE FRANÇA, M. V., DE ARAÚJO, W. R., HOLANDA, R. M. Estudos dos fatores meteorológicos na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e8311527775-e8311527775, 2022.
- MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; SIVA, P. F.; SABOYA, L. M. F.; FRANCISCO, P.R. M. Classificação climática e zoneamento agroclimático de culturas para SÃO João do Cariri - PB. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.21, p.2984-2996, 2015.
- MENEZES, F. P.; FERNANDES, L. L. Análise de tendência e variabilidade da precipitação no estado do Pará. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n.24, p.1580-1591, 2016.
- MOLION, L. C. B. Gênese do El Niño. **Revista Brasileira de Climatologia**. 2237-8642 (Eletrônica) v. 21, 2017.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, p. 1-10, 2002.
- MURARA, P. G. Técnicas de interpolação para a pesquisa em climatologia regional e agroclimatologia. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2019.
- NASCIMENTO, D. T. F., NEVES G. Z. F. Clima do Cerrado: Dinâmica atmosférica na área Core do Bioma Cerrado. **Eliséé**, v. 9, n. 2, p. e922021, 2020.
- NASCIMENTO, D. T. F., NOVAIS, G. T. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Eliséé**, v. 9, n. 2, p. e922021, 2020.

- NASCIMENTO, F. D. C. A. D., BRAGA, C. C., ARAÚJO, F. R. D. C. D. Análise estatística dos eventos secos e chuvosos de precipitação do Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 375-386, 2017.
- NASCIMENTO, F. D. C. A., BRAGA, C. C., ARAÚJO, F. R. D. C. D., DA SILVA COSTA, E. V. Caracterização de eventos secos e chuvosos na microrregião de Imperatriz-MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 02, p. 325-333, 2015.
- NOBRE, P., SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, 9, 2464–2479, 1996.
- NOGUEIRA, V. D. F., CORREIA, M. D. F., NOGUEIRA, V. D. 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.
- NORONHA, G.C.; HORA, M.A.G.M.; SILVA, L.P. Análise do Índice de Anomalia de Chuva para a Microbacia de Santa Maria/Cambiocó, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia** 31, 74-81. 2016.
- NOVAIS, G. T. Classificação climática aplicada ao bioma Cerrado. Tese (Doutorado) – Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.2199>.
- NUNES, A. B. Estudo de Caso de Sistemas Meteorológicos em Altos Níveis Sobre a América do Sul: Análise Sinótica. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 40, n. 1, p. 70-82. 2017.
- NUNES, A. Introdução. In: Lourenço, L., Nunes, A. Riscos Hidrometeorológicos. Série Estudos Cindínicos, **Ed. Riscos- Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança**. Coimbra, 11-14, 2018.
- OLIVEIRA, C., J, CHAVES, H. M. L. Tendências e Variabilidades nas Séries Históricas de Precipitação Mensal e Anual no Bioma Cerrado no Período 1977-2010. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Online Ahead of Print, 2020 rbmet.org.br DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786351019>
- OLIVEIRA, N. D. L., MARCUZZO, F. F. N. Influência do el niño e la niña no número de dias de precipitação pluviométrica do estado do Mato Grosso do Sul. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 10, n. 1, p. 73-94, abr. 2016.
- OLIVEIRA, T. A.; TAVARES, C. M. G.; SANCHES, F.; FERREIRA, C. C. M. Variabilidade pluviométrica no município de Juiz de Fora-MG no período de 1910-2018: investigação a partir da técnica do box plot. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.26, p. 102-126, 2020.
- PANOFISKY, H. A.; BRIER, G. W. **Some applications of statistics to meteorology**. University Park: Pennsylvania State University, 1958. 224 p.
- PASSOS, M. L. V., MENDES, T. J. Precipitação pluviométrica mensal e anual provável para o município de Turiaçu-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 1, p. 2283, 2018.

