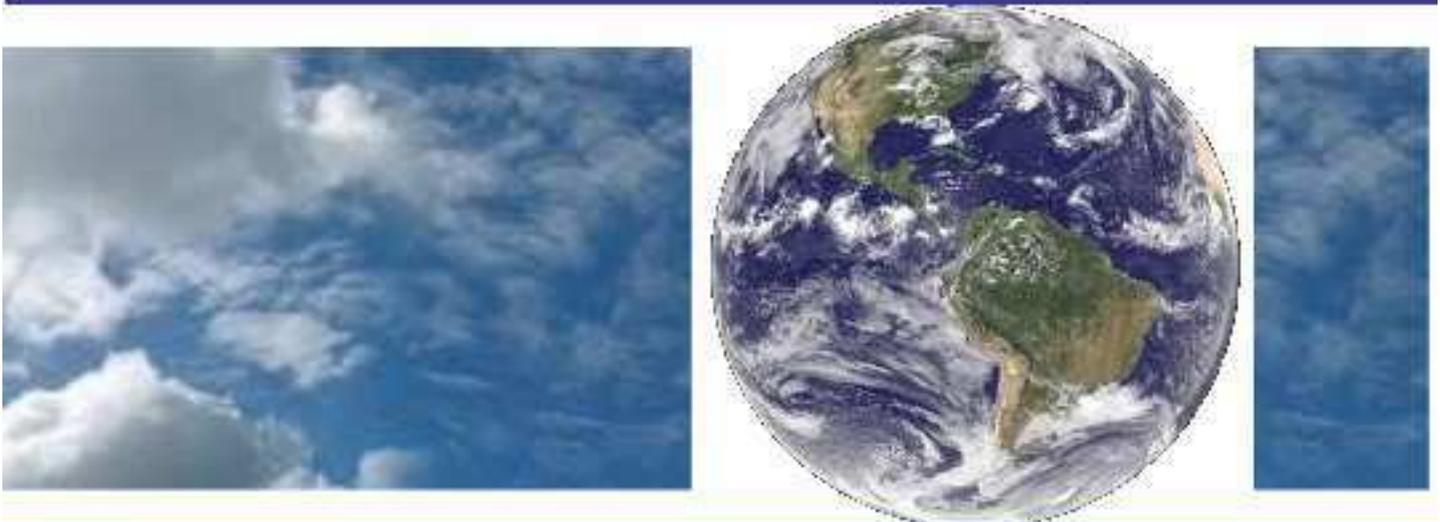


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

# **METEOROLOGIA**



## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Tarciana Rafaela Barbosa Figueirôa Silva**

**Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação  
pluviométrica do estado de Pernambuco utilizando  
índices climáticos**

**Campina Grande, Dezembro de 2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO  
PLUVIOMÉTRICA DO ESTADO DE PERNAMBUCO UTILIZANDO ÍNDICES  
CLIMÁTICOS**

**TARCIANA RAFAELA BARBOSA FIGUEIRÔA SILVA**

Campina Grande – PB

2021

TARCIANA RAFAELA BARBOSA FIGUEIRÔA SILVA

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO  
PLUVIOMÉTRICA DO ESTADO DE PERNAMBUCO UTILIZANDO ÍNDICES  
CLIMÁTICOS**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

**Área de concentração:** Meteorologia de Meso e Grande Escalas

**Subárea:** Climatologia

**Orientador:** Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos

Campina Grande – PB

2021

S586a Silva, Tarciana Rafaela Barbosa Figueirôa.  
Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica do estado de Pernambuco utilizando índices climáticos / Tarciana Rafaela Barbosa Figueirôa Silva. - Campina Grande, 2022.  
106 f.: il. Color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.  
"Orientação: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos."  
Referências.

1. Precipitação Pluviométrica. 2. Pernambuco. 3. Índices Climáticos.  
4. Análise de Tendências. I. Santos, Carlos Antonio Costa dos. II. Título.

CDU 551.577.21(043)

TARCIANA RAFAELA BARBOSA FIGUEIRÔA SILVA

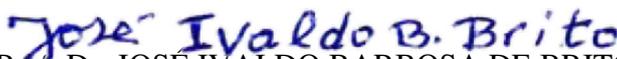
ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO  
PLUVIOMÉTRICA DO ESTADO DE PERNAMBUCO UTILIZANDO ÍNDICES  
CLIMÁTICOS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/12/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. CELSO AUGUSTO GUIMARÃES SANTOS  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental  
Universidade Federal da Paraíba

Dedico este trabalho com todo o meu amor e gratidão:

A meu esposo, Delson Silva;  
Aos meus pais, Rejane Silva e Tobias Barbosa;  
A minha prima, Gabriela Rocha (In memoriam).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me orientar em todos os momentos e ter permitido a conclusão de mais uma fase da minha vida.

A meu esposo, Delson José Figueirôa Silva, por todo o companheirismo, amor, paciência, compreensão e incentivo.

A todos da minha família e aos amigos que sempre me incentivaram e me apoiaram.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos, pela confiança, dedicação, pelo apoio científico, incentivo e por acreditar no meu trabalho.

Aos professores da UACA que muito contribuíram para a minha formação profissional.

Aos professores Dr. JoséIVALDO Barbosa de Brito e Dr. Celso Augusto Guimarães Santos pelas valiosas sugestões na elaboração desse trabalho e por terem aceitado participarem da banca examinadora.

A todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta na concretização deste trabalho. Muito obrigada!

## RESUMO

As mudanças climáticas já são uma realidade mundial e os seus efeitos no meio em que vivemos estão cada vez mais evidentes, principalmente pela velocidade com que estão ocorrendo. Cenários climáticos indicam uma maior frequência e intensidade de eventos meteorológicos extremos, representando uma grande ameaça para a região NEB, especialmente para o estado de Pernambuco, que por sua vez, é comumente afetado por períodos de chuvas intensas e secas prolongadas. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica do estado de Pernambuco, bem como a ocorrência de eventos extremos. Assim, no presente estudo, foram empregados os índices climáticos: Precipitation Concentration Index (PCI), Standardized Precipitation Index (SPI), Precipitation Concentration Degree (PCD), Precipitation Concentration Period (PCP) e Rainfall Anomaly Index (RAI), e os testes não paramétricos de Mann-Kendall e Sen's Slope, para a análise de tendências nas séries de precipitação e nos índices climáticos trabalhados. Foram utilizados dados diários de precipitação pluvial da série histórica de 1990 a 2020, onde os dados foram obtidos da base de dados da APAC e do INMET. Os resultados obtidos indicaram que o leste do estado apresenta uma precipitação mais distribuída ao longo do ano, se apresentando como “moderadamente sazonal”, nas mesorregiões Metropolitana do Recife e Zona da Mata, “sazonal”, na mesorregião do Agreste Pernambucano, e “fortemente sazonal”, nas mesorregiões do Sertão Pernambucano e Sertão do São Francisco. Por meio do SPI, verificou-se que a maior parte das secas severas e extremas aconteceram na década de 1990, exceto na mesorregião do Sertão do São Francisco, onde foram predominantes na década de 2010. Com a metodologia do RAI foi possível identificar que houve uma maior frequência de anomalias negativas em relação as positivas, principalmente na última década, indicando uma possível modificação nos padrões de precipitação. As análises de tendências indicaram que apenas o SPI-12 apresentou tendências nas mesorregiões Metropolitana do Recife, Agreste e Sertão Pernambucano, no entanto, o teste Sen's Slope indicou que a magnitude dessas tendências não são significativas.

**Palavras-chave:** Precipitação pluviométrica, Pernambuco, Índices climáticos, Análise de tendências

## ABSTRACT

Climate change is already a global reality and its effects on the environment in which we live are increasingly evident, mainly due to the speed at which they are occurring. Climatic scenarios indicate a greater frequency and intensity of extreme weather events, representing a great threat to the Northeast of Brazil, especially to the state of Pernambuco, which in turn, is commonly affected by periods of intense rain and prolonged drought. Thus, this work aimed to analyze the spatial and temporal variability of rainfall in the state of Pernambuco, as well as the occurrence of extreme rainfall events. Thus, in this study, the following climate indices were used: Precipitation Concentration Index (PCI), Standardized Precipitation Index (SPI), Precipitation Concentration Degree (PCD), Precipitation Concentration Period (PCP) and Rainfall Anomaly Index (RAI), and the tests non-parametric Mann-Kendall and Sen's Slope, for the analysis of trends in precipitation series and climate indices worked. For that, daily rainfall data from the historical series from 1990 to 2020 were used, where data were obtained from the APAC and INMET databases. The results obtained indicated that the east of the state presents a more distributed rainfall throughout the year, presenting itself as "moderately seasonal", in the Metropolitana do Recife and Zona da Mata mesoregions, "seasonal", in the Agreste Pernambucano mesoregion, and "strongly seasonal" in the Sertão Pernambucano and Sertão do São Francisco mesoregions. Through the SPI, it was found that most of the severe and extreme droughts occurred in the 1990s, except in the Sertão do São Francisco mesoregion, where they were predominant in the 2010s. With the RAI methodology, it was possible to identify that there was a higher frequency of negative anomalies compared to positive ones, especially in the last decade, indicating a possible change in precipitation patterns. Trend analyzes indicated that only the SPI-12 showed trends in the Metropolitana do Recife, Agreste and Sertão Pernambucano mesoregions, however, the Sen's Slope test indicated that the magnitude of these trends are not significant.

**Keywords:** Rainfall, Pernambuco, Climate indices, Trend analysis

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mesorregiões do estado de Pernambuco.....	35
Figura 2 - Climas do estado de Pernambuco.....	36
Figura 3 - Relevo do estado de Pernambuco.....	38
Figura 4 - Distribuição espacial dos postos pluviométricos selecionados.....	41
Figura 5 - Exemplo do resultado do PCP com chuvas concentradas no mês de março.....	46
Figura 6 - Distribuição espacial da precipitação média anual do estado de Pernambuco no período de 1990 a 2020.....	53
Figura 7 - Precipitação média anual nas mesorregiões pernambucanas entre 1990 e 2020.....	53
Figura 8 - Precipitação pluviométrica mensal nas mesorregiões a) Metropolitana do Recife, b) Zona da Mata, c) Agreste Pernambucano, d) Sertão Pernambucano, e) Sertão do São Francisco, com destaque para o meses chuvosos no período de 1990 a 2020.....	56
Figura 9 - Frequência relativa do PCI nas mesorregiões do estado de Pernambuco no período de 1990 a 2020.....	57
Figura 10 - Distribuição espacial do PCI médio anual para o estado de Pernambuco no período de 1990 a 2020.....	57
Figura 11 - Índice de Concentração da Precipitação para período de 1990 a 2020 nas mesorregiões a) Metropolitana do Recife, b) Zona da Mata, c) Agreste Pernambucano, d) Sertão Pernambucano e e) Sertão do São Francisco.....	58
Figura 12 - Distribuição do SPI médio na escala trimestral para os postos pluviométricos utilizados neste trabalho.....	60
Figura 13 - Distribuição do SPI médio na escala semestral para os postos pluviométricos utilizados neste trabalho.....	61
Figura 14 - Distribuição do SPI médio na escala de 9 meses para os postos pluviométricos utilizados neste trabalho.....	62
Figura 15 - a) Série temporal do SPI-12 para a mesorregião Metropolitana do Recife; b) Distribuição da frequência dos eventos por categoria do SPI-12 para a mesorregião Metropolitana do Recife.....	63
Figura 16 - a) Série temporal do SPI-12 para a mesorregião da Zona da Mata; b)	

Distribuição da frequência dos eventos por categoria do SPI-12 para a mesorregião da Zona da Mata.....	63
Figura 17 - a) Série temporal do SPI-12 para a mesorregião do Agreste Pernambucano; b) Distribuição da frequência dos eventos por categoria do SPI-12 para a mesorregião do Agreste Pernambucano.....	64
Figura 18 - a) Série temporal do SPI-12 para a mesorregião do Sertão Pernambucano; b) Distribuição da frequência dos eventos por categoria do SPI-12 para a mesorregião do Sertão Pernambucano.....	65
Figura 19 - a) Série temporal do SPI-12 para a mesorregião do Sertão do São Francisco; b) Distribuição da frequência dos eventos por categoria do SPI-12 para a mesorregião do Sertão do São Francisco.....	65
Figura 20 - PCD para o estado de Pernambuco para período de 1990 a 2020.....	66
Figura 21 - PCP para o estado de Pernambuco para período de 1990 a 2020.....	67
Figura 22 - Índice de Anomalia de Chuva anual para período de 1990 a 2020 nas mesorregiões a) Metropolitana do Recife, b) Zona da Mata, c) Agreste Pernambucano, d) Sertão Pernambucano e e) Sertão do São Francisco.....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Postos pluviométricos selecionados e suas respectivas coordenadas geográficas.....	41
Tabela 2 - Classificação do Índice de Concentração de Precipitação.....	43
Tabela 3: Exemplo de como o PCI classifica a concentração da precipitação.....	44
Tabela 4 - Classificação do Índice de Precipitação Padronizada.....	46
Tabela 5 - Meses correspondentes a cada valor de PCP.....	47
Tabela 6 - Classificação do Índice de Anomalia de Chuva.....	48
Tabela 7 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para a precipitação média anual no período de 1990 a 2020.....	72
Tabela 8 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para o PCI anual .....	73
Tabela 9 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para o SPI médio nas escalas 3, 6 e 9 meses.....	73
Tabela 10 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para o SPI -12.....	74
Tabela 11 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para o PCD.....	74
Tabela 12 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para o PCP.....	75
Tabela 13 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para o RAI.....	75
Tabela 14: Teste de tendências de Mann-Kendall e Sen's Slope para a precipitação média anual de cada um dos postos pluviométricos selecionados no período de 1990 a 2020.....	106

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

### SIGLAS

APAC	Agência Pernambucana de Águas e Climas
BA	Bahia
ENOS	El Niño - Oscilação Sul
GEE	Gases de efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
NEB	Nordeste do Brasil
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PB	Paraíba
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PCD	Precipitation Concentration Degree
PCI	Precipitation Concentration Index
PCP	Precipitation Concentration Period
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RAI	Rainfall Anomaly Index
RS	Rio Grande do Sul
SECTMA	Secretaria de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco
SPI	Standardized Precipitation Index
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VHI	Vegetation Health Index
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

### SÍMBOLOS

CH <sub>4</sub>	Metano
cm	Centímetro
cm/século	Centímetro por século
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono

H <sub>2</sub> O	Vapor de água
km	Quilômetro
m	Metro
mm	Milímetro
mm/ano	Milímetro por ano
N <sub>2</sub>	Nitrogênio
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
° C	Graus Celsius
O <sub>2</sub>	Oxigênio

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 OBJETIVOS.....	20
2.1 Objetivo Geral.....	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1 Mudanças climáticas globais, regionais e locais.....	21
3.2 Eventos extremos de precipitação.....	25
3.3 Índice de Concentração de Precipitação.....	29
3.4 Índice de Precipitação Padronizada.....	30
3.5 Grau de Concentração de Precipitação e Período de Concentração de Precipitação.....	32
3.6 Índice de Anomalia de Chuva.....	33
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
4.1 Características geográficas do Estado de Pernambuco.....	35
4.2 Características climáticas do estado de Pernambuco.....	36
4.3 Aspectos do Relevo do Estado de Pernambuco.....	37
4.4 Sistemas meteorológicos atuantes em Pernambuco.....	38
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
5.1 Dados pluviométricos.....	40
5.2 Metodologia.....	42
5.2.1 Cálculo do Índice de Concentração de Precipitação.....	42
5.2.2 Cálculo do Índice de Precipitação Padronizada (SPI).....	43
5.2.3 Cálculo do Grau de Concentração de Precipitação e Período de Concentração de Precipitação.....	45
5.2.4 Índice de Anomalia de Chuva.....	47
5.2.5 Avaliação de tendências e mudanças na série temporal.....	47
5.2.5.1 Teste de Mann-Kendall.....	48
5.2.5.2 Estimador Sen's Slope.....	49
5.3 Processamento dos Dados.....	50
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
6.1 Análise do Índice de Concentração de Precipitação.....	57
6.2 Análise do Índice de Precipitação Padronizada.....	59

6.3 Análise do Grau de Concentração de Precipitação e Período de Concentração de Precipitação.....	66
6.4 Análise do Índice de Anomalia de Chuva.....	67
6.5 Análise de tendências nas séries temporais de precipitação anual e nos índices climáticos.....	70
7 CONCLUSÕES.....	76
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
9 APÊNDICE.....	105
9.1 APÊNDICE A - ESTATÍSTICAS DOS TESTES DE MANN-KENDALL E SEN'S SLOPE PARA A PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL NO PERÍODO DE 1990 A 2020.PARA CADA UM DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SELECIONADOS..	105

## 1 INTRODUÇÃO

O clima do planeta está em constante transformação temporal, seja pela sua própria dinamicidade ou pela intensificação de atividades antrópicas, resultando em alterações nos padrões climáticos que afetam diretamente os ecossistemas naturais e os sistemas socioeconômicos. Nesse sentido, diversos estudos indicam que o agravamento das mudanças climáticas está associado ao aumento da temperatura média global, a elevação do nível do mar, as modificações nos padrões de precipitação, a intensificação de fenômenos meteorológicos e a ocorrência de eventos extremos numa maior frequência e intensidade (MARENGO et al., 2007; TOMINAGA et al., 2009; PBMC, 2016; NUNES, 2018).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) define eventos extremos como valores anômalos observados em um determinado intervalo de tempo em variáveis climatológicas, sendo influenciados pela variabilidade natural do clima ou ações antrópicas (IPCC, 2012). Eventos extremos têm se tornado cada vez mais frequentes em todo o mundo, preocupando autoridades e comunidades científicas devido aos seus impactos em grande escala. Na região dos trópicos, os eventos extremos associados à precipitação pluviométrica estão se intensificando, principalmente aqueles associados às inundações e secas severas (SONG et al., 2015; CUNHA et al., 2019), enquanto que, nas latitudes médias e altas, as temperaturas extremas ameaçam à população, os ecossistemas naturais e as áreas urbanas e rurais. (SUGUIO, 2008; CAMPBELL et al., 2018).

Estudos relacionados aos eventos extremos sempre foram objeto de investigações e discussões no meio científico. Utilizando diferentes técnicas e metodologias, diversos pesquisadores como Easterling et al. (2000), Frich et al. (2002), Groisman et al. (2005), Haylock et al. (2006), Coscarelli e Caloiero (2012), Campos et al. (2015), Song et al. (2015), Hänsel et al. (2016), Huang et al. (2018), dentre outros, analisaram eventos extremos em diversas localidades do mundo e identificaram tendências de intensificação desses eventos, tais como: ondas de calor e frio intensos, chuvas abundantes e de curta duração, provocando enchentes e inundações, e longos períodos de estiagem, ocasionando secas mais intensas e

prolongadas.

A região Nordeste do Brasil (NEB), em geral, apresenta uma alta variabilidade espacial e temporal em seu regime pluviométrico, sendo frequentemente afetada por períodos de chuvas intensas, intercaladas com ciclos de secas prolongadas, em intervalos que podem variar de poucos anos a décadas (MARENGO et al., 2011), principalmente no semiárido. Essa variabilidade na precipitação pluviométrica pode ser explicada pelos sistemas meteorológicos e pelas interações oceano-atmosfera que atuam na região, em especial as variabilidades na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos Tropicais (Atlântico e Pacífico) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que conforme a sua fase e intensidade exercem grande influência no clima e na distribuição de chuvas do NEB (BRITO, 2000). Além de estar localizado nessa região, o Estado de Pernambuco apresenta uma maior vulnerabilidade a eventos meteorológicos extremos, sendo frequentemente afetado, durante a estação chuvosa, por erosões costeiras, deslizamentos de terras, inundações e alagamentos em especial nas regiões litorâneas e na Zona da Mata, e por secas recorrentes no Agreste e Sertão (LACERDA, 2015; ESPINOZA et al., 2021).

Nesse sentido, em virtude dos impactos causados pela irregularidade da precipitação, faz-se necessário a realização de estudos de modo a investigar e identificar a magnitude e as tendências desses eventos. Nessa perspectiva, Tsakiris et al. (2007), Pereira et al. (2017) e Gonçalves e Back (2018) afirmam que a análise da distribuição da precipitação em determinada localidade e/ou região pode ser realizada por meio de índices climáticos, tendo em vista a eficiência dos mesmos em fornecer informações sobre as características dos períodos secos e chuvosos, em escalas mensais, sazonais ou anuais, bem como a identificação de tendências.

Dessa forma, diversos índices baseados na precipitação foram desenvolvidos com o propósito de analisar a distribuição e a concentração da precipitação em diversas escalas de tempo, tais como o Índice de Concentração de Precipitação (Precipitation Concentration Index – PCI) (Oliver, 1980), o Índice de Precipitação Padronizada (Standardized Precipitation Index – SPI) (McKee et al., 1993), o Grau de Concentração de Precipitação (Precipitation Concentration Degree – PCD) e o Período de Concentração da Precipitação (Precipitation Concentration Period – PCP) (Zhang e Qian, 2003) e o Índice de Anomalia de Chuva (Rainfall Anomaly Index – RAI) (Rooy, 1965). Esses índices podem compor um importante conjunto de

ferramentas para o entendimento da climatologia e do regime pluviométrico de uma determinada localidade, facilitando a tomada de decisões em diversos setores da sociedade, tais como meteorologia, recursos hídricos, abastecimento, agricultura, pecuária, saúde e planejamento urbano.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo principal deste trabalho é analisar a variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica do estado de Pernambuco, bem como a identificação de ocorrências de eventos extremos de precipitação, através dos índices: SPI, PCI, RAI, PCP e PCD.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- 1) Identificar e compreender a variabilidade pluviométrica do estado de Pernambuco;
- 2) Observar a ocorrência de eventos extremos de precipitação durante o período estudado;
- 3) Verificar se há a presença de tendências nas séries de precipitação e nos índices trabalhados;

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Mudanças climáticas globais, regionais e locais

A atmosfera, camada gasosa que envolve a superfície da Terra, é constituída predominantemente por nitrogênio ( $N_2$ ) e oxigênio ( $O_2$ ), que compõem cerca de 99% da atmosfera, e outros gases que figuram em menores quantidades. Dentre os gases que constituem a atmosfera estão presentes os gases de efeito estufa (GEE). O efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre quando a radiação térmica emitida pela superfície terrestre é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera, que com essa absorção, impedem que essa energia radiante seja emitida para o espaço, contribuindo para o aquecimento do Sistema Terra-Atmosfera e ainda sendo responsável por manter o equilíbrio das temperaturas médias globais. Os principais gases que dão origem ao efeito estufa são o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o metano ( $CH_4$ ), o óxido nitroso ( $N_2O$ ) e o vapor de água ( $H_2O$ ).

Nas últimas décadas, a sociedade e a comunidade científica têm discutido sobre a ocorrência das possíveis mudanças climáticas globais e os impactos ambientais que podem resultar destas mudanças (SILVA et al., 2017). De forma geral, há um consenso entre grande parte dos pesquisadores de que o aumento gradativo das concentrações dos GEE, principalmente do  $CO_2$ , intensifica o efeito estufa, resultando em um processo irreversível de aquecimento, afetando, de uma forma sem precedentes, os sistemas naturais e humanos (HOOPER et al. 2005; MARENGO, 2008; BAFFO et al., 2009, ASSIS, 2012). De acordo com Brasil (2014), tais mudanças climáticas podem ser atribuídas principalmente às atividades antrópicas e, mesmo em cenários mais otimistas, são esperados efeitos, em diferentes níveis, por todo o planeta.

Diante dessa problemática ao nível global, em 1988, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) estabeleceram o IPCC com a finalidade de avaliar e fornecer informações científicas sobre as mudanças do clima, bem como suas causas, impactos e riscos futuros para a humanidade e o meio ambiente, visando propor estratégias de mitigação a estes impactos.

O IPCC (2014) define mudanças climáticas como qualquer variação estatisticamente significativa ocorrida temporalmente nos elementos do clima e que persiste por longos períodos, podendo variar de décadas a períodos mais extensos. Em seu Sexto Relatório de Avaliação, o IPCC (2021) afirmou que a influência humana no aquecimento do planeta, principalmente pela queima de combustíveis fósseis e pelo desmatamento, é inequívoca e inquestionável, tendo ocorrido mudanças generalizadas e rápidas na atmosfera, oceano, criosfera e biosfera. Ainda segundo o relatório, algumas consequências do aquecimento global, como as mudanças no oceano, o derretimento das geleiras e a elevação do nível do mar, já são irreversíveis em escalas de tempo de séculos a milênios e, além disso, é provável que nas próximas duas décadas, a temperatura média da Terra aumente 1,5 °C ou até exceda esse limite, a menos que ocorram reduções significativas nas emissões de CO<sub>2</sub> e outros GEE nas próximas décadas.

As mudanças climáticas manifestam-se de diversas formas e as evidências mais expressivas de que estas estão ocorrendo, como já mencionado anteriormente, são: o aumento da temperatura média global, a elevação do nível do mar, as alterações nos padrões de precipitação, a redução da criosfera e a maior intensidade e frequência de eventos climáticos extremos (BÁRCENA et al., 2020). De acordo com dados do IPCC (2021), cada uma das últimas quatro décadas foi mais quente do que qualquer outra década desde 1850, onde a temperatura global da superfície foi 1,09 (0,95 - 1,20) °C mais alta na década entre em 2011 - 2020 do que entre 1850 - 1900, com aquecimento maior sobre a superfície terrestre (1,59 [1,34 a 1,83] °C) do que sobre os oceanos (0,88 [0,68 a 1,01] °C). Os dados do IPCC (2021) também mostram que o nível médio do mar aumentou 20 (15 - 25) cm entre 1901 e 2018 afetando muitas regiões costeiras. Vale ressaltar que, embora esse valor pareça ser mínimo, um aumento de 20 cm no nível médio do mar representa 72,43 trilhões de m<sup>3</sup> de água. Por ano, o aumento médio foi de 1,3 (0,6 - 2,1) mm/ano entre 1901 e 1971, 1,9 (0,8 - 2,9) mm/ano entre 1971 e 2006 e 3,7 (3,2 - 4,2) mm/ano entre 2006 e 2018 e, além disso, ao longo das últimas décadas verificou-se que os mantos de gelo da Groenlândia e Antártica estão perdendo massa e que quase todos os glaciares continuam a diminuir significativamente em todo o mundo (IPCC, 2013). De acordo com Semarnat (2009), o derretimento das geleiras e dos polos e a expansão térmica dos oceanos tem contribuído para o aumento do nível do mar, representando uma ameaça real para muitas cidades e

países insulares do mundo, que poderão ser imersos pelo mar e desaparecer até o final desse século.

Os efeitos das mudanças climáticas são visíveis em várias regiões do planeta, principalmente nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. Embora não sejam responsáveis pela maior emissão de GEE, essas regiões mais pobres são mais vulneráveis às mudanças do clima, pois normalmente encontram-se em áreas de maior exposição a eventos extremos, apresentam uma alta variabilidade pluviométrica, e na maioria das vezes são fortemente dependentes da agricultura, o setor da economia mais sensível ao clima, e além disso, normalmente apresentam fragilidades socioeconômicas que diminuem a capacidade de lidar com tais impactos (FOX et al., 2007; ZIMMERMANN; SCHONS, 2009). Nesse sentido, Fox et al. (2007) afirmam que “essa camada mais pobre, que é imediatamente afetada, é justamente a que menos contribui para o aquecimento global”.

No que diz respeito aos ecossistemas, tem-se observado que muitas espécies de animais estão migrando para novas regiões em busca de áreas com as mesmas condições ambientais do seu local de origem. Vale ressaltar que essa migração está ocorrendo cada vez mais cedo e que também é possível observar mudanças nos padrões sazonais de reprodução de algumas espécies (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012). Em seus estudos, Thomas et al. (2004) asseguram que a elevação das temperaturas está afetando algumas espécies de plantas e animais, e as projeções é que até o ano de 2050 várias dessas espécies estarão ameaçadas de extinção.

No tocante aos impactos sobre a saúde humana, as alterações climáticas afetarão a todos no planeta, no entanto, de forma desigual. A Organização Mundial da Saúde (World Health Organization, 2008) afirma que “os efeitos sobre a saúde serão desproporcionalmente maiores nas populações mais vulneráveis”, sobretudo em crianças, idosos, pessoas com comorbidades e em regiões mais pobres ou com pouca infraestrutura. A mudança no clima pode afetar a saúde humana de forma: (1) direta, através da incidência de ondas de calor e fenômenos climáticos extremos, provocando traumas físicos, psicológicos e até mesmo mortes; (2) indireta, onde alterações no meio ambiente ocasionam a disseminação de doenças de veiculação hídrica, as transmitidas por vetores e as respiratórias (CONFALONIERI; MARINHO, 2007; IPCC, 2007; BAFFO et al., 2009). Diversos estudos indicam que há evidências de que as altas temperaturas poderão levar a um aumento no número de casos de

doenças tropicais, como a malária e a dengue, em regiões mais quentes e vulneráveis, como os países da África Subsaariana, Ásia e América do Sul, caso não sejam tomadas medidas efetivas de controle, e favorecer a disseminação dessas doenças tropicais em latitudes e altitudes cada vez mais elevadas, indicando uma migração de doenças para áreas que até então não eram afetadas. (CONFALONIERI; MARINHO, 2007; MARENGO, 2008; CISNEROS; TUNDISI, 2012; GORODNER, 2016).

Para a América Latina são observadas alterações no ciclo hidrológico e na temperatura média. Em regiões mais vulneráveis ao clima, a variabilidade pluviométrica, o aumento das temperaturas, a degradação dos solos e a exploração dos recursos naturais podem levar ao processo de desertificação, sendo as áreas mais suscetíveis a este processo localizadas na Argentina, Bolívia, Chile, México, Peru e Brasil (ARELLANO-SOTA et al., 1996; IPCC, 2007).

No âmbito nacional, as mudanças do clima se apresentam em diversas regiões do Brasil e seguem as mesmas tendências globais. Sob essa ótica, com base em projeções futuras, são esperados diferentes impactos nas regiões do país. Segundo os relatórios do IPCC (2014) e do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2013a), é provável que o NEB sofra maiores impactos em virtude das mudanças do clima, sendo a região semiárida a área mais afetada. O semiárido brasileiro apresenta uma tendência de aridização e, conseqüentemente, risco de desertificação no futuro, bem como uma maior vulnerabilidade à incidência de secas e redução de recursos hídricos (MARENGO, 2008; LACERDA et al., 2010; BRASIL, 2012; BRASIL NETO et al., 2021). Na região Norte, o ritmo de destruição da Floresta Amazônica está ocorrendo de forma acelerada e de uma maneira que não é vista em nenhum outro lugar do mundo. Além disso, estudos indicam que nessa região o clima passará de tropical úmido para tropical subúmido (LAURANCE, 1998; BRASIL, 2016). De acordo com Brasil (2016) e o PBMC (2013b), espera-se que no Sul do país haja um aumento da precipitação e a ocorrência de eventos extremos e desastres naturais em uma maior frequência, enquanto que, para as regiões Sudeste e Centro-Oeste, os estudos apresentaram resultados divergentes para a precipitação, no entanto, para o Centro-Oeste é esperado uma redução de produtividade agrícola e pecuária e aumentos de temperatura.

A elevação do nível do mar poderá causar grandes impactos nas regiões litorâneas. Mesquita et al. (2013) identificaram uma tendência de aumento do nível

relativo do mar da ordem de 40 cm/século, ou 4 mm/ano, em vários portos da costa brasileira, sendo Pernambuco um dos estados mais afetados. Marengo (2006) reforça tal situação ao afirmar que no estado “cerca de seis em cada dez praias dos 187 km de costa cedem terreno para o mar”.

Se por um lado, o Litoral pernambucano sofre com o avanço do mar, por outro, o Agreste e Sertão do estado enfrentam episódios de secas periódicas e prolongadas, evidenciando a vulnerabilidade dessa região às mudanças climáticas. No semiárido pernambucano, Assis (2012) analisou as tendências da precipitação nas bacias dos rios Brígida e Pajeú no período de 1962 a 2011, utilizando índices de detecção de mudanças climáticas. A autora observou que ocorreram mudanças no comportamento da precipitação sobre as bacias hidrográficas analisadas, evidenciando uma redução da precipitação total anual, um aumento dos dias secos consecutivos e um elevado déficit hídrico no solo. Os impactos causados pela seca são vários, no entanto, em cenários de intensificação desse evento poderá haver deslocamentos migratórios para os grandes centros urbanos, sobrecarregando os serviços nessas regiões e agravando os problemas sociais e econômicos.

### **3.2 Eventos extremos de precipitação**

A precipitação pluviométrica constitui-se como um dos elementos mais importantes nas regiões tropicais, visto que, influencia direta e indiretamente as atividades humanas, a economia e o meio ambiente em que vivemos. De acordo com Salgueiro (2005), o padrão de distribuição das chuvas, a estimativa dos seus valores, a sua intensidade e a identificação das áreas de suas ocorrências representam informações essenciais para o entendimento da climatologia de uma região. Nesse sentido, o conhecimento preciso dessas características é de fundamental importância para o planejamento e monitoramento dos impactos causados pelo excesso ou escassez de chuvas (SPECIAN; VECCHIA, 2014; NUNES et al., 2016).

Diversos estudos (LACERDA et al., 2010; IPCC, 2013; BRASIL, 2016) apontam que o aumento da temperatura média da superfície poderá levar a uma aceleração do ciclo hidrológico, resultando em alterações significativas nos padrões de precipitação em diversas partes do globo. Dessa forma, espera-se um aumento na intensidade e variabilidade das chuvas, assim como uma maior ocorrência de

eventos extremos de precipitação, os quais poderão ocasionar enchentes e secas mais intensas e frequentes (IPCC, 2001b; KABAT et al., 2002; HUANG et al., 2018).

Eventos extremos de precipitação referem-se aqueles que apresentam desvios de grande magnitude em suas condições habituais, variando em escalas de curto e longo prazo, e com grande potencial para deflagração de desastres (MARENGO et al., 2009; PERNAMBUCO, 2013). Para Beniston e Stephenson (2004), estes eventos são marcados por apresentarem um comportamento diferente do habitual, baixa frequência (são raros ou incomuns), alta intensidade e por causarem grandes danos e prejuízos.

Destaca-se que a ocorrência de eventos extremos de precipitação está fortemente relacionada à circulação atmosférica e suas anomalias, em escala sinótica e global. Os sistemas meteorológicos e as interações oceano-atmosfera, como as anomalias da TSM, os padrões de teleconexões, os sistemas persistentes, os sistemas sinóticos e os sistemas convectivos de mesoescala são os principais moduladores dos extremos de precipitação que, dependendo de sua fase, agem ora intensificando, ora enfraquecendo os padrões pluviométricos (CORREIA FILHO, 2014; CAMPOS et al., 2015).

Dentre os fenômenos que influenciam na variabilidade do clima e provocam mudanças locais e regionais nos padrões pluviométricos destaca-se o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Esse fenômeno é responsável por modificações no padrão de circulação geral da atmosfera, que por sua vez influencia no comportamento do clima de diferentes localidades. Ropelewski e Halpert (1987; 1989) analisaram a variabilidade espacial e temporal da precipitação global associada ao ENOS e identificaram várias regiões do globo, dentre elas o NEB, cuja precipitação é bastante sensível durante os episódios deste evento. De acordo com diversos pesquisadores (ROPELEWSKI; HALPERT, 1989; BATES et al., 2008; KENYON; HEGERL, 2008; ALEXANDER et al., 2009; GRIMM; TEDESCHI, 2009; JIMÉNEZ-MUÑOZ et al., 2019), há evidências de que, nas últimas décadas, as diferentes fases do ENOS (episódios El niño e La niña) estão se intensificando e contribuindo para o aumento de condições meteorológicas extremas, como chuvas intensas e episódios de seca.

O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (BERNSTEIN et al., 2007) apontou que, no período de 1900 a 2005, a frequência e/ou intensidade de alguns eventos extremos mudaram. Houve um aumento significativo nos padrões de precipitação no

leste das Américas do Norte e do Sul, norte da Europa e centro da Ásia, enquanto que no Sahel, Mediterrâneo, sul da África e partes do sul da Ásia houve uma redução na precipitação. No entanto, Easterling et al. (2000) identificaram em algumas pesquisas que os eventos de precipitação intensa estavam aumentando sobre diferentes partes do mundo, acentuando-se nos Estados Unidos, Sudeste da China, Austrália, Norte do Japão, Noruega, África do Sul e Canadá e reduzindo-se no Nordeste da China, Sul do Japão, Etiópia e Tailândia. García-Paez e Cruz-Medina (2009) analisaram a distribuição e intensidade da precipitação no Noroeste do México, durante o período de 1921 e 2004, e identificaram um aumento na intensidade média da precipitação, embora tenha sido observado que o número de chuvas diminuiu no período analisado. Tingem et al. (2008) investigaram o impacto de eventos extremos climáticos na produção agrícola de milho em Camarões, país localizado na África Subsaariana, e constataram que têm se tornado cada vez mais frequentes, chuvas intensas e secas prolongadas na região, refletindo grandes perdas na produtividade do milho e causando grande impacto social.

No sudeste da América do Sul, a variabilidade climática e os eventos meteorológicos extremos se tornaram mais intensos e frequentes. Nos últimos 50 anos, foram registrados alguns casos incomuns como: as chuvas intensas que ocorreram na Venezuela, em 1999, e provocaram grandes inundações e deslizamentos de terra ao longo da costa norte do país, causando mais de 10.0000 mortes e perdas econômicas estimadas em mais de U\$ 1,8 bilhão; as inundações nos Pampas Argentinos (2000 e 2002); a seca na Amazônia em 2005; as tempestades de granizo na Bolívia (2002) e em Buenos Aires (2006); o inédito furacão Catarina no Atlântico Sul que atingiu o Sul do Brasil em 2004 e causou prejuízos econômicos da ordem de 1 bilhão de dólares; a seca no norte da Argentina em 2008 e as secas cada vez mais recorrentes na região semiárida brasileiras (LYON, 2003; MAGRIN et al., 2007; MARENGO, 2009).

No Brasil, o NEB se apresenta como uma região bastante sensível a eventos hidrológicos extremos, principalmente no que diz respeito a episódios de chuvas intensas e longos períodos de seca. As secas configuram-se como um dos desastres naturais que afetam mais pessoas do que qualquer outro perigo natural, em virtude da sua recorrência, intensidade e natureza duradoura (WILHITE, 2000; CEPED, 2013; AGHAKOUCHAK, 2015). Historicamente, o NEB é assolado por grandes secas desde o século XVI, onde a primeira seca que se tem notícia ocorreu

entre 1580 e 1583, sendo o estado de Pernambuco o mais afetado (PERNAMBUCO, 2013).

Entre os anos de 1877 e 1879 ocorreu a seca mais devastadora de que se tem registro, atingindo todos os estados do NEB, e que provocou a morte de centenas de milhares de pessoas e um grande êxodo de nordestinos para outros estados (MARENGO et al., 2013; PERNAMBUCO, 2013; LIMA; MAGALHÃES, 2019). Muitos outros eventos de seca foram registrados, com destaque para as secas de 1900, 1915, 1919, 1932-1933, 1958, 1979-1981, 1982-1983, 1992-1993, 1997-1998, 2001-2002, 2005, 2007, 2010 e 2012-2017, sendo responsáveis por grandes perdas econômicas, mortes de gado, queda na produção agrícola e consequentemente migrações para outras regiões do país (DE NYS et al., 2016; MARENGO et al., 2017, LIMA; MAGALHÃES, 2019).

No estado de Pernambuco, entre o período de 1991 a 2012 ocorreram 1308 registros oficiais de estiagem e seca. Dos 185 municípios do estado, 172 foram afetados por esse tipo de desastre, acarretando em danos socioeconômicos e ambientais de grande magnitude. Vale ressaltar que a ocorrência desse fenômeno aumenta de leste para oeste, à medida em que os municípios se afastam do Oceano Atlântico, sendo o Litoral e a Zona da Mata as regiões menos atingidas (CEPED, 2013).

Os eventos pluviométricos de grande magnitude podem causar enchentes de alto poder destrutivo, inundações e deslizamentos de terra, ocasionando grandes transtornos para a população. O NEB é bastante vulnerável às enchentes nos anos mais chuvosos e nas últimas décadas foi observado um aumento na frequência desses eventos. Exemplo dessa vulnerabilidade foi observada, em junho de 2010, nos estados de Pernambuco e Alagoas, quando chuvas intensas, causadas por um distúrbio ondulatório de leste, atingiram diversos municípios localizados nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba (BANCO MUNDIAL, 2010; PERNAMBUCO, 2013). De acordo com Lacerda et al. (2010), os totais pluviométricos foram, em média, 50% maior do que a média climatológica para todo o mês de junho, provocando enchentes de amplitudes até então não registradas e causando mortes, destruição e grandes danos materiais.

Em Pernambuco, as enchentes atingem especialmente a região metropolitana do Recife e Zona da Mata, principalmente entre os meses de junho e agosto. Nos últimos 20 anos, as enchentes e inundações foram os eventos extremos que mais

desabrigaram e provocaram a morte da população pernambucana. Em junho de 2010 também se observou que, em Pernambuco, chuvas intensas atingiram de forma severa a Zona da Mata, Região Metropolitana do Recife e partes do Agreste provocando enchentes de grandes proporções e destruindo cidades inteiras, como os municípios de Palmares e Barreiros (CEPED, 2013; SILVA et al., 2019). Em 2011, apenas onze meses depois da maior enchente da história de Pernambuco, a mesorregião da Zona da Mata sofreu com chuvas intensas e mais uma vez foi atingida por uma enchente, sendo o município de Barreiros o mais afetado (BANCO MUNDIAL, 2010; PERNAMBUCO, 2013).

Mediante o exposto, torna-se evidente que os estudos relacionados à variabilidade climática e a ocorrência de eventos meteorológicos extremos são de fundamental importância para os tomadores de decisões (ZAMANI; BAZRAFESHAN, 2020), visto que permite o planejamento de ações que possam prevenir e minimizar os danos e prejuízos causados por estes eventos extremos.

### **3.3 Índice de Concentração de Precipitação**

Proposto originalmente por Oliver (1980) e, posteriormente, desenvolvido por De Luis et al. (1997), o PCI permite avaliar o grau de concentração da precipitação com base na sua variabilidade mensal (SANGÜESA et al., 2018; ZHANG et al., 2019), possibilitando detectar mudanças nos padrões climáticos de uma determinada localidade, assim como investigar os riscos de eventos extremos dessa variável (LONGOBARDI et al., 2016; ZHANG et al., 2019).

O cálculo do PCI permite quantificar a distribuição dos padrões pluviométricos ao longo do ano (RAZIEI, 2018) e estimar a sazonalidade da precipitação (COSCARELLI; CALOIRO, 2012), podendo ser calculado para estações chuvosas e secas. De acordo com Oliver (1980), uma distribuição uniforme da precipitação é indicada por um baixo valor de PCI e à medida que este valor aumenta, mais concentrada é a precipitação.

De Luis et al. (2011) analisaram dados mensais de precipitação da Espanha utilizando o PCI, considerando o período entre 1946 e 2005, e encontraram mudanças significativas na precipitação que, segundo os autores, parecem estar relacionadas às características atmosféricas globais e fatores sinóticos e locais. Raziei et al. (2014) verificaram, por meio do PCI, que a precipitação no Irã é

regularmente distribuída ao longo do ano no norte do país, enquanto a região sul é caracterizada por uma forte sazonalidade. Apaydin et al. (2006) estudaram o comportamento da precipitação na Turquia e identificaram uma sazonalidade moderada para as chuvas. Valli et al. (2013) avaliaram as mudanças ocorridas na distribuição temporal da precipitação na Índia em escalas anuais e sazonais de 1981 a 2010 e identificaram que a área de estudo apresenta uma distribuição irregular da precipitação, com valores de PCI na faixa de 16 a 35. Back et al. (2020) realizaram análises nos dados pluviométricos de 208 estações da Região Sul do Brasil e encontraram uma distribuição uniforme da precipitação, com valores de PCI variando entre 8,4 e 10. Junqueira et al. (2020) analisaram a distribuição das chuvas no município de Juazeiro – BA no período de 1980-2012 e a partir do cálculo do PCI, encontraram uma alta irregularidade nos padrões de precipitação, indicando a possibilidade de ocorrência de eventos extremos.

### **3.4 Índice de Precipitação Padronizada**

O SPI foi desenvolvido por Mckee et al. (1993) e refere-se a uma ferramenta capaz de quantificar o déficit ou excesso de precipitação em diferentes escalas temporais, sendo um dos índices mais utilizados no mundo. Inicialmente Mckee et al. (1993) propuseram o cálculo do SPI exclusivamente para o monitoramento de secas, entretanto, devido a sua versatilidade, é possível determinar a raridade de uma seca ou de um evento úmido anômalo em um período específico para qualquer localidade do mundo que se tenha registros de precipitação (EDWARD; MCKEE, 1997).

Blain (2014) define o SPI como um algoritmo matemático projetado para detectar e caracterizar anomalias de precipitação relacionadas a uma condição climática esperada. Assim, valores negativos do SPI indicam precipitação abaixo do normal, enquanto valores positivos refletem precipitação acima da média.

A utilização do SPI apresenta as seguintes vantagens (MCKEE et al., 1993; HAYES et al., 1999; LLOYD-HUGHES; SAUNDERS, 2002; STEINEMANN et al., 2005):

- 1) O SPI é baseado apenas em dados de precipitação, de modo que a avaliação de períodos secos ou úmidos seja possível, mesmo que outras variáveis

meteorológicas não estejam disponíveis;

2) Apresenta a possibilidade de uso em múltiplas escalas temporais, permitindo monitorar condições de seca ou de chuva em curto, médio e longo prazo;

3) Por se tratar de um índice padronizado, sua utilização possibilita comparar regiões e climas totalmente distintos.