- PASSOS, M. L. V., ZAMBRZYCKI, G. C., PEREIRA, R. S. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 758-766, 2016.
- PASSOS, M. L. V., ZAMBRZYCKI, G. C., PEREIRA, R. S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-MA. **Scientia agraria**, v. 18, n. 1, p. 83-89, 2017.
- PEREIRA, V. C. M., BERTOLINO, A. V. F. A., BERTOLINO, L. C., KEDE, M. L. F. M., ALHO, D. S., TORNIO, C. A. A. Variabilidade Comportamental da Insolação e Nebulosidade em Anos sem e com El Niño (2012 e 2015). In: **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 18, 2019.
- QUEIROGA, A., LUZ, M. B., FILGUEIRA, H. J. A. A Redução de Riscos de Desastres (RRD) e a resiliência na segurança alimentar e nutricional. **Territorium**, n. 29 (I), p. 139-148, 2022.
- RABELO, A. C. P., SANTOS NASCIMENTO, M., SILVA REIS, N. S., SANTOS, P. V. C. J., FRANÇA, V. L. Tendência de precipitação e temperatura e a influência na cultura do abacaxi. 10 Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. **Anais do congresso**.
- RABELO, D. R., ALMEIDA, I. C. S. Uso do geoprocessamento na interpolação de dados pluviométricos no município de Junco do Seridó, PB. **Revista CC&T–Centro de Ciências e Tecnologia da UECE, Fortaleza/CE**, v. 1, n. 1, p. 36-53, 2019.
- REBOITA, M. S., GAN, M. A., ROCHA, R. P. D., & AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 25, p. 185-204, 2010.
- REBOITA, M. S., KRUSCHE, N., AMBRIZZI, T., ROCHA, R. P. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terrae Didactica**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.
- RODRIGUES, E. L., SOUSA, F. D. A. S., LOPES, R. F. C. Análise da Variabilidade dos Períodos Secos e Chuvosos da Precipitação Pluvial no Estado da Paraíba Utilizando o Índice Padronizado de Precipitação (IPP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 05, p. 2544-2581, 2022.
- RODRIGUES, L. G., ARAÚJO MOREIRA, P. B., SANTOS, L. F., TEIXEIRA, Y. N., FIRMINO, P. R. A., OLIVEIRA, C. C. F. Balanço Hídrico e Classificação Climática para Estação Meteorológica do Cariri. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 02, p. 618-633, 2022.
- RODRIGUES, L. O., SOUZA, W. M., OLIVEIRA COSTA, V. S., PEREIRA, M. L. T. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco (Influence of El Niño and La Niña events on rainfall of Agreste Pernambuco). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1995-2009, 2017.
- ROLIM, G. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Revista Bragantia**, v.66, n.4, p.711-720, 2007.
- ROSSI, S., SOARES, M. D. O. Effects of El Niño on the coastal ecosystems and their related services. **Mercator (Fortaleza)**, 16.

- SABOYA, L. M. F., DE MEDEIROS, R. M., NETO, F. C. R., DE ARAÚJO, W. R., DE FRANÇA, M. V., HOLANDA, R. M. Eventos extremos de precipitação entre 1960–2014 em Bom Jesus-Piauí, BRASIL. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 2, n. 9, p. e29750-e29750, 2021.
- SALVIANO, M. F., GROppo, J. D., PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 64-73, 2016.
- SANCHES, F. O, VERDUM, R., FISCH, G. O índice de anomalia de chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 51, 2014.
- SANTOS, C. T. B, CORREIA FILHO, W. L. F, OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F, BARROS SANTIAGO, D., BATISTA, B. A. Avaliação do comportamento Vegetation Health Index no diagnóstico de secas no Nordeste brasileiro. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 4, pág. e54011427890-e54011427890, 2022.
- SANTOS, F. DE A. DOS. Análise da normal climatológica (mensal e anual) do município de Teresina (Piauí). **CADERNOS DE ENSINO, CIÊNCIAS & TECNOLOGIA**, v. 1, n. 3, p. 36-44, 2019.
- SANTOS, J. F., PORTELA, M. M. Tendências em séries de precipitação mensal em Portugal continental: aplicação do teste de Mann-Kendall. 2007.
- SANTOS, J. R. N., ARAÚJO, M. L. S. SILVA JÚNIOR, C. H. L., SANTOS, J. S., ALMEIDA, J. L., LIMA, T. V., SOUSA, L. V. P. DE, AGUIAR, P. H. M. DE, SILVA, F. B. Tendências de extremos climáticos na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.
- SANTOS, L. D. J., GONÇALVES, R. B., CABRAL, C. J., SILVA, O. G. Vulnerabilidades a eventos pluviais de alta magnitude da cidade do Recife–Pernambuco/Brasil. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 9, n. 2, p. 160-185, 2019.
- SILVA BARROS, V., GOMES, V. K. I., DA SILVA JÚNIOR, I. B., DA SILVA, A. S. V., DA SILVA, A. S. A., BEJAN, L. B., STOSIC, T. Análise de tendência do índice de precipitação padronizado em Recife–PE. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e52310817458-e52310817458, 2021.
- SILVA JÚNIOR, F. P., CHAVES, S. V. V. Desastres naturais no Brasil: um estudo acerca dos extremos climáticos nas cidades brasileiras. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, v. 2, n. 2, 2021.
- SILVA, C. B., SILVA, M. E. S., AMBRIZZI, T., TOMMASELLI, J. T. G., PATUCCI, N. N., MATAVELI, G. A. V. LIMA, B. S. CORREA, W. C. Precipitação na América do Sul—dados obtidos por estações meteorológicas automáticas e por sistemas orbitais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.
- SILVA, D. F. D. Aplicação de Análises de ondaletas para detecção de ciclos e extremos pluviométricos no leste do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 187-198, 2017.