O cálculo do SPI é baseado no registro de precipitação de longo prazo (os dados devem ter uma extensão de pelo menos 30 anos), ajustado a uma distribuição de probabilidade que, posteriormente, é convertida em uma distribuição normal, de forma que o SPI médio para qualquer localidade e período seja zero (EDWARD; MCKEE, 1997; HAYES et al., 1999; ZARGAR et al., 2011). O SPI pode ser calculado em qualquer escala de tempo, no entanto, normalmente são utilizadas as escalas de 3, 6, 9, 12 e 24 meses (denominadas como SPI-3, SPI-6, SPI-9, SPI-12 e SPI-24, respectivamente).

O SPI-3 fornece uma estimativa da sazonalidade da precipitação e reflete as condições de umidade no solo a curto e médio prazo. O SPI-6 e SPI-9 indicam as tendências de médio prazo e os padrões de precipitação. Já o SPI-12 indica os padrões de precipitação de longo prazo, normalmente associados à falta de água, vazões, níveis de reservatórios e níveis freáticos (ZARGAR et al., 2011).

Desde que foi proposto, o SPI tem sido amplamente utilizado em diversas partes do mundo, como Hungria (SZALAI; SZINELL, 2000), Portugal (PAULO et al., 2003), Líbano (MAHFOUZ et al., 2006), Turquia (TONKAZ, 2006), Etiópia (EL KENAWY et al., 2016), Romênia (IONITA et al., 2016), Togo (KOU DAHE et al., 2017), dentre outros países. Lana et al. (2001) usaram o SPI para investigar os padrões de precipitação no período de 1961 a 1990 na Catalunha, Espanha. Na Argentina, Seiler et al. (2002) aplicaram o SPI na análise das três principais inundações ocorridas na província de Córdoba nos anos de 1979, 1986 e 1998. Os resultados obtidos indicaram que este índice explicou de forma satisfatória o desenvolvimento das condições desses eventos. Bordi et al. (2004) avaliaram a variabilidade da precipitação no leste da China e, aplicando o SPI, observaram que a partir da década de 1970 a parte norte do leste da China tem experimentado eventos de seca com mais frequência.

Karavitis et al. (2011) utilizaram o SPI para analisar as características da precipitação na Grécia no período de 1947 – 2004 e utilizando escalas de tempo de

1, 3, 6, 12 e 24 meses, os pesquisadores concluíram que o uso do SPI pode levar a uma melhor compreensão da duração, magnitude e extensão espacial das secas em regiões semiáridas. Farias et al. (2014) aplicaram o SPI em escalas temporais de 3, 6, 9, 12 e 24 meses para identificar e analisar os eventos de seca no município de Taperoá-PB. Utilizando dados pluviométricos do período de 1963 a 2013, os autores observaram que o município apresentou meses extremamente secos, seguidos de meses úmidos ou normais. Além disso, detectou-se a presença de secas moderadas, severas e extremas no período analisado, onde a categoria de seca moderada aconteceu com mais frequência. Brito et al. (2018) analisaram o comportamento das secas no semiárido nordestino entre 1981 e 2016. Utilizando o SPI e o Vegetation Health Index (VHI), os autores observaram que ambos os índices indicaram que as secas mais severas e prolongadas ocorreram entre 2011 e 2016, trazendo grandes impactos para a população e a economia.

Em Pernambuco, Guedes et al. (2016) aplicaram a metodologia do SPI nas escalas temporais de 3, 6, 12 e 24 meses para identificar e analisar os eventos secos e chuvosos ocorridos no estado durante o período de 1963 a 2013. Os resultados mostraram que os eventos chuvosos na categoria moderada ocorreram de 1963 a 1973 e de chuva severa em 1984. Já os eventos de seca na categoria moderada ocorreram em 1981 e 1983, enquanto os de seca extrema ocorreram em 1993, 1998 e 2012. Ainda segundo os autores, o SPI conseguiu identificar os eventos extremos ocorridos no estado e as suas intensidades.

### **3.5 Grau de Concentração de Precipitação e Período de Concentração de Precipitação**

O PCD e o PCP foram propostos por Zhang e Qian (2003) e referem-se a dois índices capazes de caracterizar quantitativamente a concentração e o grau de dispersão da precipitação ao longo do ano em uma determinada localidade (Zhang et al., 2020).

O PCD é um índice que expressa o grau de distribuição da precipitação total ao longo dos 12 meses do ano. Seu valor varia entre 0 e 1. Portanto, valores próximos a 0 indicam chuvas mais distribuídas ao longo do ano, enquanto valores próximos a 1 indicam chuvas concentradas em um curto período. Já o PCP representa o período (mês) em que a precipitação total se concentrou dentro de um

ano.

Desde que foram propostos, estes índices têm sido amplamente utilizados, principalmente na Ásia. No entanto, poucos estudos foram desenvolvidos no Brasil utilizando tais índices. Li et al. (2011) aplicaram a metodologia do PCP e PCD a dados de precipitação em Xinjiang, China com o objetivo de analisar a variabilidade espacial e temporal da precipitação. Os resultados do PCP revelaram que as chuvas na região estudada ocorrem principalmente no verão, enquanto os resultados do PCD indicaram que a precipitação no norte da região foi mais dispersa dentro de um ano do que no sul. Araújo (2013) utilizou o PCP e o PCD para caracterizar a variabilidade temporal da precipitação no estado do Rio do Grande do Norte e concluiu que no leste do estado, a precipitação é mais distribuída, tendo os meses de maio a agosto como os mais chuvosos, enquanto, no oeste do estado as chuvas se concentram entre março e abril. Back et al. (2020) avaliaram a variação espacial da concentração de chuvas na região Sul do Brasil e aplicando os índices PCP e PCD, encontraram valores inferiores a 0,30, indicando que nessa região não há concentração de chuva em um período específico. Já os valores de PCP indicaram que o período mais chuvoso ocorre de setembro a janeiro, sendo o mês de dezembro o mais chuvoso.

### **3.6 Índice de Anomalia de Chuva**

O RAI foi desenvolvido por Rooy (1965) e constitui-se de um índice que visa analisar e classificar as anomalias de precipitação de uma determinada região em diferentes níveis de intensidade, permitindo a identificação de eventos extremos e um melhor entendimento da distribuição espacial e temporal da precipitação da área estudada.

A utilização do RAI visa comparar os desvios de precipitação em diferentes regiões, revelando-se uma importante ferramenta para a análise da precipitação. Sua principal característica é a sua simplicidade procedimental, uma vez que necessita apenas de dados de precipitação para ser calculado. (Rooy, 1965; Repelli et al., 1998; Sanches et al., 2014).

Em seus estudos no estado do Ceará, Repelli et al. (1998) concluíram que o RAI é apropriado para a utilização em regiões semiáridas e/ou tropicais, principalmente para a região NEB. Marcuzzo et al. (2011) utilizaram a metodologia

do RAI para analisar a variação espacial, temporal e sazonal da precipitação pluvial no estado do Mato Grosso entre 1977 e 2006 e verificaram que no período analisado houve uma maior incidência de eventos secos do que eventos úmidos. Sanches et al. (2014) utilizaram o RAI para analisar a variabilidade da precipitação anual em Alegrete – RS no período de 1928 a 2009 e comparando os resultados deste índice com as ocorrências do ENOS e Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), os autores verificaram que os valores obtidos pelo RAI estão fortemente correlacionados com as fases quentes e frias da ODP, no entanto, ao comparar os valores do RAI com o fenômeno ENOS, verificou-se que houve uma maior correspondência dos dados com os anos sob o efeito do El niño do que com o efeito La Niña.

Estudos utilizando o RAI e conduzidos por Pereira et al. (2017) no Agreste de Pernambuco indicaram que a partir da década de 1990 houve uma diminuição de anos úmidos e um aumento de anos muito secos, evidenciando uma modificação nos padrões de precipitação e uma maior predominância de eventos de seca.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 Características geográficas do Estado de Pernambuco

O estado de Pernambuco, localizado no centro-leste da região NEB, ocupa uma área de 98.067,880 km<sup>2</sup>, correspondendo a cerca de 6% da área total da região e 1,2% da área do país. De configuração geográfica longitudinal, apresenta uma pequena faixa litorânea no sentido norte-sul (187 km) e uma grande extensão no sentido Leste-Oeste (748 km), limitando-se ao norte, com os estados da Paraíba e Ceará; ao sul, com os estados da Bahia e Alagoas; a leste com o Oceano Atlântico e, finalmente a oeste com o estado do Piauí, sendo dividido em cinco mesorregiões: Metropolitana do Recife, Zona da Mata, Agreste Pernambucano, Sertão Pernambucano e Sertão do São Francisco, conforme Figura 1.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Pernambuco possuía para 2020 uma população estimada em 9.616.621 habitantes, distribuídos entre 185 municípios, incluindo o arquipélago de Fernando de Noronha, distante 545 km da capital pernambucana, Recife.



Figura 1 - Mesorregiões do estado de Pernambuco

Fonte: Adaptado de CEPED (2013).

## 4.2 Características climáticas do estado de Pernambuco

Com cerca de 70% do seu território apresentando climas do tipo semiárido, o estado de Pernambuco tem características climáticas distintas que variam significativamente conforme a distância do mar e da altitude, chegando a apresentar regiões áridas na mesorregião do Sertão do São Francisco. Ao longo do Litoral e da região da Zona da Mata, o clima varia entre úmido e subúmido, enquanto as regiões no Agreste e Noroeste do estado apresentam o clima variando entre subúmido e subúmido seco. A Figura 2 apresenta as regiões climáticas do estado seguindo o índice de Thornthwaite (1948).

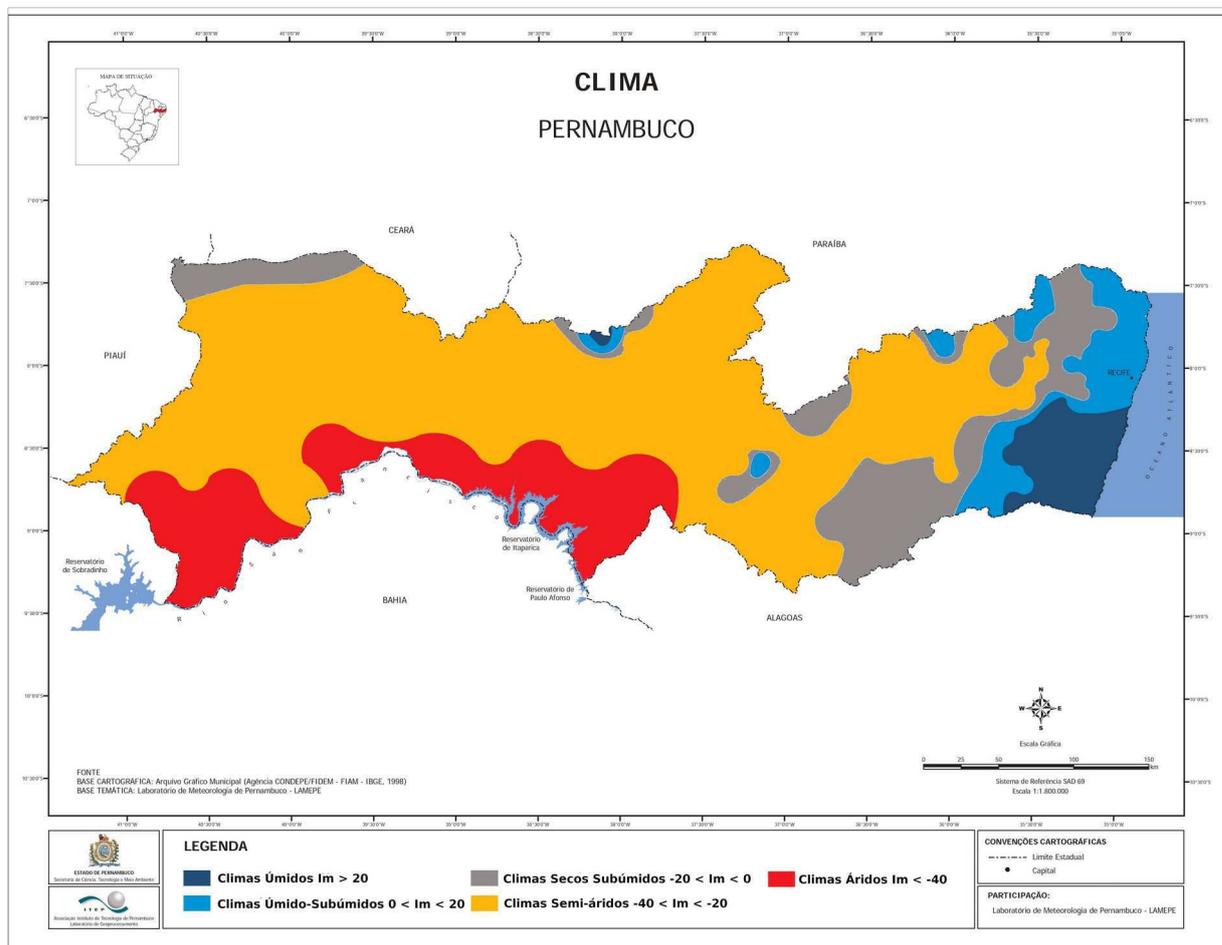


Figura 2 - Climas do estado de Pernambuco

Fonte: Adaptado de Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco (2012).

O Sertão de Pernambuco possui uma vasta extensão territorial – cerca de 63.000 km<sup>2</sup> –, temperatura média anual de 26 °C e grande amplitude térmica, com

temperaturas mínimas médias em torno de 19 °C e máximas médias em 34 °C, entre inverno e final da primavera, respectivamente. A região também é caracterizada por apresentar uma estação seca mais prolongada, com chuvas escassas e mal distribuídas durante todo o ano, onde os índices pluviométricos anuais variam entre 350 e 800 mm/ano (PERNAMBUCO, 2009; GUEDES, 2016). De acordo com Silva et al. (2010), o período chuvoso ocorre nos meses de janeiro a abril (60 a 70% do total anual), sendo março o mês mais chuvoso.

O Agreste é uma região intermediária entre as áreas de climas úmidos e secos, apresentando temperaturas heterogêneas em virtude das diferenciações do relevo e de outros fatores. Com índices pluviométricos anuais oscilando entre 500 e 1000 mm, o período chuvoso ocorre de fevereiro a junho no setor ocidental e de março a julho no setor oriental (GUEDES, 2012; MENDONÇA, 2016; SILVA, 2016).

A Zona da Mata e o Litoral de Pernambuco caracterizam-se predominantemente, por apresentar clima úmido, temperaturas médias anuais em torno de 24° C e índices pluviométricos sempre acima de 1400 mm, em média, chegando a atingir mais de 2000 mm nas localidades próximas à costa atlântica. Geralmente, essas regiões apresentam um período chuvoso mais extenso que as demais regiões, onde as chuvas se iniciam em março e podem estender-se até agosto (PERNAMBUCANO, 2013; MENDONÇA, 2016).

### **4.3 Aspectos do Relevo do Estado de Pernambuco**

O estado de Pernambuco exhibe um relevo moderado, com altitudes pouco elevadas – cerca de 76% do território estadual encontra-se em altitudes abaixo de 600 metros – e crescentes do litoral ao sertão. O relevo do estado é formado por três unidades geomorfológicas principais: Baixada Litorânea, Planalto da Borborema e Depressão Sertaneja (BRASIL, 1973; PERNAMBUCO, 2013).

A Baixa Litorânea é constituída por áreas planas e baixas que acompanham a orla marítima ou seguem alguns quilômetros pelo interior, apresentando quase que em sua totalidade, altitudes abaixo de 200 m e que se elevam significativamente a oeste à medida que se aproxima do Planalto da Borborema.

O Planalto da Borborema é o relevo mais representativo do estado e compreende uma área que surge a 70 km do litoral em direção ao agreste, exibindo diferentes padrões de relevo com altitudes médias em torno de 600 m e pontos que

superam os 1000 m de altitude, como, por exemplo, a Serra do Ponto, que está localizado no município de Brejo da Madre de Deus e é o ponto mais alto do estado, apresentando 1195 m de altitude no seu cume, o Pico da Boa Vista (PERNAMBUCO, 2017).

Também conhecida como “Depressão Semiárida”, a Depressão Sertaneja é um dos mais extensos relevos do estado de Pernambuco. Nesta região, dominam áreas pediplanizadas e com altitudes variando entre 400 e 500 metros, apresentando maiores elevações no noroeste do estado, na Chapada do Araripe, com altitudes compreendidas entre 600 e 900 m (ANDRADE, 1999). A Figura 3 apresenta a distribuição espacial do relevo sobre todo o Estado.

### RELEVO DE PERNAMBUCO

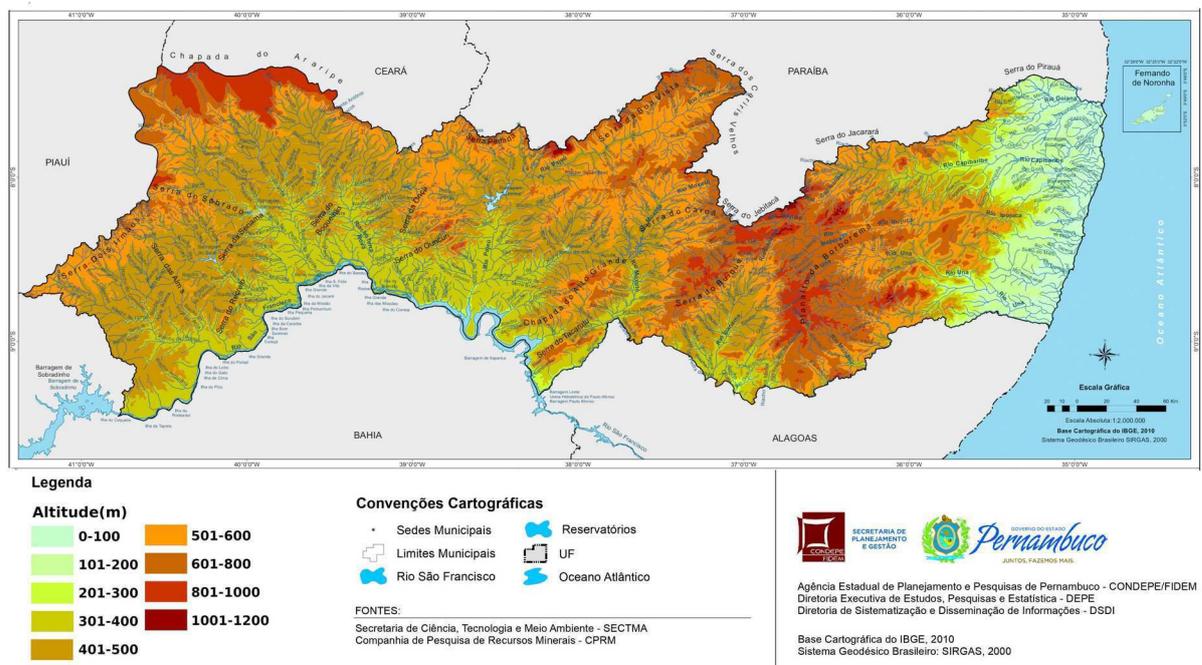


Figura 3 - Relevo do estado de Pernambuco

Adaptado de Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco – CONDEPE/FIDEM.

#### 4.4 Sistemas meteorológicos atuantes em Pernambuco

Segundo Molion e Bernardo (2002), a região NEB apresenta uma acentuada variabilidade interanual em relação à precipitação, tanto nas escalas espacial quanto temporal, constituindo assim, uma das características mais marcantes do clima na região. Isto acontece devido à influência da variabilidade da TSM no Pacífico

Equatorial e no Atlântico Tropical com fases anômalas em cada um dos oceanos, correspondendo as configurações de El Niño, La Niña e do Gradiente Meridional de Anomalia de TSM no Atlântico Tropical (ANDREOLI; KAYANO, 2007). Essas configurações determinam a atuação e a intensidade dos diversos sistemas meteorológicos que agem nessa região. As fases positivas do ENOS (El niño) e do Gradiente Meridional de Anomalia de TSM no Atlântico Tropical (presença de anomalias positiva no Atlântico Norte e negativa no Atlântico Sul) levam à diminuição da precipitação na região NEB, enquanto que, nas fases negativas do ENOS (La niña) e do Gradiente Meridional de Anomalia de TSM no Atlântico Tropical há o favorecimento de precipitação acima da média sobre a região NEB (ANDREOLI; KAYANO, 2007; NÓBREGA et al., 2016).

Segundo a Secretaria de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco (SECTMA, 1998), os principais sistemas meteorológicos responsáveis pelas chuvas no estado de Pernambuco são a ZCIT que foi reconhecida por Serra (1941) e corroborada por Hastenrath e Heller (1977), Ferreira e Mello (2005) e Silva et al. (2017), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (YAMAZAKI; RAO, 1977; MACHADO et al., 2012), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (ARAGÃO, 1975; KOUSKY; GAN, 1981; FERREIRA et al., 2019), as Frentes Frias (SERRA, 1941; ARAGÃO, 1975; KOUSKY, 1979; FERREIRA; MELLO, 2005; LIEBMANN et al., 2011), além de sistemas de brisas marítimas e terrestres.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Dados pluviométricos

Este trabalho iniciou-se com a organização de um banco de dados formado por séries temporais de precipitação diária medidas no estado de Pernambuco. Os registros das estações foram obtidos na base de dados da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) e o do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), onde foi possível selecionar 38 séries consistentes, bem distribuídas espacialmente, no período de 1990 a 2020.

A princípio, foram priorizadas as estações em operação, com um maior registro de dados e com períodos em comum e, atendendo a esses pré-requisitos, iniciou-se o primeiro e maior descarte, sendo selecionados, inicialmente, 72 postos pluviométricos. Em seguida, examinou-se a configuração espacial das estações selecionadas e analisou-se detalhadamente os dados de precipitação, no entanto, muitas dessas estações não passaram no controle de qualidade por conterem muitas falhas ou dados duvidosos. Portanto, ao final dessa avaliação, foram selecionados 38 postos pluviométricos dentro dos requisitos mínimos estabelecidos, onde observou-se que o período que apresentava dados mais consistentes era o de 1990 a 2020, sendo este o adotado nesse trabalho.

Na Tabela 1 encontram-se a identificação e localização de todos os postos pluviométricos utilizados neste trabalho. Já na Figura 4, observa-se a espacialização dos postos selecionados sobre o estado de Pernambuco.

Tabela 1 - Postos pluviométricos selecionados e suas respectivas coordenadas geográficas

Nº	Posto	Mesorregião	Operadora	Latitude	Longitude	Altitude
1	Afrânio	MSF	APAC	-8,52	-41,01	522,9
2	Araripina	MSP	APAC	-7,58	-40,51	639,5
3	Arcoverde	MSP	INMET	-8,43	-37,06	683,91
4	Barreiros	MZM	APAC	-8,81	-35,2	13,9
5	Belém do São Francisco	MSF	APAC	-8,76	-38,98	309
6	Belo Jardim	MAP	APAC	-8,34	-36,43	612,8
7	Betânia	MSP	APAC	-8,27	-38,03	440,4
8	Bom Jardim	MAP	APAC	-7,8	-35,57	342,8
09	Caruaru (IPA)	MAP	APAC	-8,24	-35,92	608,5
10	Correntes	MAP	APAC	-9,13	-36,33	399,1

11	Cortês	MZM	APAC	-8,5	-35,51	195,2
12	Flores	MSP	APAC	-7,87	-37,97	480,9
13	Floresta	MSF	APAC	-8,62	-38,57	318,1
14	Frei Miguelinho	MAP	APAC	-7,93	-35,85	396
15	Garanhuns	MAP	INMET	-8,91	-36,5	827,78
16	Ibimirim	MSP	APAC	-8,54	-37,68	395
17	Igarassu	MMR	APAC	-7,84	-35,03	56
18	Iguaraci	MSP	APAC	-7,83	-37,37	590,1
19	Inajá	MSP	APAC	-8,9	-37,82	359
20	Itambé	MZM	APAC	-7,41	-35,18	142,8
21	Moreilândia	MSP	APAC	-7,61	-39,55	502
22	Parnamirim	MSP	APAC	-8,09	-39,58	392,1
23	Paudalho	MZM	APAC	-7,92	-35,17	167,1
24	Pesqueira	MAP	APAC	-8,35	-36,7	667,9
25	Petrolina	MSF	INMET	-9,39	-40,52	372,54
26	Recife	MMR	INMET	-8,06	-34,96	11,3
27	Riacho das Almas	MAP	APAC	-8,14	-35,86	410,2
28	Salgueiro	MSP	APAC	-8,07	-39,13	444,3
29	Santa Cruz da Vereneda	MSP	APAC	-8,24	-40,34	514,1
30	Santa Cruz do Capibaribe	MAP	APAC	-7,95	-36,2	446,5
31	Santa Maria da Boa Vista	MSF	APAC	-8,8	-39,82	361
32	São Bento do Una	MAP	APAC	-8,53	-36,46	617,3
33	São Lourenço da Mata	MMR	APAC	-8,04	-35,17	87
34	Serra Talhada	MSP	APAC	-7,99	-38,29	437,5
35	Sertânia	MSP	APAC	-8,07	-37,26	555
36	Surubim	MAP	INMET	-7,84	-35,8	421,44
37	Tacaratu	MSF	APAC	-9,11	-38,15	518,2
38	Vitória de Santo Antão	MZM	APAC	-8,13	-35,3	166,7

Legenda: MAP: Agreste Pernambucano; MMR: Metropolitana do Recife; MSF: Sertão do São Francisco; MSP: Sertão Pernambucano; MZM: Zona da Mata.

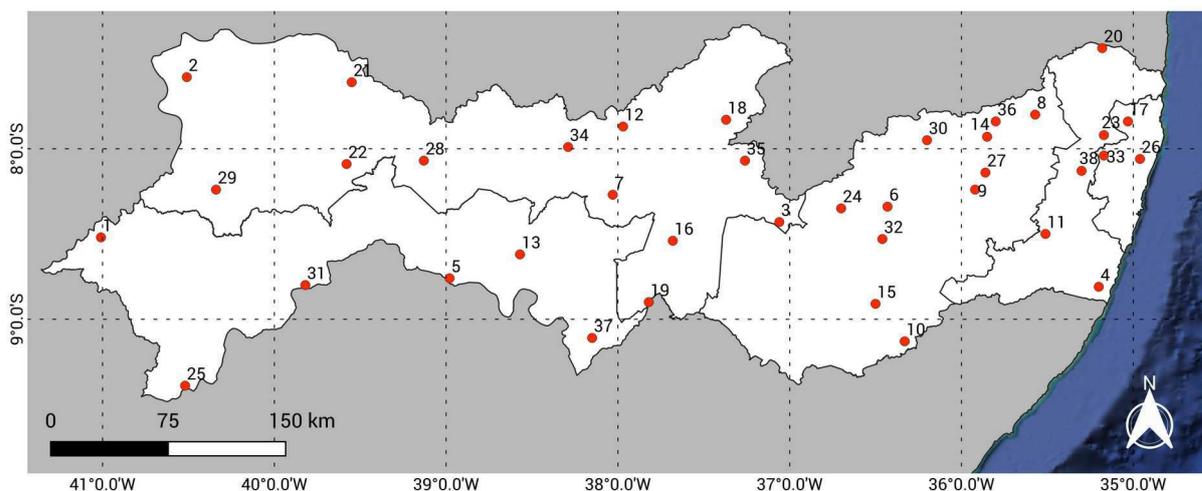


Figura 4 - Distribuição espacial dos postos pluviométricos selecionados

## 5.2 Metodologia

### 5.2.1 Cálculo do Índice de Concentração de Precipitação

O PCI é expresso por:

$$PCI = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{12} p_i\right)^2} \quad (1)$$

onde,  $p_i$  é a precipitação mensal no mês  $i$ .

De acordo com Michiels et al. (1992), a concentração sazonal da precipitação é classificada conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Classificação do Índice de Concentração de Precipitação

PCI	Concentração Sazonal
$PCI \leq 10$	Uniforme
$10 < PCI < 15$	Moderadamente sazonal
$16 < PCI \leq 20$	Sazonal
$PCI > 20$	Fortemente sazonal

Fonte: Adaptado de Michiels et al. (1992).

Para ilustrar como o índice classifica a concentração da precipitação em um determinado ano temos, na Tabela 3, uma série de precipitação hipotética, onde pode ser observada a precipitação mensal de cada ano (em mm) e o valor do PCI para o respectivo ano. Ao analisar a tabela, podemos observar que o ano de 1990 apresentou uma precipitação bem distribuída ao longo do ano, podendo ser classificada como uniforme. O ano de 1991 caracterizou-se por apresentar chuvas distribuídas em todos os meses do ano, apresentando uma maior concentração da precipitação na segunda metade do ano, sendo classificada como moderadamente sazonal. Nos anos de 1992 e 1993, a distribuição da precipitação se apresentou como fortemente sazonal, uma vez que nesses anos as chuvas estiveram concentradas em um único mês ou em poucos meses do ano. Já o ano de 1994 apresentou um PCI de 16,66, classificando as chuvas desse ano como sazonais.

Tabela 3: Exemplo de como o PCI classifica a concentração da precipitação

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	PCI
1990	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	8,33
1991	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	10,68
1992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	100
1993	0	0	0	0	30	30	30	30	0	0	0	0	25
1994	30	30	0	0	30	30	0	0	30	30	0	0	16,66

### 5.2.2 Cálculo do Índice de Precipitação Padronizada (SPI)

Como mencionado anteriormente, o cálculo do SPI consiste inicialmente no ajuste de uma função densidade de probabilidade à distribuição de frequência da precipitação na escala temporal desejada. Devido à distribuição assimétrica da precipitação, geralmente é utilizada a distribuição gama para representar a distribuição teórica dessa variável. De acordo Wilks (1990), a distribuição gama descreve adequadamente o comportamento da precipitação utilizando apenas dois parâmetros (forma e escala) e por esse motivo têm sido amplamente utilizada na climatologia. Para verificar a aderência das séries temporais de precipitação à distribuição de probabilidade gama foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%, onde foram consideradas as seguintes hipóteses:

$H_0$ : a distribuição gama se ajusta a série de dados;

$H_1$ : a distribuição gama não se ajusta a série de dados.

A distribuição gama é definida pela função densidade de probabilidade como:

$$g(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \cdot x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (2)$$

onde:

$\alpha > 0$  é o parâmetro de forma;

$\beta > 0$  é o parâmetro de escala;

$x > 0$  é a quantidade de chuva precipitada;

$\Gamma(\alpha)$  é a função gama.

A função gama é dada por:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (3)$$

Para a estimativa dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ , utiliza-se o método da Máxima

Verossimilhança de Thom (1958), em que:

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

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (6)$$

onde  $n$  é o número de observações da amostra,  $\bar{x}$  é o valor médio da precipitação e  $x_i$  são as precipitações observadas.

Os parâmetros resultantes são então utilizados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação para a escala de tempo desejada. Logo, tem-se que a probabilidade cumulativa é dada pela equação:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (7)$$

Fazendo  $t = \frac{x}{\beta}$ , a equação (7) transforma-se na função gama incompleta:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (8)$$

A função gama não está definida para  $x = 0$ , no entanto, como a série histórica pode conter zeros, a probabilidade cumulativa toma o seguinte aspecto:

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \quad (9)$$

onde:

$H(x)$  é a distribuição de probabilidade cumulativa;

$q$  é a probabilidade de ocorrência de valores nulos na amostra analisada. Se  $m$  é o número de zeros em uma série de precipitação, Thom (1958) indica que  $q$  pode ser estimado por  $m/n$ .

Fazendo uso da aproximação matemática descrita em Abramowitz e Stegun (1965) que converte a probabilidade cumulativa em uma variável aleatória normalizada ( $Z$ ), tem-se:

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (10)$$

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad (11)$$

Sendo,  $c_0 = 2,515517$ ;  $c_1 = 0,802853$ ;  $c_2 = 0,010328$ ;  $d_1 = 1,432788$ ;  $d_2 = 0,189269$  e  $d_3 = 0,001308$ .

E  $t$  definido pelas equações (12) e (13):

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)}, \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (12)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)}, \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad (13)$$

A Tabela 4 apresenta a classificação do SPI adotada neste trabalho.

Tabela 4 - Classificação do Índice de Precipitação Padronizada

SPI	Classificação
$\geq 2,00$	Chuva extrema
1,99 a 1,50	Chuva severa
1,49 a 1,00	Chuva moderada
0,99 a 0,50	Chuva fraca
0,49 a -0,49	Normal
-0,50 a -0,99	Seca fraca
-1,00 a -1,49	Seca moderada
-1,50 a -1,99	Seca severa
$\leq -2,00$	Seca extrema

Fonte: Mckee et al. (1993).

### 5.2.3 Cálculo do Grau de Concentração de Precipitação e Período de Concentração de Precipitação

Para o cálculo do PCD e PCP, parte-se do pressuposto que os dados de precipitação mensal ( $r$ ) são vetores, orientados para a direção radial em um círculo trigonométrico, onde os ângulos indicam os meses do ano. Dessa forma, utilizando as decomposições desses vetores no plano, podem ser expressas as seguintes equações:

$$R_x = \sum_{i=1}^{12} r_{xi} = \sum_{i=1}^{12} r_i \text{sen} \theta_i \quad (14)$$

$$R_y = \sum_{i=1}^{12} r_{yi} = \sum_{i=1}^{12} r_i \cos \theta_i \quad (15)$$

em que:

$i$  representa o número do mês do ano;

$\theta$  é o ângulo associado a cada um dos meses do ano, podendo variar de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ ;

$R_x$  e  $R_y$  representam o somatório das projeções dos vetores que indicam as precipitações mensais nos eixos x e y, respectivamente.

A partir das equações (14) e (15), o PCD e o PCP são dados da seguinte forma:

$$PCD = \frac{\sqrt{(R_x^2 + R_y^2)}}{\psi}, \text{ onde } \psi = \sum_{i=1}^{12} r_i \quad (16)$$

$$PCP = \tan^{-1} \left( \frac{R_x}{R_y} \right) \quad (17)$$

A Tabela 5 apresenta a relação entre os valores do PCP e o mês ao qual ele corresponde:

Tabela 5 - Meses correspondentes a cada valor de PCP

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
PCP	$0^\circ$	$30^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$	$150^\circ$	$180^\circ$	$210^\circ$	$240^\circ$	$270^\circ$	$300^\circ$	$330^\circ$

Fonte: Li et al., (2011).

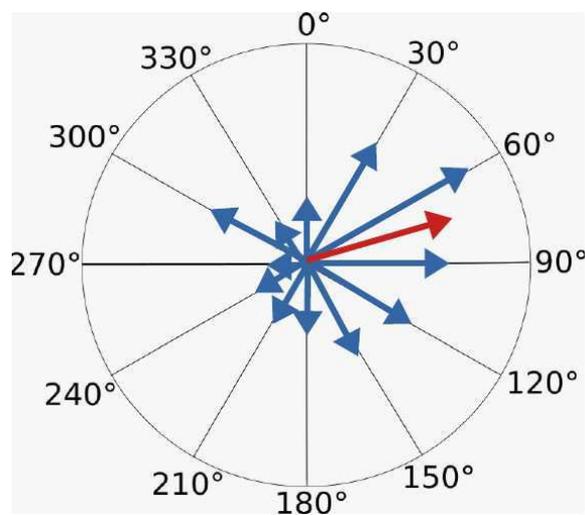


Figura 5 - Exemplo do resultado do PCP com chuvas concentradas no mês de março

Na Figura 5, temos um exemplo do PCP, onde o comprimento das setas azuis

indica a magnitude das chuvas ao longo de um ano qualquer e a seta vermelha representa o vetor resultante que indica o período no qual as chuvas estiveram concentradas nesse ano. Em relação ao PCD, caso o seu valor fosse máximo, a figura apresentaria uma única seta azul, que coincidiria com a seta vermelha do PCP e, caso fosse mínimo, haveriam 12 setas de mesmo comprimento para cada um dos meses.

#### 5.2.4 Índice de Anomalia de Chuva

Para determinar o Índice de Anomalia de Chuva, utilizou-se a metodologia desenvolvida por Rooy (1965), a qual é apresentada nas equações (18) e (19):

$$RAI = 3 \left[ \frac{(P - \bar{P})}{(\bar{M} - \bar{P})} \right], \text{ para anomalias positivas} \quad (18)$$

$$RAI = -3 \left[ \frac{(P - \bar{P})}{(\bar{X} - \bar{P})} \right], \text{ para anomalias negativas} \quad (19)$$

em que:

$P$  é a precipitação observada (mm) no ano que será calculado o RAI;

$\bar{P}$  é a precipitação média anual da série histórica (mm);

$\bar{M}$  e  $\bar{X}$  representa a média dos dez maiores e menores valores de precipitação anual da série histórica (mm), respectivamente.

A partir dos valores encontrados, a precipitação pode ser classificada de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação do Índice de Anomalia de Chuva

<b>RAI</b>	<b>Classe de Intensidade</b>
$\geq 4,00$	Extremamente úmido
3,00 a 3,99	Umidade alta
2,00 a 2,99	Umidade moderada
0,5 a 1,99	Umidade baixa
-0,49 a 0,49	Normal
-1,99 a -0,5	Seca suave
-2,00 a -2,99	Seca moderada
-3,00 a -3,99	Seca alta
$\leq -4,00$	Extremamente seco

Fonte: Fernandes et al (2009).

#### 5.2.5 Avaliação de tendências e mudanças na série temporal

Para identificar e analisar as tendências nos dados de precipitação das séries

estudadas foram aplicados dois testes não paramétricos: o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), para detectar a presença de uma tendência crescente ou decrescente e, o teste estimador Sen's Slope (Sen's slope) (Sen, 1968), para estimar a magnitude das tendências detectadas nas séries históricas.

### 5.2.5.1 Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall é um teste não paramétrico comumente utilizado para verificar se uma determinada série histórica apresenta uma tendência estaticamente significativa, sendo o seu uso fortemente recomendado pela OMM principalmente para identificar tendências em séries hidrológicas (YU et al., 2002; HUANG et al., 2014).

Para a aplicação desse método, consideram-se duas hipóteses a serem testadas:

$H_0$  (hipótese nula): as observações da série são independentes e identicamente distribuídas, ou seja, não existe tendência na série analisada;

$H_1$  (hipótese alternativa): existe uma tendência na série analisada.

Sendo assim, a estatística  $S$  do método de Mann-Kendall é dada por:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (20)$$

onde  $n$  é o tamanho da série temporal,  $x_j$  e  $x_k$  são os valores dos dados nas séries temporais  $j$  e  $k$ , respectivamente, e  $\text{sgn}(x_j - x_k)$  é a função sinal definida como:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & ; \text{ se } x > 0 \\ 0 & ; \text{ se } x = 0 \\ -1 & ; \text{ se } x < 0 \end{cases} \quad (21)$$

Mann (1945) e Kendall (1975) mostraram ainda que, para amostras com  $n \geq 8$ , a estatística  $S$  segue aproximadamente uma distribuição normal, na qual a sua média  $E(S)$  e variância,  $\text{Var}(S)$ , são dadas pelas equações (22) e (23):

$$E(S) = 0 \quad (22)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (23)$$

em que:  $n$  é o número de observações e, considerando que a série possa ter grupos com observações iguais,  $p$  é o número de grupos com observações iguais e  $t_j$  é o número de observações iguais no grupo  $j$ .

O teste estatístico parametrizado ( $Z_{MK}$ ) é computado pela seguinte equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}; \text{ para } S > 0 \\ 0; \text{ para } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}; \text{ para } S < 0 \end{cases} \quad (24)$$

A significância da tendência pode ser verificada ao se comparar o valor absoluto de  $Z_{MK}$  com o da variável normal padronizada para um dado nível de significância  $\alpha$  escolhido. Caso  $|Z_{MK}| > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ , a hipótese nula é rejeitada e considera-se que existe tendência na série analisada. Para o teste de Mann-Kendall, neste estudo, foi adotado o nível de significância  $\alpha$  igual a 0,05.

### 5.2.5.2 Estimador Sen's Slope

Enquanto o teste de Mann-Kendall apenas identifica se uma tendência é estaticamente significativa ou não, o teste não paramétrico desenvolvido por Sen (1968) identifica a magnitude desta tendência. Portanto, se há a presença de uma tendência em uma série temporal, realiza-se a estimativa da sua inclinação (variação por unidade de tempo), assumindo que esta seja linear. Isto significa que:

$$f(t) = Qt + B \quad (25)$$

onde  $f(t)$  é a função que representa a evolução da série temporal, podendo ser crescente ou decrescente,  $t$  é em unidade de tempo,  $Q$  é a inclinação e  $B$  é uma constante.

Para obter a estimativa da inclinação  $Q$ , calculam-se as inclinações de todos os pares dos dados (GOCIC; TRAJKOVIC, 2013):

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}, \text{ para } i = 1, 2 \dots n \quad (26)$$

onde  $x_j$  e  $x_k$  são os valores dos dados no tempo  $j$  e  $k$  ( $j > k$ ), respectivamente.

Se existem  $n$  valores  $x_j$  no conjunto de dados, então obtêm-se  $N = \frac{n(n-1)}{2}$  estimativas de inclinação  $Q_i$ . Os  $N$  valores de  $Q_i$  são classificados do menor para o maior e a mediana do estimador de inclinação de Sen ( $Q_{med}$ ) é calculada como:

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{(N+1)/2}; & \text{se } N \text{ for ímpar} \\ \frac{1}{2}(Q_{(N/2)} + Q_{(N+2)/2}); & \text{se } N \text{ for par} \end{cases} \quad (27)$$

Um valor positivo de  $Q_{med}$  indica uma tendência de crescimento na série temporal, enquanto um valor negativo de  $Q_{med}$  representa uma tendência de decréscimo na série temporal.

### 5.3 Processamento dos Dados

Para processar os dados e calcular os índices climáticos utilizados nesta pesquisa, fez-se o uso do LibreOffice Calc, para a organização do banco de dados de precipitação, manipulação de dados e geração de gráficos, do software R (versão 3.6.3, disponível em: <<https://cran.r-project.org/>>), do software Surfer e da linguagem de programação Python.

O R é um software livre, gratuito e de código aberto, onde os seus usuários podem executar, copiar, adaptar ou modificar o programa da forma que preferirem, desde que sua distribuição sigam os termos da licença original. O R é amplamente utilizado no desenvolvimento de cálculos estatísticos e na construção de gráficos. Nesse estudo, fez-se o uso do Rstudio versão 1.14.1717 (disponível em <<https://www.rstudio.com/>>), que é um ambiente de desenvolvimento integrado para o R. Para verificar se as séries temporais de precipitação se ajustavam a uma distribuição gama foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov, que verifica se determinada amostra vem de uma população com uma distribuição específica. Portanto, antes de aplicar o teste, foi necessário estimar os parâmetros da distribuição gama que se adequavam aos dados de precipitação. Para calcular esse parâmetros, foi utilizada a função "fitdist" do pacote "fitdistrplus" e, em seguida, aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov através da função "ks.test". Para calcular

os índices PCI, SPI e RAI foi utilizado o pacote “Precintcon” desenvolvido por Povia e Nery (2016) e para avaliar as tendências e mudanças nas séries temporais foi utilizado o pacote “Trend”, também do Rstudio.

Para o cálculo do PCD e do PCP foi utilizada a linguagem de programação Python 3.8.10 através da interface Spyder 3.3.6, onde foi desenvolvido um pequeno algoritmo capaz de calcular estes índices.

Por fim, a interpolação espacial e a plotagem dos mapas foi feita utilizando o software Surfer 10.0, com base no método de interpolação “Kriging”.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 foi elaborada para retratar a distribuição espacial da precipitação média anual do estado de Pernambuco no período de 1990 a 2020. Nota-se que os maiores índices pluviométricos se concentram na mesorregião Metropolitana do Recife, apresentando precipitações superiores a 1200 mm/ano, e na Zona da Mata, com acumulados superiores a 900 mm/ano. Nessas mesorregiões, esse elevado índice pluviométrico já era esperado, uma vez que nessas localidades, devido a proximidade com o oceano, há a influência de sistemas meteorológicos que atuam na parte leste do estado, proporcionando chuvas anuais variando até 2200 mm (BARBOSA JÚNIOR, 2011). Na mesorregião do Agreste Pernambucano, quase todas as áreas estão na faixa dos 500 a 700 mm/ano, chegando a apresentar acumulados inferiores em pequenas áreas na região do Agreste Setentrional, enquanto algumas faixas na região do Agreste Meridional apresentam acumulados superiores a 800 mm/ano. As mesorregiões do Sertão e Sertão do São Francisco são as que apresentam os menores valores nos índices pluviométricos, com precipitações entre 300 e 700 mm/ano na mesorregião do Sertão do São Francisco e acumulados na faixa dos 400 a 700 mm/ano na mesorregião do Sertão Pernambucano.

Esses resultados assemelham-se as análises feitas por Guedes (2016), que observou precipitações superiores a 1000 mm/ano no litoral e Zona da Mata, acumulados entre 600 a 800 mm/ano na mesorregião do Agreste Pernambucano e precipitações entre 400 e 500 mm/ano nas mesorregiões do Sertão e Sertão do São Francisco, e por Andrada et al. (2018), que observaram que no Agreste Meridional a precipitação média é de 944,44 mm/ano, onde ambos os estudos foram feitos no estado de Pernambuco.