SILVA, D. F., LIMA, M. J. S., SOUZA NETO, P. F., GOMES, H. B., SILVA, F. S., ALMEIDA, H. R. R. C., COSTA, R. L. Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 449-464, 2020.

SILVA, F. B., SANTOS, J. R. N., FEITOSA, F. E. C. S., SILVA, I. D. C., ARAÚJO, M. L. S. D., GUTERRES, C. E., NERES, R. L. Evidências de mudanças climáticas na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 330-336, 2016.

SILVA, F., GENZ, F., AGUIAR, W., SILVA, N., KIPERSTOK, A. Avaliação da ocorrência de secas na Bahia utilizando o Índice de Precipitação Padronizada (SPI). **Bahia Análise & Dados**, v. 23, n. 2, p. 461-473, 2013.

SILVA, G. I. N., HERMÍNIO, P. J., PINHEIRO, A. G., JARDIM, A. D. R., LEITE, R. M. C., SILVA, T. G. F., SOUZA, L. S. B. Entendendo as Características Associadas à Precipitação para uma Região do Nordeste do Pará: Uma Análise do Comportamento, Tendência, Eventos Extremos e Tempo de Retorno para o período de 1973-2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 6, p. 3177-3192, 2021.

SILVA, J. L. B., DE ALBUQUERQUE MOURA, G. B., SILVA, M. V., DE SOUZA, R. V., GUEDES, P. M. O. L., DE FRANÇA, Ê. F., HOZANA, A. Inferência Exploratória de Dados Espaço-Temporal da Precipitação Pluviométrica no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 05, p. 2019-2036, 2020.

SILVA, M. M., FERREIRA, V. D. O., ÁVILA, D. M. Análise de tendências e extremos pluviométricos na região Hidrográfica do Rio São Francisco. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 19, n. 3, p. 127-149, 2021.

SILVA, O. A.; NUNES, H. K. B. Comportamento das chuvas no município de Caxias/Maranhão durante atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). In: **SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA DA UESPI**, 15., 2018, Teresina. Anais...Teresina: UESPI, 2018.

SIQUEIRA, B.; NERY, J.T. Análise do Índice Padronizado de Precipitação para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 10, 1775-1783. 2017.

SOUSA, R. F. **Análise espaço-temporal da dinâmica do espelho d'água na bacia hidrográfica do Rio Mearim, Maranhão** – Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, Maranhão, 2022.

SOUZA, J. F. S. **Análise da variabilidade de secas no estado de Alagoas no período 1936-2019 utilizando o índice de precipitação padronizada e a transformada contínua em ondaleta**. 2021. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Unidade Delmiro Gouveia - Campus do Sertão, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2021.

SPERANDEI, S. L. M. Testes T de Student e Bayesianos Aplicados a Microarranjos: Impacto dos Métodos de Transformação e do Tamanho Da Amostra. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2007.

THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Geneva: World Meteorological Organization, 1966. 53 p. (WMO. Technical note, 81).

THORTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology; 1955, 104p.

VIEGAS, J., ANDREOLI, R. V., KAYANO, M. T., CANDIDO, L. A., SOUZA, R. A. F. D., HALL, D. H., ... & VALENTIN, W. I. D. Caracterização dos diferentes tipos de El Niño e seus impactos na América do Sul a partir de dados observados e modelados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 43-67, 2019.

VILAR, R.A.; CORREIA, M.F.; NÓBREGA, R.S.; ARAGÃO, M.R.S.; BARBIERI, L.F.P.; FILHO, M.G.M. Avaliação dos impactos de secas severas no nordeste brasileiro na geração de energia elétrica através do modelo Newave: Projeção de energias aflu