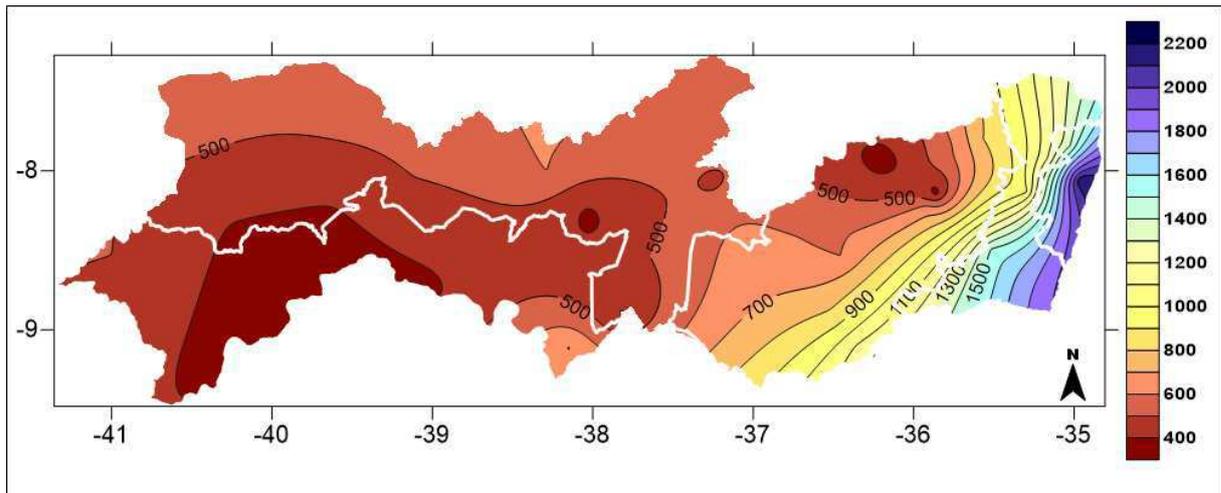


Figura 6 - Distribuição espacial da precipitação média anual do estado de Pernambuco no período de 1990 a 2020

A Figura 7 ilustra o comportamento da precipitação média anual para cada mesorregião do estado de Pernambuco no período de estudo. Analisando o gráfico, é possível observar a variabilidade interanual ao longo de toda a série temporal, onde este comportamento pode ser explicado pela geografia local e pela atuação de fenômenos atmosféricos e oceânicos, a partir das teleconexões, dentre os quais podemos destacar o ENOS e o Gradiente Meridional de Anomalia de TSM no Atlântico Tropical.

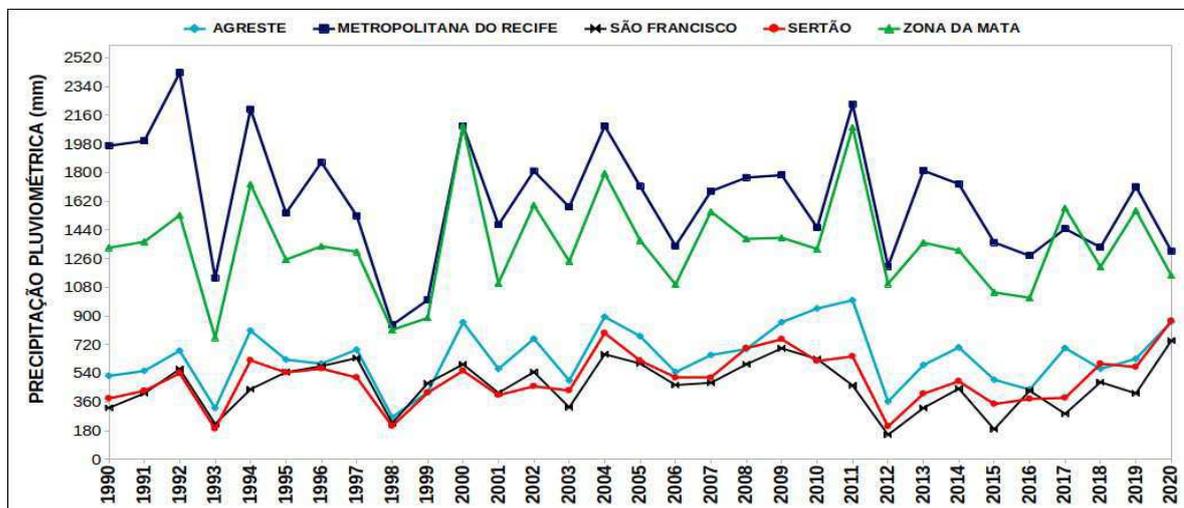


Figura 7 - Precipitação média anual nas mesorregiões pernambucanas entre 1990 e 2020

As maiores médias de precipitações anuais ocorreram nas mesorregiões Metropolitana do Recife e da Zona da Mata, onde se verifica que os anos com a maior pluviosidade média foram 1992, com volume médio de 2426,3 mm, e 2011, com média de 2228,46 mm, na mesorregião Metropolitana do Recife e o ano de

2000, com volume médio de 2091,98 mm, e 2011, com volume médio de 2082,8 mm, na Zona da Mata, concordando com Almeida et al. (2020) que, ao analisarem a variabilidade das precipitações pluviométricas entre 2000 a 2018 no estado de Pernambuco, encontraram os maiores índices pluviométricos nos anos de 2011, 2004 e 2000 para a Mesorregião Metropolitana do Recife. Já os anos com a menor pluviosidade média foram o de 1998, com média de 842,93 mm, e 1999, com volume médio de 999,5 mm, na mesorregião Metropolitana do Recife e os anos de 1993, com média de 763 mm, e 1998, com média de 812,18 mm, na mesorregião da Zona da Mata. O ano de 1998 foi caracterizado por apresentar seca extrema em toda a Região Nordeste, onde o estado de Pernambuco, como um todo, apresentou déficit hídrico, afetando o desenvolvimento das atividades econômicas, as reservas hídricas e o abastecimento humano (SOUZA et al., 1999).

Na mesorregião do Agreste, os três anos mais chuvosos foram, respectivamente, 2011, 2010 e 2004, enquanto os três anos mais secos foram 1998, 1993 e 2012, com chuvas inferiores a 370 mm. Concordando com os anos mais secos identificados por Pereira et al. (2017), onde os municípios do Agreste Central de Pernambuco decretaram estado de calamidade pública e/ou emergência, ocasionado pela seca e/ou estiagem. Ainda segundo Pereira et al. (2017), as áreas rurais foram as que sofreram os maiores impactos, sendo registrados grandes prejuízos na agricultura, como perdas na produção de grãos, cereais, leguminosas, fruticulturas e horticulturas, e na pecuária, onde houveram perdas consideráveis de grande e pequeno porte e baixa produtividade de leite. Além disso verifica-se que de 2009 para 2010, todas as mesorregiões apresentaram redução nos seus índices pluviométricos, com exceção da mesorregião do Agreste.

As mesorregiões do Sertão Pernambucano e do Sertão do São Francisco foram as que apresentaram as menores precipitações, com destaque para o ano de 2020 como o mais chuvoso em ambas as mesorregiões, com o volume médio de 865,75 mm no Sertão Pernambucano e de 745,3 mm na mesorregião do Sertão do São Francisco. Por outro lado, os anos com a menor pluviosidade média foram 1993, quando o volume médio foi 191,2 mm, e 2012, com média de 206 mm, na mesorregião do Sertão Pernambucano e 2012, com valores médios de 153,45 mm, e 2015, com volume médio de 188,2 mm, na mesorregião do Sertão do São Francisco. Vale destacar ainda que a maioria dos anos com precipitação abaixo da média estiveram associadas à ocorrência do fenômeno El Niño e/ou a fase positiva

do Gradiente Meridional de Anomalia de TSM no Atlântico Tropical (COSTA et al., 2021).

Analisando a Figura 8 e considerando a variação média mensal da precipitação em dois períodos de seis meses cada, pode-se inferir que o período úmido das mesorregiões Metropolitana do Recife (Figura 8a), Zona da Mata (Figura 8b) e do Agreste Pernambucano (Figura 8c) ocorreram de março a agosto, onde os meses de junho e julho apresentaram os maiores registros de precipitação, enquanto que, os demais meses, em especial o mês de novembro, foram os mais secos, corroborando com os resultados obtidos por Santos et al. (2014), Mendonça (2016) e Pereira et al. (2017).

Nas mesorregiões do Sertão Pernambucano (Figura 8d) e Sertão do São Francisco (Figura 8e), verifica-se que o período chuvoso ocorreu de dezembro a maio, apresentando precipitações máximas nos meses de fevereiro e março, e que o período seco ocorreu nos demais meses do ano, onde o mês de setembro se mostrou como o mais seco em ambas as mesorregiões. Resultados semelhantes foram encontrados por Alves et al. (2016), Mendonça (2016), Silva et al. (2018) e Costa et al. (2021). De acordo com Araújo et al. (2009), nessas mesorregiões, o mês de março é o mais significativo em termos de precipitação devido a atuação da ZCIT que, quando se torna influente no estado, alcança o seu máximo nesse mês.

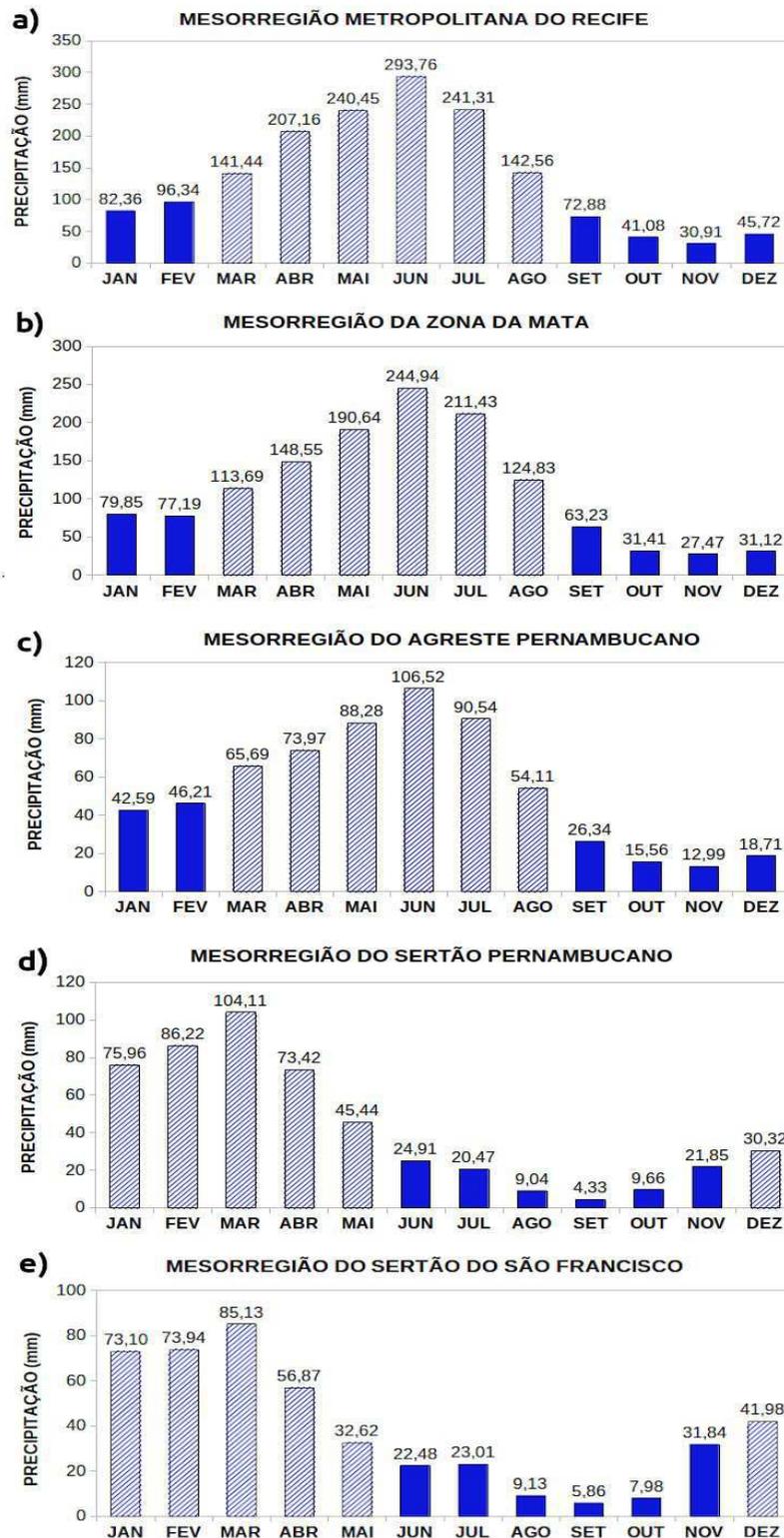


Figura 8 - Precipitação pluviométrica mensal nas mesorregiões a) Metropolitana do Recife, b) Zona da Mata, c) Agreste Pernambuco, d) Sertão Pernambuco, e) Sertão do São Francisco, com destaque para o meses chuvosos no período de 1990 a 2020.

## 6.1 Análise do Índice de Concentração de Precipitação

Conforme mostra a Figura 9, dos 31 anos avaliados, nenhuma mesorregião do estado apresentou distribuição uniforme da precipitação ( $PCI \leq 10$ ). De acordo com Souza et al. (2021), esse resultado pode estar relacionado ao fato de que o PCI médio de uma determinada localidade é consideravelmente influenciado pela variabilidade espacial do clima.

Os valores do PCI médio anual para o estado de Pernambuco variaram entre 13,0 e 31,0, onde os maiores valores foram observados nas mesorregiões do Sertão Pernambucano e Sertão do São Francisco, e os menores valores nas mesorregiões Metropolitana do Recife e Zona da Mata (Figura 10).

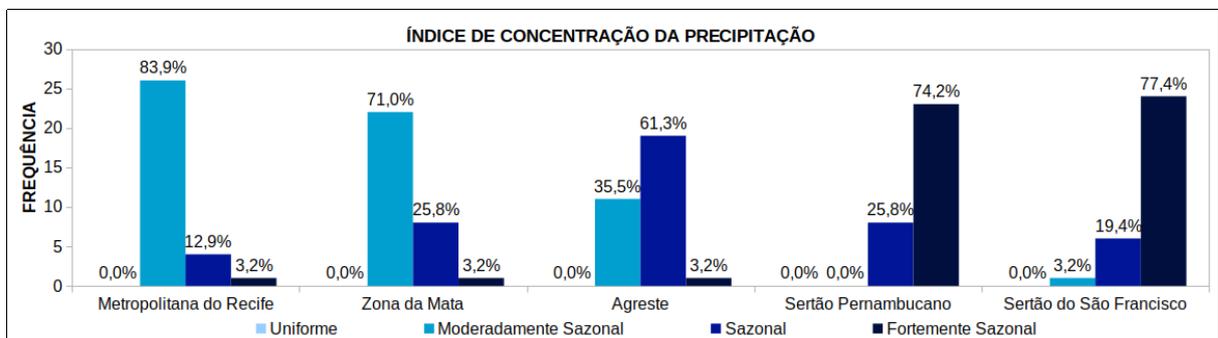


Figura 9 - Frequência relativa do PCI nas mesorregiões do estado de Pernambuco no período de 1990 a 2020

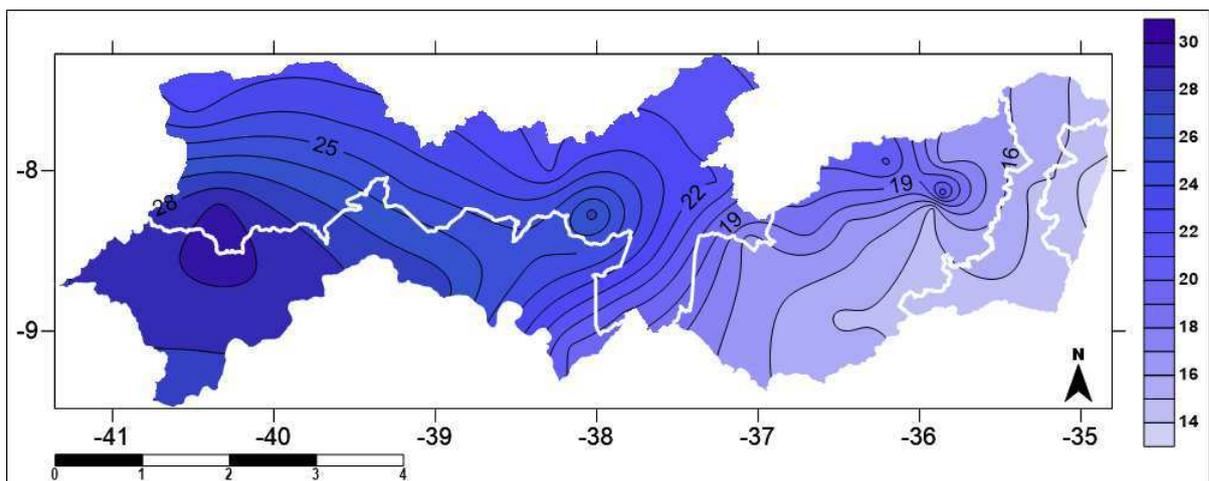


Figura 10 - Distribuição espacial do PCI médio anual para o estado de Pernambuco no período de 1990 a 2020

Nas mesorregiões Metropolitana do Recife (Figura 11a) e Zona da Mata (Figura 11b), o PCI anual médio no período estudado foram, respectivamente, 14,51 e 15,05, indicando que nessas mesorregiões a precipitação teve uma distribuição

moderadamente sazonal. Pesquisadores como Rodríguez et al. (2011) encontraram esse mesmo comportamento na precipitação do sudeste da Venezuela, fronteira com o norte do Brasil, ao analisarem o comportamento e a concentração da precipitação no período de 1970 a 2000. Em relação ao PCI anual, na mesorregião Metropolitana do Recife, os valores deste índice variaram entre 10,44 e 20,44, enquanto que, a mesorregião da Zona da Mata apresentou valores variando entre 11,31 e 21,99.

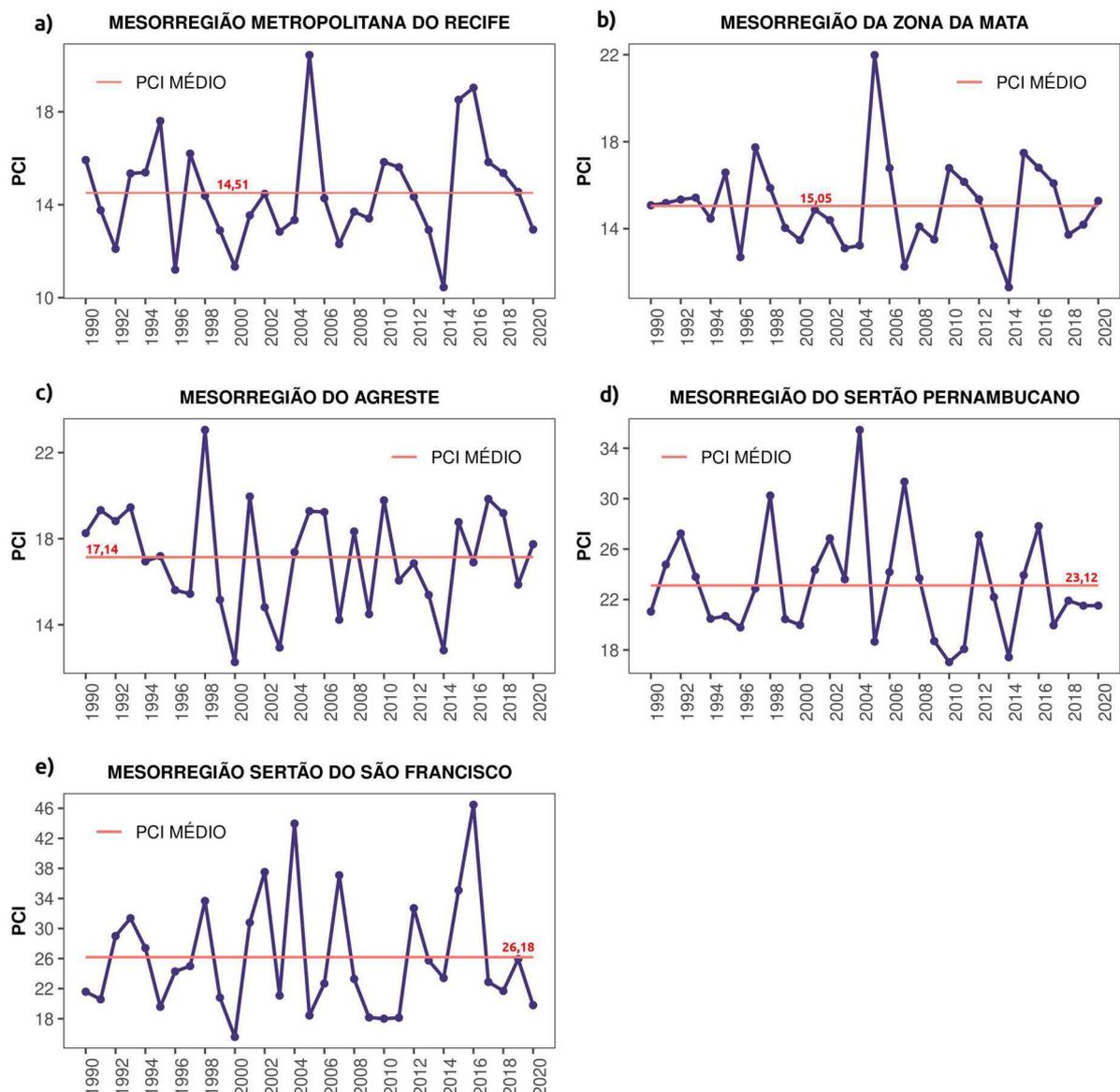


Figura 11 - Índice de Concentração da Precipitação para período de 1990 a 2020 nas mesorregiões a) Metropolitana do Recife, b) Zona da Mata, c) Agreste Pernambucano, d) Sertão Pernambucano e e) Sertão do São Francisco.

De acordo com a Figura 11c, na mesorregião do Agreste, os valores máximos e mínimos do PCI foram, respectivamente, 23,05, no ano de 1998, e 12,27, no ano de 2000.

Vale ressaltar ainda que, em 1998, devido a influência de um episódio de El Niño forte, que reduziu de forma considerável as chuvas desse ano (Marengo et al. 2013), o índice de precipitação total foi o menor em toda a série histórica, 264,4 mm. O PCI anual médio foi de 17,14, classificando a distribuição das chuvas como sazonais. Semelhantemente, Mello et al. (2013), ao avaliarem o comportamento da erosividade da chuva em algumas regiões do Brasil, encontraram valores do PCI variando de 16 a 20 em uma pequena área do leste de Minas Gerais e no extremo norte do Nordeste, indicando que nessas regiões a precipitação tem uma distribuição sazonal.

Os maiores valores do PCI foram observados nas mesorregiões do Sertão Pernambucano (Figura 11d) e Sertão do São Francisco (Figura 11e), onde a distribuição da precipitação se apresentou fortemente sazonal, indicando uma frequência relativa de 74,2% no Sertão Pernambucano e 77,4% no Sertão do São Francisco, dentro do período analisado (Figura 9). Esses valores sugerem que, nessas mesorregiões, grande parte da precipitação anual se concentra em curtos períodos de tempo, podendo ocasionar secas, que causam um impacto considerável nos recursos hídricos e abastecimento de água, ou inundações ( COSCARELLI; CALOIRO, 2012).

## **6.2 Análise do Índice de Precipitação Padronizada**

Por meio da aplicação do teste de aderência Kolmogorov-Smirnov, ao nível de significância de 5%, se evidenciou que a distribuição gama pode ser utilizada para o ajuste das séries históricas mensais de precipitação pluvial das localidades sob análise nesse estudo.

Ao utilizar o SPI nas escalas de 3, 6, 9 e 12 meses no estado de Pernambuco foram identificados os eventos secos e chuvosos, bem como a intensidade e a duração desses eventos. Para verificar os eventos de precipitação mais significativos que ocorreram no estado de Pernambuco durante o período de 1990 a 2020, calculou-se um SPI médio nas escalas de 3, 6 e 9 meses para cada uma das mesorregiões. O cálculo desse SPI médio consistiu em calcular o SPI de cada posto

pluviométrico nas escalas temporais mencionadas anteriormente e, após essa primeira etapa, calculou-se a média desse índice em cada uma das cinco mesorregiões do estado. Ao analisar o SPI médio sobre o estado de Pernambuco, verificou-se que na escala trimestral (Figura 12), os valores do SPI tendem a variar rapidamente devido ao curto período de tempo que é considerado no cálculo deste índice, no entanto, nesta escala, o SPI pode indicar com mais precisão o início e o fim de um evento seco ou chuvoso. Os valores médios do SPI trimestral indicaram secas intensas no ano de 1993, quando houve um pico de seca extrema, em 1998 até o final de 1999, em 2012, entre 2016 e 2017 e em 2018, chegando a apresentar meses de seca severa.

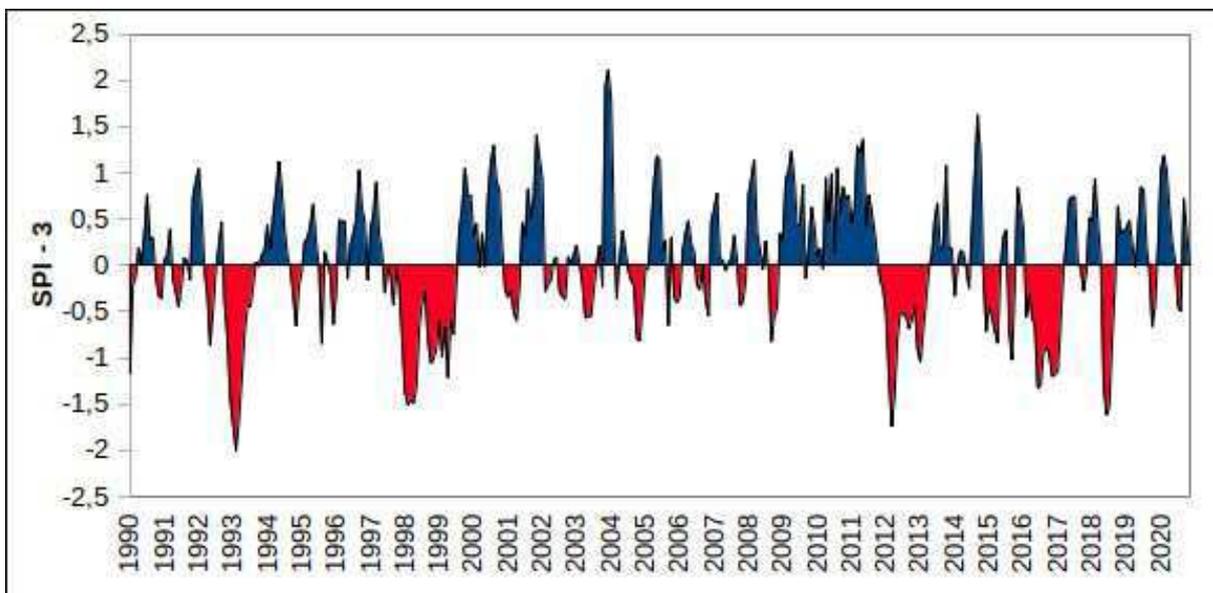


Figura 12 - Distribuição do SPI médio na escala trimestral para os postos pluviométricos utilizados neste trabalho.

Nos anos entre 2000 e 2011 ocorreram vários eventos chuvosos, onde destaca-se o ano de 2004, por apresentar chuvas na categoria extrema, e o período de 2009 a 2011 por ter sido o período chuvoso mais longo observado, apresentando chuvas nas categorias fracas e moderadas.

Na escala semestral (Figura 13), o SPI médio indicou que a seca ocorrida de 1998 a 1999 se apresentou mais expressiva, indicando que a precipitação que ocorreu no período não foi suficiente para atender as necessidades hídricas em uma escala maior (GUEDES et al., 2012). Nessa escala temporal foi possível observar

que algumas secas classificadas como severas e moderadas na escala anterior passaram para as categorias de secas moderadas e fracas, atenuando seus efeitos sobre o estado, e além disso, nota-se que houve uma intensificação da seca ocorrida entre 2016 e 2017, passando da classificação de seca moderada para seca severa. Em relação a precipitação, na escala semestral, observa-se que as chuvas fracas passaram a ser predominantes, principalmente nas chuvas ocorridas na década de 90 e após os anos de 2010.

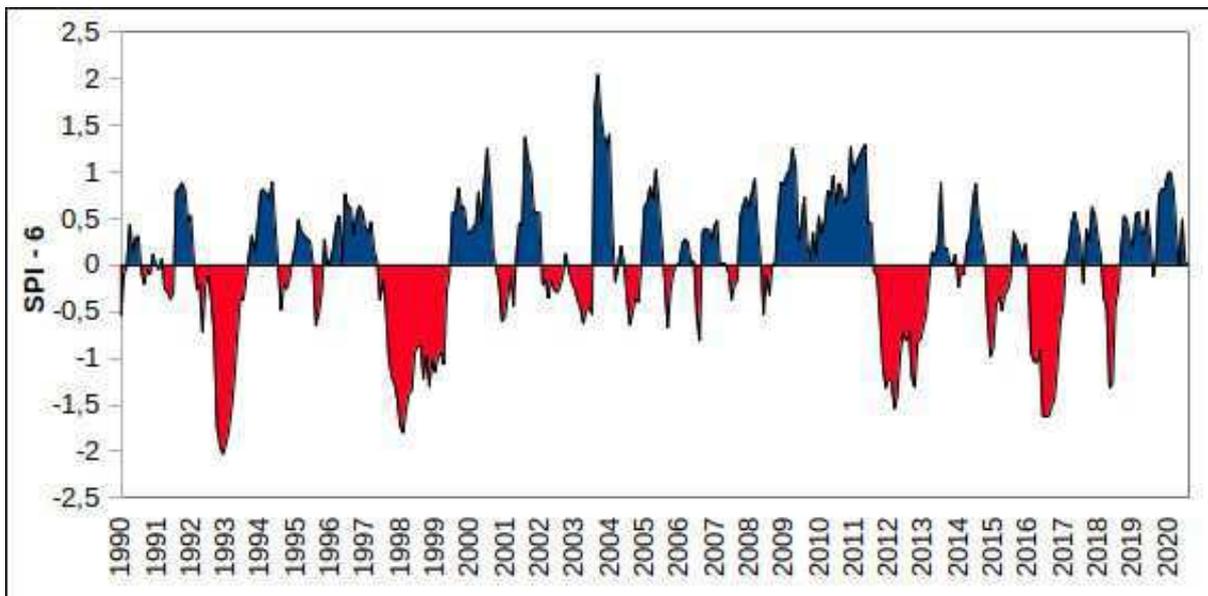


Figura 13 - Distribuição do SPI médio na escala semestral para os postos pluviométricos utilizados neste trabalho.

Na escala de 9 meses (Figura 14), o SPI não apresentou mudanças significativas em relação ao SPI-6, uma vez que manteve os mesmos eventos secos e chuvosos identificados na escala semestral. Nessa escala, o destaque foram as chuvas ocorridas em 2004, que passaram da categoria extrema para severa, e para a intensificação da seca ocorrida entre 2012 e 2013.

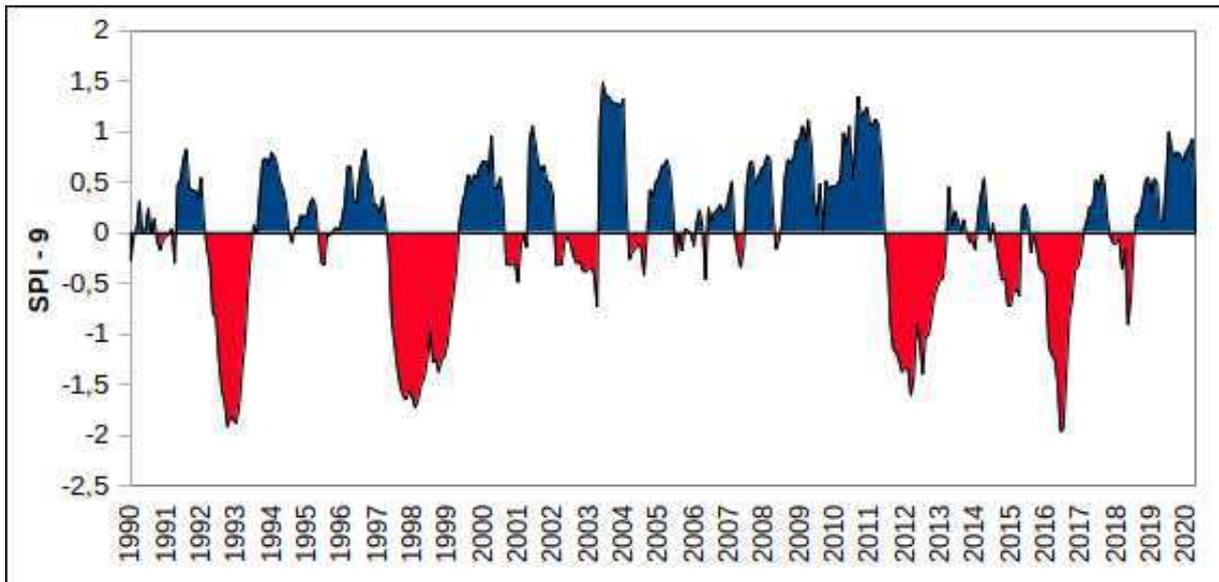


Figura 14 - Distribuição do SPI médio na escala de 9 meses para os postos pluviométricos utilizados neste trabalho.

Considerando o SPI-12 analisado por mesorregião (Figuras 15 a 19), os resultados mostraram que os eventos classificados como normais foram os mais frequentes em todas as mesorregiões. Além disso, foi observado que a quantidade de eventos de precipitação foi superior aos eventos de seca, embora os períodos de seca tenham persistido por mais tempo na maior parte do estado. A seguir são apresentados os resultados do SPI-12 para cada uma das mesorregiões do estado de Pernambuco.

Conforme as Figuras 15a e 15b, observa-se que na mesorregião Metropolitana do Recife houve uma maior predominância de chuvas fracas e moderadas, embora chuvas severas tenham ocorrido com uma menor frequência. A maior parte dos eventos de precipitação se concentraram principalmente na primeira metade da década de 90, com exceção do período de julho/1993 a abril/1994 quando eventos de secas atingiram todo o estado, embora tenham atingido com menos intensidade essa mesorregião.

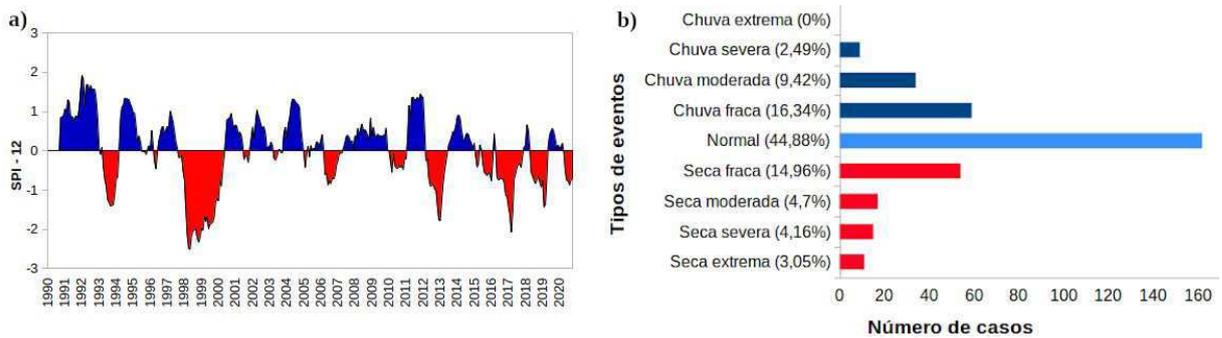


Figura 15 - a) Série temporal do SPI-12 para a mesorregião Metropolitana do Recife; b) Distribuição da frequência dos eventos por categoria do SPI-12 para a mesorregião Metropolitana do Recife

O período de seca mais significativo e que atingiu com forte intensidade essa mesorregião ocorreu no período de 1998-2000, com destaque para o ano de 1998, que permaneceu vários meses consecutivos na categoria de seca extrema. A partir da década de 2000, as chuvas se apresentaram fracas e moderadas, não havendo registros de chuvas severas e extremas.

A partir de 2010, houve uma predominância de secas fracas e moderadas, com um pico de seca extrema em maio de 2017. No ano de 2020, diferentemente do que foi observado em outras mesorregiões, nota-se que houve um episódio de seca fraca, sendo também observado na mesorregião da Zona da Mata. De acordo com Da Silva et al. (2020) e Barros et al. (2021), a persistência de períodos de seca com intensidade leve requer atenção, uma vez que secas mais brandas podem evoluir para secas mais intensas, podendo comprometer os recursos hídricos e afetar a economia.

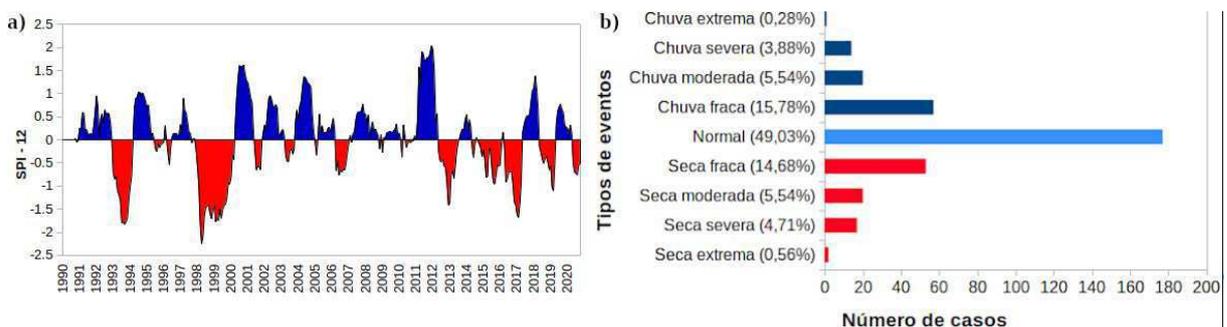


Figura 16 - a) Série temporal do SPI-12 para a mesorregião da Zona da Mata; b) Distribuição da frequência dos eventos por categoria do SPI-12 para a mesorregião da Zona da Mata

A Zona da Mata (Figuras 16a e 16b) apresentou um comportamento semelhante a mesorregião Metropolitana do Recife na cronologia dos fenômenos, no entanto, a principal diferença entre ambas diz respeito a intensidade dos eventos de seca ou de chuva. Ao contrário da mesorregião Metropolitana do Recife, os eventos

de precipitação da década de 90 se mantiveram em sua maior parte na categoria de chuvas fracas e, a partir dos anos 2000, passaram a se concentrar nas categorias de chuvas moderadas e severas, atingindo um pico de chuva extrema em 2012, embora chuvas fracas tenham ocorrido com menor frequência.

Em relação aos eventos de seca, a seca de 1993-1994 atingiu a Zona da Mata com uma maior intensidade que a mesorregião Metropolitana do Recife, e embora a seca de 1998-2000 também tenha sido significativa na Zona da Mata, esta permaneceu apenas dois meses na categoria de seca extrema. Assim como na mesorregião Metropolitana do Recife, a partir de 2010, houve uma maior ocorrência de secas fracas e moderadas, com exceção do evento chuvoso ocorrido entre 2017 e 2018 e em 2019.

Analisando as Figuras 17a e 17b, observa-se que no Agreste de Pernambuco houve uma maior frequência de secas fracas (8,03%) e secas severas (8,31%), onde a maior ocorrência desse fenômeno foi durante o período de 1993-1994 e 1998-2000, quando houveram picos de secas extremas, e os anos de 2012-2013 e 2016-2017.

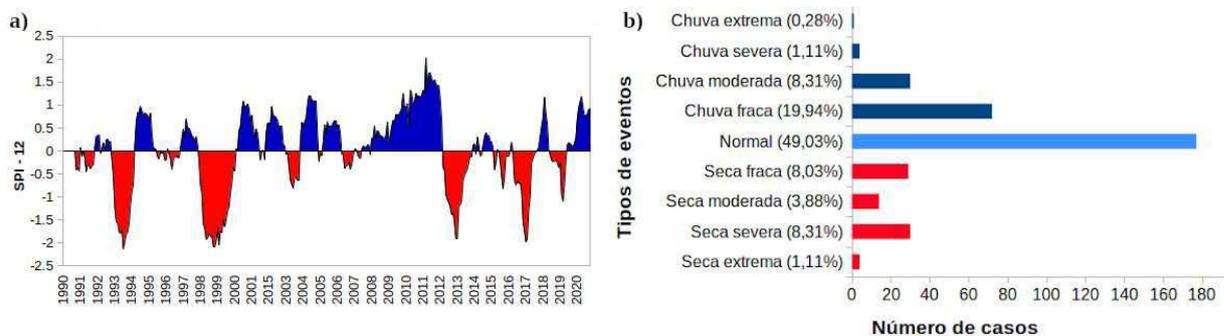


Figura 17 - a) Série temporal do SPI-12 para a mesorregião do Agreste Pernambucano; b) Distribuição da frequência dos eventos por categoria do SPI-12 para a mesorregião do Agreste Pernambucano

Com relação aos eventos de precipitação, observa-se que as chuvas fracas e moderadas foram predominantes, principalmente no final da década 2000. Mas o destaque foi o período de maio de 2009 a abril de 2012, onde a série temporal do SPI registrou picos de chuvas severas e extremas, tendo sido este o período chuvoso mais longo observado em todas as mesorregiões.

Assim como todas as outras mesorregiões, o Sertão Pernambucano (Figuras 18a e 18b) apresentou um período de seca intensa durante os anos de 1993-1994 e

1998-1999, chegando a apresentar picos de seca extrema e uma maior frequência de secas na categoria severa em relação as outras décadas.

A partir de 2004 até o final de 2011, houve uma predominância de eventos de chuva fraca e moderada, até que em 2012, os eventos de seca, que também atingiram as outras mesorregiões, passaram a ser predominantes, no entanto, ao contrário da mesorregião do Sertão do São Francisco, as secas desse período se mantiveram nas categorias moderadas e severas. Os eventos voltam a se tornar positivos a partir de 2019, chegando a atingir chuvas nas categorias moderadas e severas no ano de 2020.

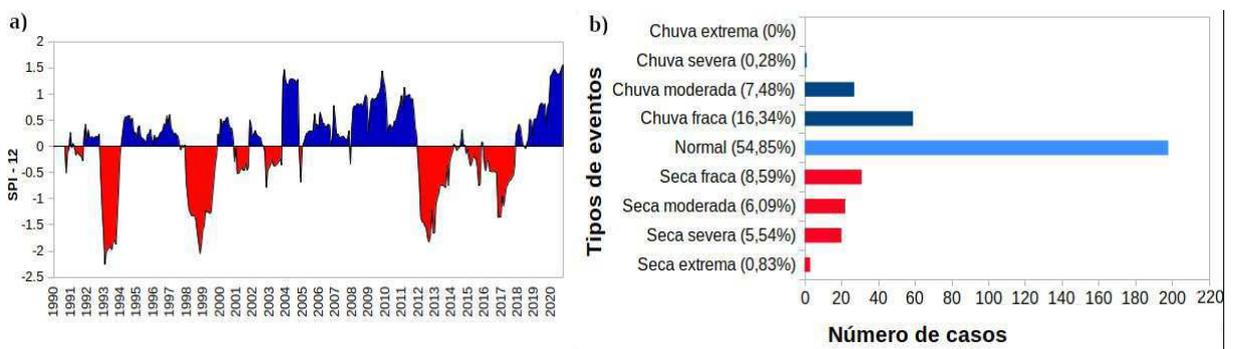


Figura 18 - a) Série temporal do SPI-12 para a mesorregião do Sertão Pernambucano; b) Distribuição da frequência dos eventos por categoria do SPI-12 para a mesorregião do Sertão Pernambucano

Para a mesorregião do Sertão do São Francisco (Figuras 19a e 19b), verifica-se a ocorrência de chuvas fracas e moderadas, não tendo sido registradas chuvas nas categorias severa e extrema. Destacam-se que os eventos classificados como chuvosos pelo SPI ocorreram em 1996-1998, 2002, 2004, 2009-2010, 2011 e 2020, onde o ano de 2020, como mencionado anteriormente, foi o mais chuvoso de toda a série histórica, principalmente nos meses de fevereiro a abril e novembro.

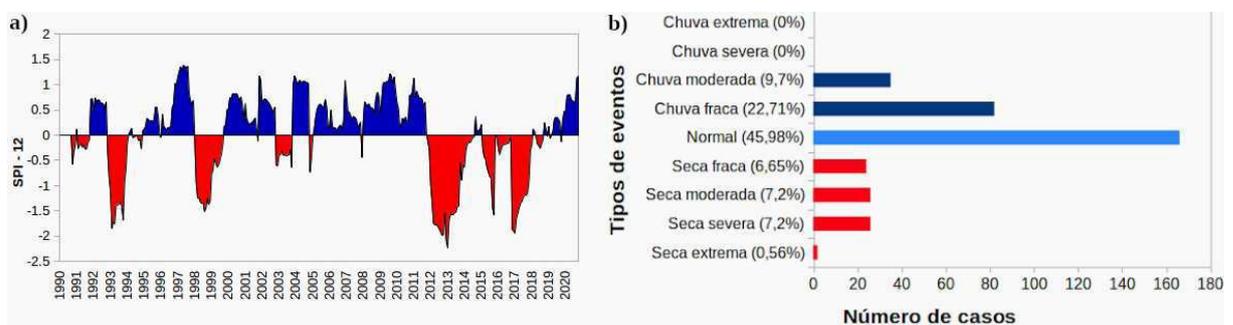


Figura 19 - a) Série temporal do SPI-12 para a mesorregião do Sertão do São Francisco; b) Distribuição da frequência dos eventos por categoria do SPI-12 para a mesorregião do Sertão do São Francisco

Em relação as secas, o SPI quantificou a ocorrência de 2 secas extremas, 26 secas severas, 26 secas moderadas e 24 secas fracas, totalizando 78 episódios de secas. Os períodos mais secos ocorreram em 1993-1994, 1998-1999, 2012-2014, quando houveram picos de seca extrema, 2015 e 2017-2018, onde a década de 2010 registrou uma maior frequência de secas extremas e severas.

### 6.3 Análise do Grau de Concentração de Precipitação e Período de Concentração de Precipitação

A Figura 20 mostra a distribuição espacial dos valores do PCD para todo o estado de Pernambuco, na qual podem ser observadas variações consideráveis na concentração da precipitação, refletindo a grande variabilidade climática do estado de Pernambuco.

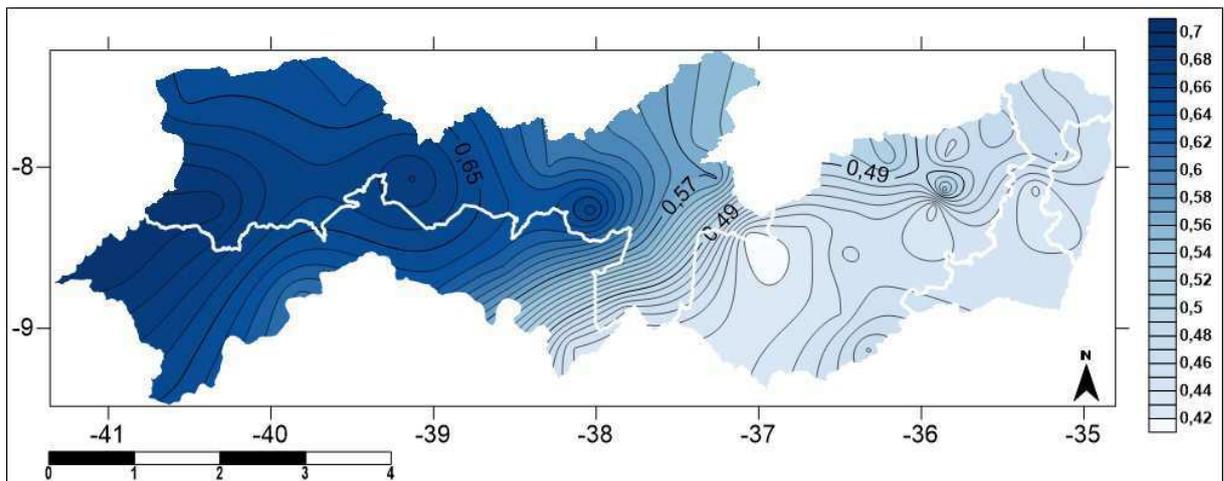


Figura 20 - PCD para o estado de Pernambuco para período de 1990 a 2020

Dessa forma, pode ser observado da figura que a área localizada entre as microrregiões do Vale do Ipanema e Sertão do Moxotó apresenta o menor valor do PCD, indicando que nessa localidade a precipitação se apresenta mais homogênea ao longo do ano. Isso acontece devido a precipitação dessa região sofrer a influência da atuação de sistemas que atuam tanto no oeste, como a ZCIT e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, quanto no leste do estado (ALVES et al., 2008; PERNAMBUCO, 2009; GUEDES, 2016; DE MOURA et al., 2019). Nas mesorregiões Metropolitana do Recife, Zona da Mata e Agreste verifica-se que os valores do PCD também são baixos, refletindo precipitações distribuídas ao longo de um maior

período durante o ano. Conforme avançamos em direção a região oeste, podemos perceber que os valores deste índice aumentam, indicando chuvas mal distribuídas e concentradas em um curto período, chegando a apresentar os maiores valores deste índice no extremo oeste do estado, onde esses valores sugerem que a atuação e a influência de sistemas meteorológicos favorecem a ocorrência de chuvas em um único período do ano (SIMÕES et al., 2018). Resultados semelhantes foram encontrados por Li et al. (2011), na China, e por Silva e Lucio (2015), no Rio Grande do Norte, na região NEB.

A Figura 21 mostra os resultados obtidos para o PCP, onde verifica-se que as mesorregiões Metropolitana do Recife e Zona da Mata e parte do Agreste Meridional apresentam chuvas concentradas no mês de maio. Esse período vai sendo alterado para abril, na região do Agreste Setentrional, e para fevereiro e março nas mesorregiões do Sertão Pernambucano e Sertão do São Francisco, respectivamente, a medida que se desloca no sentido oeste do estado.

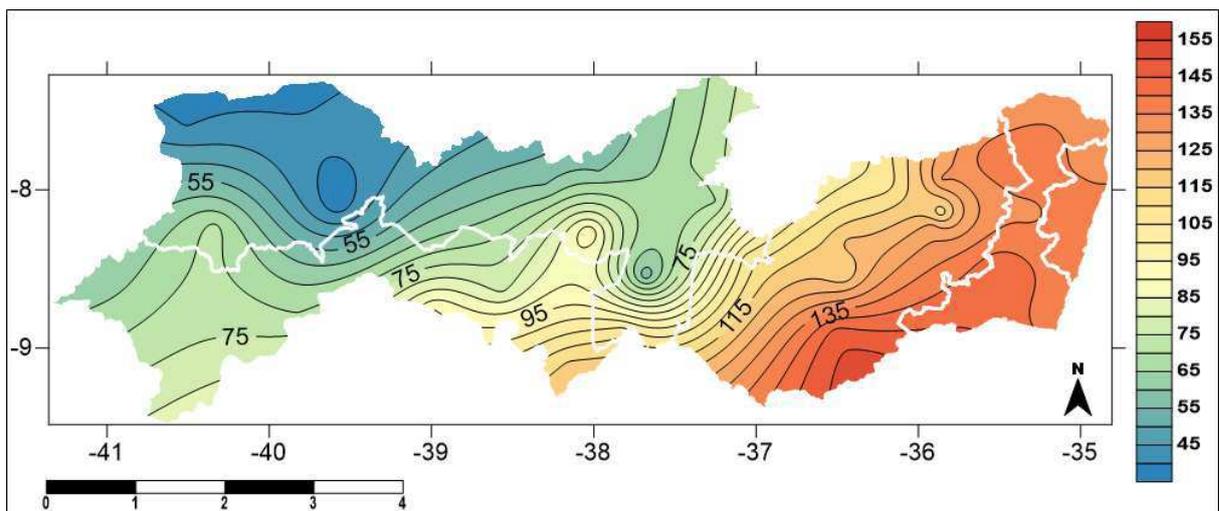


Figura 21 - PCP para o estado de Pernambuco para período de 1990 a 2020

#### 6.4 Análise do Índice de Anomalia de Chuva

A aplicação do RAI possibilitou avaliar e classificar o grau de severidade dos períodos secos e chuvosos no estado de Pernambuco, onde os principais resultados são apresentados a seguir.

Na mesorregião Metropolitana do Recife (Figura 22a) destaca-se o ano de 1992 que foi classificado como extremamente úmido, registrando um pico de 5,29, e

os anos de 1994, 2004 e 2011 que foram classificados como anos de umidade alta. Com relação aos valores negativos, os anos de 1998 e 1999 se destacaram por serem classificados como extremamente secos, registrando picos de -5,45, em 1998, e -4,4, em 1999. Na Zona da Mata (Figura 22b), observa-se que os anos secos foram mais frequentes que os anos úmidos ou normais, onde 9 anos estão inseridos na categoria “chuvoso”, com destaque para o ano de 2000 e 2011 que se classificaram como extremamente úmidos, 10 anos foram classificados como normais, e 12 anos foram inseridos na categoria de “secos”. Além disso, a partir de 2015, identifica-se em ambas as mesorregiões uma diminuição nos anos classificados como chuvosos e uma maior frequência de anos de seca suave ou moderada. Pesquisadores como Costa e Da Silva (2017) analisaram a variação espaço-temporal da precipitação pluviométrica do estado do Ceará no período de 1973 a 2010 e, ao utilizarem o RAI, observaram uma maior frequência de anos de seca em relação aos anos úmidos, principalmente após o ano de 1991, indicando uma possível modificação no padrão da precipitação local.

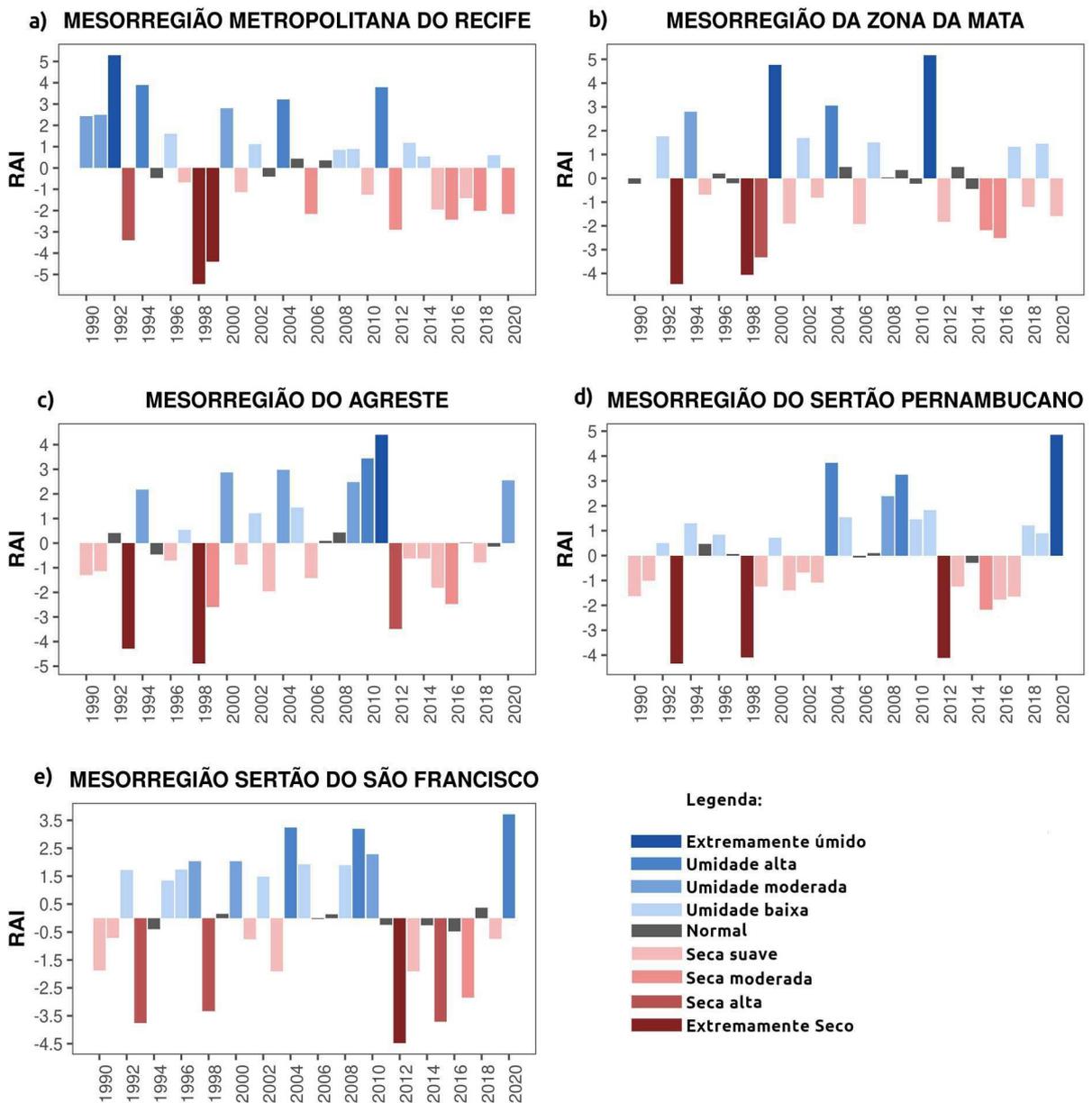


Figura 22 - Índice de Anomalia de Chuva anual para período de 1990 a 2020 nas mesorregiões a) Metropolitana do Recife, b) Zona da Mata, c) Agreste Pernambucano, d) Sertão Pernambucano e e) Sertão do São Francisco.

No Agreste do estado (Figura 22c), 10 anos foram classificados como anos de seca suave, 2 de seca moderada, 1 de seca alta e 2 como extremamente secos, correspondendo a uma frequência relativa de 48,4% dentro do período analisado. Os anos de 1993 e 1998 se destacaram por, além de serem marcados pelos menores índices pluviométricos, apresentarem os principais picos negativos no RAI, -4,89, no ano de 1998, e -4,29, no ano de 1993, sendo classificados como extremamente secos. Esses anos coincidiram com a ocorrência do El Niño, no qual o episódio ocorrido em 1997 e 1998 deu origem a um período de secas severas em

diversas regiões do semiárido nordestino, afetando a produtividade agrícola e causando perdas significativas na pecuária, além de reduções drásticas no abastecimento de água nas áreas urbanas e rurais (RIBEIRO; MACIEL, 2018). Os anos de 1994, 2000, 2004, 2009 e 2020 foram classificados como anos de umidade moderada, enquanto os anos de 2010 e 2011 foram classificados, respectivamente, como de umidade alta e extremamente úmido.

Para o Sertão Pernambucano, de acordo com a Figura 22d, com exceção dos anos de 1993 e 1998 que foram classificados como extremamente secos, observa-se que até 2003, os valores do RAI oscilaram entre -1,6 e 1,3 refletindo em anos de seca suave, com variabilidade normal ou de umidade baixa. A partir de 2004, os anos passaram a ser classificados como úmidos ou normais e a partir de 2012, que foi um ano extremamente seco, os valores do índice passaram a se tornar negativos, voltando a apresentar anos úmidos a partir de 2018, onde 2020 se apresentou como extremamente úmido.

Na mesorregião do Sertão do São Francisco (Figura 22e), nenhum ano foi classificado como extremamente úmido, sendo o valor máximo registrado no RAI em 2020 (3,71), que classificou o ano como de umidade alta. Nessa mesorregião, ocorreram 3 anos de umidade alta, 3 anos de umidade moderada e 6 anos de umidade baixa. Destaca-se que os anos classificados como extremamente secos ou de seca alta ocorreram com uma maior frequência após 2010, embora a série temporal tenha registrado anos de seca alta, como em 1993 e 1998. Em seus estudos, Diniz et al. (2020) ao analisar a variabilidade climática da microrregião do Cariri Ocidental Paraibano, no período de 1999 a 2019, também encontrou um maior registro de anos classificados como extremamente secos, de seca alta e de seca moderada após o ano de 2010, onde o ano de 2012, assim como neste estudo, foi classificado como extremamente seco.

## **6.5 Análise de tendências nas séries temporais de precipitação anual e nos índices climáticos**

Para verificar se as séries temporais possuem tendências foram utilizados os testes não-paramétricos de Mann-Kendall e o estimador Sen's Slope. A seguir estão apresentados os resultados das estatísticas calculadas para ambos os testes para a série temporal de precipitação média anual e para cada um dos índices climáticos

utilizados neste trabalho.

Considerando os dados da precipitação média anual, as estatísticas de ambos os testes para cada um dos postos pluviométricos selecionados neste estudo encontram-se no Apêndice A, enquanto que, as estatísticas da precipitação média anual para cada uma das mesorregiões do estado podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para a precipitação média anual no período de 1990 a 2020.

<b>Mesorregião</b>	<b>Z</b>	<b>Significância</b>	<b>Sen's Slope</b>
Metropolitana do Recife	-1,7676	0,07712	-12,7317
Zona da Mata	-0,16996	0,865	-1,1733
Agreste Pernambucano	1,2237	0,221	4,69134
Sertão Pernambucano	0,8498	0,3954	3,8586
Sertão do São Francisco	0,067986	0,9458	0,2108

Ao analisar a tabela, verifica-se que todas as mesorregiões apresentaram p-valores maiores que a significância escolhida para este trabalho ( $\alpha=0,05$ ), e por isso, não se rejeita a hipótese nula de que não há tendência nas séries analisadas. Além disso, no Teste Sen's Slope, somente a mesorregião do Sertão do São Francisco apresentou resultado próximo de zero (0,2108), logo todas as outras apresentaram uma magnitude na série histórica, sendo negativas na mesorregião Metropolitana do Recife e Zona da Mata, e positivas nas mesorregiões do Agreste Pernambucano e Sertão Pernambucano. Entretanto, nenhuma das magnitudes são significativas, visto que, a hipótese nula não foi rejeitada em nenhuma mesorregião. Esses resultados assemelham-se com os estudos de Salviano et al. (2016), que analisaram as tendências temporais da precipitação e da temperatura média no Brasil de 1961 a 2011, Barbosa et al. (2016), Alcântara et al. (2019), Verçosa et al. (2019) e Bezerra et al. (2021), em diferentes áreas do estado de Pernambuco, Gonçalves e Back (2018), na região Sul do Brasil, Thielen et al. (2020), na bacia do Alto Paraguai, e Cabral Júnior e Lucena (2020), no estado do Rio Grande do Norte, nos quais não foram identificadas tendências nas séries temporais de precipitação.

A Tabela 8 refere-se ao teste de Mann-Kendall nas mesorregiões Metropolitana do Recife, Zona da Mata, Agreste Pernambucano, Sertão Pernambucano e Sertão do São Francisco, onde verifica-se que todas as mesorregiões apresentaram p-valor maior que a significância ( $\alpha = 0,05$ ),

demonstrando assim que não existe tendência no PCI das cinco mesorregiões. A tabela ainda mostra que todos os valores do teste Sen's slope ficaram próximos de zero, demonstrando a baixa magnitude das séries históricas do PCI nas cinco mesorregiões analisadas.

Tabela 8 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para o PCI anual

<b>Mesorregião</b>	<b>Z</b>	<b>Significância</b>	<b>Sen's Slope</b>
Metropolitana do Recife	0,37	0,71	0,01
Zona da Mata	-0,14	0,89	-0,01
Agreste Pernambucano	-0,58	0,56	0,02
Sertão Pernambucano	-0,88	0,38	-0,08
Sertão do São Francisco	0,07	0,95	0,02

Ao analisar a Tabela 9, observa-se que não existe uma tendência nas séries históricas do SPI médio nas escalas de 3, 6 e 9 meses. Como todos os p-valores do teste de Mann-Kendall são maiores que o nível de significância estipulado para esse estudo, conclui-se que não há evidência estatisticamente significativa para se rejeitar a hipótese nula do teste. Ademais os valores do teste de Sen's Slope estão extremamente próximos de zero e demonstram que a magnitude dessa tendência é zero, comprovando assim que não há tendência nos dados avaliados.

Tabela 9 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para o SPI médio nas escalas 3, 6 e 9 meses

<b>SPI médio</b>	<b>Z</b>	<b>Significância</b>	<b>Sen's Slope</b>
SPI-3	1,082	0,2793	0,000359
SPI-6	1,5943	0,1109	0,000539
SPI-9	1,3825	0,1668	0,00463

Em relação ao SPI-12, a Tabela 10 apresenta os resultados do teste de Mann-Kendall para as cinco mesorregiões do estado de Pernambuco. Os p-valores obtidos no teste de tendência de Mann-Kendall para as mesorregiões da Zona da Mata e do Sertão do São Francisco são maiores que a significância de  $\alpha = 0,05$ , ou seja, não há tendência presente nas séries de SPI dessas mesorregiões. Todavia, para as mesorregiões Metropolitana do Recife, Agreste Pernambucano e Sertão Pernambucano verifica-se p-valores abaixo da significância estipulada, obtendo assim evidências para se rejeitar a hipótese nula, ou seja, existe tendência presente nas séries do SPI-12 para essas mesorregiões. Em estudos também realizados no estado de Pernambuco, Silva et al. (2020) e Barros et al. (2021), ao utilizarem o teste de Mann-Kendall, também encontraram tendências significativas nas séries do SPI na escala de 12 meses, indicando que em algumas localidades do estado houve um aumento e/ou diminuição de períodos secos e/ou úmidos nos últimos anos.

Tabela 10 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para o SPI -12

<b>Mesorregião</b>	<b>Z</b>	<b>Significância</b>	<b>Sen's Slope</b>
Metropolitana do Recife	-5,521	< 0,005	-0,002465
Zona da Mata	-1,3771	0,1685	-0,00056
Agreste Pernambucano	2,6053	0,0092	0,00103
Sertão Pernambucano	3,3517	0,0008	0,0013
Sertão do São Francisco	-1,2898	0,1971	-0,0005

Por fim, referente aos valores encontrados pelo teste de Sen's Slope, observa-se que todos eles ficaram próximos de zero, de forma que a magnitude dessas tendências não sejam significativas.

De acordo Tabela 11, observa-se que todos os p-valores são consideravelmente maiores que a significância de  $\alpha = 0,05$ , ou seja, não se rejeita a hipótese nula de que não há tendência nas séries analisadas do PCD. Ademais, o teste Sen's slope obteve resultados que demonstrou que existe uma baixa magnitude negativa nas séries. Entretanto, como são próximas de zero, demonstra-se que as magnitudes encontradas não são significativas.

Tabela 11 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para o PCD

<b>Mesorregião</b>	<b>Z</b>	<b>Significância</b>	<b>Sen's Slope</b>
Metropolitana do Recife	0,64586	0,5184	0,0014
Zona da Mata	-0,67986	0,4966	-0,0019
Agreste Pernambucano	-0,27194	0,7857	-0,00058
Sertão Pernambucano	0	1,00	-0,0000038
Sertão do São Francisco	0,10198	0,9188	0,0002

A Tabela 12 retrata os resultados do teste de Mann-Kendall e de Sen's slope para o PCP nas cinco mesorregiões do estado de Pernambuco. Ao analisar a tabela, verifica-se que todas as mesorregiões apresentam p-valores acima da significância estipulada ( $\alpha = 0,05$ ), ou seja, não se tem evidências para rejeitar a hipótese nula. Dessa forma, os resultados indicam que o PCP não apresenta tendência em suas séries. Referente ao segundo teste, todos os resultados ficaram próximos de zero, demonstrando a baixa magnitude (ou a não presença delas) no PCP das mesorregiões analisadas.

Tabela 12 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para o PCP

<b>Mesorregião</b>	<b>Z</b>	<b>Significância</b>	<b>Sen's Slope</b>
Metropolitana do Recife	-0,88381	0,3768	-0,4680
Zona da Mata	-0,81503	0,4146	-0,3199
Agreste Pernambucano	-0,16996	0,8650	-0,1791
Sertão Pernambucano	-0,33993	0,7339	-0,1599
Sertão do São Francisco	-0,71385	0,4753	-0,4371

Tabela 13 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope para o RAI

<b>Mesorregião</b>	<b>Z</b>	<b>Significância</b>	<b>Sen's Slope</b>
Metropolitana do Recife	-1,6656	0,0958	-0,0897
Zona da Mata	-0,27194	0,7857	-0,0118
Agreste Pernambucano	0,86694	0,3860	0,03922
Sertão Pernambucano	0,88381	0,3768	0,0487
Sertão do São Francisco	0	1	0,00014

Por fim, a Tabela 13 apresenta as estatísticas e p-valores referentes ao teste de Mann-Kendall das mesorregiões Metropolitana do Recife, Zona da Mata, Agreste Pernambucano, Sertão Pernambucano e Sertão do São Francisco para o RAI. Os p-valores obtidos no teste de tendência de Mann-Kendall para as cinco mesorregiões são acima da significância de  $\alpha = 0,05$ , o que significa não haver tendência presente nas séries históricas do RAI. Similarmente, Gonçalves (2017) utilizou índices para caracterizar os eventos extremos relacionados à distribuição da precipitação no estado de Santa Catarina e ao calcular as tendências do RAI através do teste de Mann-Kendall não encontrou tendências significativas deste índice em mais de 80% das séries analisadas.

Em relação ao teste Sen's Slope das cinco mesorregiões, verifica-se que todos os resultados ficaram próximos de zero, de forma que a magnitude dessas

tendências não sejam significantes.

## 7 CONCLUSÕES

A análise e o entendimento da distribuição da precipitação em uma determinada localidade é de fundamental importância para a sociedade, tendo em vista que sob condições climáticas extremas, como secas e inundações por exemplo, vários aspectos sociais, ambientais, políticos e econômicos podem ser afetados. Dessa forma, torna-se necessário compreender detalhadamente o comportamento histórico da precipitação a fim de criar medidas de prevenção, mitigação e adaptação dos impactos causados por esse fenômeno.

O cálculo do PCI permitiu analisar e determinar a variabilidade temporal da distribuição da precipitação ao longo do período estudado, onde de maneira geral, este índice indicou uma distribuição moderadamente sazonal nas mesorregiões Metropolitana do Recife e Zona da Mata, sazonalidade na distribuição de chuvas na mesorregião do Agreste Pernambucano, e distribuição fortemente sazonal no regime de chuvas das mesorregiões do Sertão Pernambucano e Sertão do São Francisco. Os resultados indicam a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas, cada vez mais concentradas em curtos períodos de tempo, e de secas prolongadas.

A metodologia do SPI permitiu avaliar e identificar de forma satisfatória os eventos de precipitação ocorridos no estado de Pernambuco no período de 1990 a 2020, onde foi observado que houve anos de extremos, apresentando ora excesso de precipitação, ora de déficit. Considerando o SPI-12, verificou-se que os eventos classificados como normais foram os mais frequentes em todas as mesorregiões e, além disso, foi possível identificar uma maior quantidade de eventos de chuva em contraposição aos eventos de seca, embora a intensidade e a duração das secas tenham sido maiores em todo o estado, chegando a apresentar secas na categoria extrema por vários meses consecutivos em algumas mesorregiões. Por meio do SPI, verificou-se que a maior parte das secas severas e extremas aconteceram na década de 1990 em todas as mesorregiões, com exceção da mesorregião do Sertão do São Francisco, onde as secas severas e extremas foram predominantes na década de 2010.

Os índices PCD e PCP indicaram que o leste do estado apresenta uma precipitação mais distribuída ao longo do ano, tendo as chuvas concentradas no

mês de maio. A precipitação se torna mal distribuída e mais concentrada em um único período à medida que se desloca para o oeste do estado, onde a estação chuvosa ocorre nos meses de fevereiro e março nas mesorregiões do Sertão do São Francisco e Sertão Pernambucano, respectivamente, e no mês de abril, na região do Agreste Setentrional.

No que se refere ao RAI, foi possível observar a intensidade dos eventos de precipitação no estado de Pernambuco, onde verificou-se que na última década, em maior parte do estado, houve uma maior ocorrência de anomalias negativas em relação as positivas. Dessa forma, seria interessante a realização de estudos mais aprofundados afim de identificar as possíveis causas desse maior número de anos de anomalias negativas.

Por meio das análises de tendências realizadas pelo teste de Mann-Kendall, chegou-se a conclusão de que não há tendências nas séries temporais de precipitação anual e dos índices PCI, SPI médio nas escalas de 3, 6 e 9 meses, PCD, PCP e RAI em nenhuma das mesorregiões. Para o SPI-12, não foram encontradas tendências nas mesorregiões da Zona da Mata e do Sertão do São Francisco, no entanto, nas demais mesorregiões foram encontradas tendências neste índice, sendo negativa na mesorregião Metropolitana do Recife, e positivas nas mesorregiões do Agreste e Sertão Pernambucano, contudo, a magnitude dessas tendências não são significativas, uma vez que, os valores obtidos pelo teste Sen's Slope foram próximos de zero.

Espera-se que os resultados obtidos nesse trabalho sejam úteis para uma melhor compreensão dos eventos de precipitação ocorridos no estado de Pernambuco durante o período analisado. Recomenda-se que em estudos futuros sejam incluídas outras localidades da região NEB ou até mesmo a utilização de outros índices que envolvam outras variáveis meteorológicas.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I.A. **Handbook of Mathematical Formulas, Graphs, and Mathematical Tables**. Dover Publications, Inc., New York, USA. 1965.

AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO – CONDEPE/FIDEM. Base de Dados do Estado (BDE). Disponível em: <<http://www.bde.pe.gov.br>>. Acesso em: 13 de abril de 2021.

AGHAKOUCHAK, A. A multivariate approach for persistence-based drought prediction: Application to the 2010–2011 East Africa drought. **Journal of Hydrology**, v. 526, p. 127-135, 2015.

ALCÂNTARA, L. R. P.; COSTA, I. R. A.; BARROS, V. H. O.; SANTOS NETO, S. M.; COUTINHO, A. P.; ANTONINO, A. C. D. Análise de tendência para dados pluviométricos no município de Toritama-PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 130-139, 2019.

ALEXANDER, L. V.; UOTILA, P.; NICHOLLS, N. Influence of sea surface temperature variability on global temperature and precipitation extremes. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 114, n. D18, 2009.

ALMEIDA, G. G. L de.; PAIVA, A. L. R de.; OLIVEIRA, L. M. M de.; LEONARDO, H. R. A. L. Análise de índices climático para avaliação do efeito de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 001-017, 2020.

ALVES, M. A. S.; MARQUES, R. F. C.; OYAMA, M. D. Detecção de DOL a partir de filtros temporais. In: Anais do **X Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 15, 2008, São Paulo. São Paulo: CBMET, 2008.

ALVES, J. O.; PEREIRA, P. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. S. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N. Índice de anomalia de chuva para diferentes

mesorregiões do Estado de Pernambuco. **Pensar Acadêmico**, v. 14, n. 1, p. 37-47, 2016.

ANDRADE, M. C. **Atlas Escolar de Pernambuco**. Espaço Geo-histórico e Cultural. João Pessoa: Grafset, 160 p, 1999.

ANDRADA, E. K. P.; ANDRADE, A. R. S.; ZAMORA, V. R. O.; DE AQUINO SILVA; P. R. L., SANTOS; M. K. S.; AZEVEDO, P. R. Periodicidades na distribuição homogênea da precipitação no Agreste de Pernambuco. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 100-117, 2018.

ANDREOLI, R. V., KAYANO, M. T. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. *Rev. bras. meteorol.*, São Paulo , v. 22, n. 1, p. 63-74, 2007.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Gerência de Meteorologia e Mudanças Climáticas. Monitoramento Pluviométrico. Disponível em: <<http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>> Acesso diversificado durante toda pesquisa.

ARAGÃO, J. O. R. **Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 219 pg.,1975.

ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 3, p. 93-110, 2009.

ARAÚJO, J. M. S. **Identificação de áreas com precipitação pluvial homogênea no Estado do Rio Grande do Norte**. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

ARELLANO-SOTA, C.; C.; FRISK, T.; IZQUIERDO, J.; PRIETO-CELI, M., THELEN, K.D.; VITA, A. FAO/UNEP – Program on desertification control in Latin America and the Caribbean, **Desertification Control Bulletin**, v. 29, p. 56-62, 1996.

ASSIS, J. M. O. **Análise de tendências de mudanças climáticas no semiárido de Pernambuco**. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

APAYDIN, H.; ERPUL, G.; BAYRAMIN, I.; GABRIELS, D. Evaluation of indices for characterizing the distribution and concentration of precipitation: A case for the region of Southeastern Anatolia Project, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 328, n. 3-4, p. 726-732, 2006.

BACK, A. J.; SÔNEGO, M.; PEREIRA, J. R. Índices de concentração de chuvas da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, 2020.

BAFFO, F.; GAUDIOSO, D.; GIORDANO, F. L'adattamento ai cambiamenti climatici: strategie e piani in Europa. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA): Rome, Italy, 2009.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Pernambuco**. Davos: Banco Mundial, 2010.

BARBOSA JÚNIOR, E. V. **Variabilidades climáticas (temperatura e precipitação) esua influência na propagação do vetor da dengue, Aedes aegypti (Linnaeus, 1762),no Estado de Pernambuco**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)– Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal De Pernambuco -UFPE, Recife, 2011

BARBOSA, V. V.; SOUZA, W. M.; GALVÍNCIO, J. D.; COSTA, V. S. O. Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco–Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 353-367, 2016.

BÁRCENA, A.; SAMANIEGO, J.; PERES, W.; ALATORRE, J. E. **La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?**, Libros de la CEPAL, N° 160 (LC/PUB.2019/23-P), Santiago, Chile: Comisión Económica Para América Latina y El Caribe (Cepal), 383 p, 2020. Available from: [www.cepal.org/apps](http://www.cepal.org/apps).

BARROS, V. S.; GOMES, V. K. I.; SILVA JÚNIOR, I. B.; SILVA, A. S. V.; 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.

BATES, B. C.; KUNDZEWICZ, Z. W.; WU, S.; PALUTIKOF, J. **El Cambio Climático y el Agua**. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 págs, 2008.

BENISTON, M.; STEPHENSON, D. B. Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. **Global and planetary change**, v. 44, n. 1-4, p. 1-9, 2004. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.06.001>).

BERNSTEIN, L.; BOSCH, P.; CANZIANI, O.; CHEN, Z.; CHRIST, R.; DAVIDSON, O.; HARE, W.; HUQ, S.; KAROLY, D.; KATTSOV, V.; LIU, J.; LOHMANN, U.; MANNING, M.; MATSUNO, T.,; MENNE, B.; METZ, B.; MIRZA, M; NICHOLLS, N.; NURSE, L.; PACHAURI, R.; PALUTIKOF, J.; PARRY, M.; QIN, D.; RAVINDRANATH, N.; REISINGER, A.; REN, J.; RIAHI, K.; ROSENZWEIG, C.; RUSTICUCCI, M.; SCHNEIDER, S.; SOKONA, Y.; SOLOMON, S.; STOUFFER, R.; SUGIYAMA, T.; SWART, R.; TIRPAK, D.; VOGEL, C.; YOHE, G. **Climate change 2007: Synthesis report** (IPCC 4th Assessment Report), Londres, 104 pp, 2007.

BEZERRA, A. C.; COSTA, S. A. T.; SILVA, J. L. B.; ARAÚJO, A. M. Q.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; NASCIMENTO, C. R. Annual Rainfall in Pernambuco, Brazil: Regionalities, Regimes, and Time Trends. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 403-414, 2021.

BLAIN, G. C. Extreme value theory applied to the standardized precipitation index. **Acta Scientiarum Technology**, v. 36, n. 1, p. 147-155, 2014. (DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v36i1.17475>)

BORDI, I.; FRAEDRICH, K.; JIANG, J. M.; SUTERA, A. Spatio-temporal variability of dry and wet periods in eastern China. **Theoretical and applied climatology**, v. 79, n. 1, p. 81-91, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. V. 1. Recife: Sudene, 359p. (Boletim Técnico, 26), 1973

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE e Agência Nacional de Águas - ANA. **A Questão da Água no Nordeste**. Brasília, DF: CGEE/ANA, 432 p, 2012.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE e Agência Nacional de Águas – ANA. **Fundamentos conceituais – mudanças climáticas e adaptação no setor de recursos hídricos**. Fortaleza - CE: CGEE/ANA, 130 p, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE e Agência Nacional de Águas – ANA. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos – Avaliação e Diretrizes para Adaptação**. Brasília – DF: CGEE/ANA, 92 p, 2016.

BRASIL NETO, R. M. .; SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. C.; LIU, Z.; QUINN, N. W. Geospatial cluster analysis of the state, duration and severity of drought over Paraíba State, Northeastern Brazil. **Science of the Total Environment**, 799, 149492, 2021.

BRITO, J. I. B. **Modelo Regional de Estimativa do Balanço Hídrico Aplicado à Variabilidade Climática do Nordeste do Brasil**. 2000. 148 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Centro de

Tecnologias e Recursos Naturais, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.

BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M. A.; CUNNINGHAM, C. C.; ALVALÁ, R. C.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, M. A. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517-529, 2018. (DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5225>)

CABRAL JÚNIOR, J. B.; LUCENA, R. Analysis of precipitation using Mann-Kendall and kruskal-wallis non-parametric tests. *Mercator (Fortaleza)*, v. 19, e19001, 2020.

CAMPBELL, S.; REMENYI, T. A.; WHITE, C. J.; JOHNSTON, F. H. Heatwave and health impact research: A global review. **Health & place**, v. 53, p. 210-218, 2018.

CAMPOS, T. L. O. B.; MOTA, M. A. S.; SANTOS, S. R. Q. Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, p. 182-194, 2015.

CEPED (CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES). **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2 ed. Volume Pernambuco. Florianópolis: CEPED - UFSC, 130p, 2013.

CISNEROS, B.; TUNDISI, J. Diagnóstico del agua en las Américas. Red Interamericana de Academias de Ciencias. Mexico: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, 2012.

CONFALONIERI, U. E. C; MARINHO, D. P. Mudança climática global e saúde: perspectivas para o Brasil. **Revista Multiciência**, v. 8, p. 48-64, 2007.

CORREIA FILHO, W. L. F. **Modelos de Dispersão para extremos de precipitação, estudo de caso: o Nordeste do Brasil**. 2014. 125 f. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

COSCARELLI, R.; CALOEIRO, T. Analysis of daily and monthly rainfall concentration in Southern Italy (Calabria region). **Journal Of Hydrology**, v. 416-417, p. 145-156, 2012. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.047>).

COSTA, J. A.; DA SILVA, D. F. Distribuição espaço-temporal do Índice de anomalia de chuva para o Estado do Ceará. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1002-1013, 2017.

COSTA, S. A. T.; BEZERRA, A. C.; ARAÚJO, A. M. Q.; SILVA, M. F.; CRUZ, J. F.; ALVES, R. M.; SOUZA, L. S. B. S. Dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação em uma região semiárida, Nordeste do Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, n. 2021, 2021.

CUNHA, A. P. M. A.; ZERI, M.; LEAL, K. D.; COSTA, L.; CUARTAS, L. A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C.; GARCIA, J. V. C.; BROEDEL, E.; ALVALÁ, R. RIBEIRO-NETO, G. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, n. 11, p. 642, 2019.

DA SILVA, D. F.; LIMA, M. J. S.; SOUZA NETO, P. F. de S.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S.; ALMEIDA, H. R. R. de C.; PEREIRA, M. P. S.; 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.

DE LUIS, M.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; RAVENTÓS, J.; SÁNCHEZ, J. R.; CORTINA, J. Distribución espacial de la concentración y agresividad de la lluvia en el territorio de la Comunidad Valenciana. **Cuaternario y Geomorfología**, v. 11, n. 3-4, p. 33-44, 1997.

DE MOURA, M. S. B.; SOBRINHO, J. E.; DA SILVA, T. G. F. Aspectos meteorológicos do semiárido brasileiro. Ceará: **Embrapa Semiárido**, Cap. 2, p. 85-104, 2019.

DE NYS, E.; ENGLE, N.L.; MAGALHÃES, A.R. Secas no Brasil: política e gestão proativas. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos- CGEE; Banco Mundial, 292 p, 2016.

DINIZ, R. R. S.; ALENCAR, M. L. S.; MEDEIROS, S. A.; GUERRA, H. O. C.; SALES, J. C. R. Índice de anomalia de chuvas da Microrregião do Cariri Ocidental Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 06, p. 2628-2640, 2020.

EASTERLING, D. R.; EVANS, J. L.; GROISMAN, P. Y.; KARL, T. R.; KUNKEL, K. E.; AMBENJE, P. Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 81, n. 3, p. 417-426, 2000.

EDWARDS, D. C.; McKEE, T. B. **Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales**. Atmospheric Science Paper, n. 634, p. 174, 1997.

EL KENAWY, A. M.; McCABE, M. F.; VICENTE-SERRANO, S. M.; LÓPEZ-MORENO, J. I.; ROBAA, S. M. Changes in the frequency and severity of hydrological droughts over Ethiopia from 1960 to 2013. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v. 42, n. 1, p. 145-166, 2016. (DOI: <https://doi.org/10.18172/cig.2931>).

ESPINOZA, N. S.; SANTOS, C. A. C.; SILVA, M. T.; GOMES, H. B.; FERREIRA, R. R.; SILVA, M. L.; SANTOS E SILVA, C. M.; OLIVEIRA, C. P.; MEDEIROS, J.; GIOVANNETTONE, J.; AMARO, V. E.; SANTOS, C. A. G.; MISHRA, M. Landslides Triggered by the May 2017 Extreme Rainfall Event in the East Coast Northeast of Brazil. **Atmosphere**, v. 12, n. 10, p. 1261, 2021. (DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12101261>).

FARIAS, A. A.; SOUZA, J. T. A.; SOUSA, F. D. A. S. Identificação e Análise de Secas Severas e Extremas no Município de Taperoá-PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 818-826, 2014.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. ; AMORIM, A. O.; CARDOSO,

A. S. **Índices para a Quantificação da Seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, doc. 244, p. 48, 2009.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

FERREIRA, G. W. S.; REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P. Upper Level Cyclonic Vortices in the Vicinity of Northeast Brazil: Climatology and Analysis of the Isentropic Potential Vorticity. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 3, p. 568-585, 2019. (DOI:10.11137/2019\_3\_568\_585).

FOX, C.; GAMARRA-ROJAS, G.; REGO NETO, J.; SANTOS, J. A. **Agricultura familiar e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo - É possível?**. Recife: Edições Bagaço, v. 1, 56 p, 2007.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; TANK, A. M. G. K.; PETERSON, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, v. 19, n. 3, p. 193–212, 2002.

GARCÍA-PÁEZ, F.; CRUZ-MEDINA, I. R. Variabilidad de la precipitación pluvial en la región Pacífico norte de México. **Agrociencia**, v. 43, n. 1, p. 1-9, 2009.

GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. **Global and Planetary Change**, v. 100, p. 172-182, 2013.

GONÇALVES, F. N. **Índices de precipitação para o estado de Santa Catarina**. 2017. 201 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense , Criciúma, 2017.

GONÇALVES, F. N.; BACK, A. J. Análise da variação espacial e sazonal e de

tendências na precipitação da região sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 592-602, 2018.

GORODNER, J. O. Dengue, febre Zika y febre Chikungunya Patologías conminantes y cambio climático en América. **Revista de la Asociación Médica Argentina**, v. 129, n. 1, p. 30-32, 2016.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1589-1609, 2009.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; KARL, T. R.; HEGERL, G. C.; RAZUVAEV, V. N. Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, v. 18, n. 9 p. 1326-50, 2005.

GUEDES, M. V. **Situação das áreas de reserva legal e proteção dos recursos naturais em assentamentos rurais da Mata Meridional pernambucana**. 2012. 142 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

GUEDES, R. V. de S.; MACEDO, M. J. H.; SOUSA, F. A. S. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, n. 23, p. 55-65, 2012.

GUEDES, R. V. de S.; SOUSA, F. D. A. S de.; SILVA, F. D. S.; SILVA, V. P. R. Identificação e classificação espaço-temporal de eventos críticos chuvosos ou secos ocorridos em Pernambuco. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 1, p. 413-428, 2016.

GUEDES, R. V. de S. **Análise e previsão de eventos críticos de precipitação com base no SPI e em redes neurais artificiais para o Estado de Pernambuco**. 2016. 119 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.

HÄNSEL, S.; SCHUCKNECHT, A.; MATSCHULLAT, J. The Modified Rainfall Anomaly Index (mRAI)— is this an alternative to the Standardized Precipitation Index (SPI) in evaluating future extreme precipitation characteristics?. **Theoretical and applied climatology**, v. 123, n. 3-4, p. 827-844, 2016.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, n. 435, p. 77-92, 1977.

HAYES, M. J.; SVOBODA, M. D.; WILHITE, D. A.; VANYARKHO, O. V. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. **Bulletin of the American meteorological society**, v. 80, n. 3, p. 429-438, 1999.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIACÃO, Y. M.

T.; BAEZ, J.; BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MONCUNILL, D. F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L. A. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960 – 2000 and links with sea surface temperature. **Journal of climate**, v. 19, n. 8, p. 1490-1512, 2006.

HOOPER, D. U.; CHAPIN III, F. S.; EWEL, J. J.; HECTOR, A.; INCHAUSTI, P.; LAVOREL, S.; LAWTON, J. H.; LODGE, D. M.; LOREAU, M.; NAEEM, S.; SCHMID, B.; SETÄLÄ, H.; SYMSTAD, A. J.; VANDERMEER, J.; WARDLE, D. A. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. **Ecological monographs**, v. 75, n. 1, p. 3-35, 2005.

HUANG, J.; SUN, S.; XUE, Y.; ZHANG, J. Spatial and temporal variability of precipitation indices during 1961–2010 in Hunan Province, central south China. **Theoretical and applied climatology**, v. 118, n. 3, p. 581-595, 2014.

HUANG, Y.; WANG, H.; XIAO, W.; CHEN, L.; YAN, D. ZHOU, Y.; JIANG, D.; YANG, M. Spatial and temporal variability in the precipitation concentration in the upper

reaches of the Hongshui River basin, southwestern China. **Advances in Meteorology**, v. 2018, 1-19, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas da População, publicado no Diário Oficial da união em 25/08/2020. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso diversificado durante toda pesquisa.

IONITA, M.; SCHOLZ, P.; CHELCEA, S. Assessment of droughts in Romania using the Standardized Precipitation Index. **Natural Hazards**, v. 81, n. 3, p. 1483-1498, 2016. (DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2141-8>)

IPCC. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp, 2001a.

IPCC. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001b.

IPCC. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp, 2007.

IPCC. **Summary for Policymakers**. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [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, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 3-21, 2012.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**, T. Contribution of

Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, 2013.

**IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.** Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp, 2014.

**IPCC. Summary for Policymakers.** In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MassonDelmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press, 42 pp, 2021.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C., MARENGO, J. A., ALVES, L. M., SULCA, J. C., TAKAHASHI, K., FERRETT, S., & COLLINS, M. The role of ENSO flavours and TNA on recent droughts over Amazon forests and the Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, 2019.

JUNQUEIRA, H. S.; ALMEIDA, L. M. F.; SOUZA, T. S.; NASCIMENTO, P. S. Análise da Variação Sazonal e de Tendências na Precipitação Pluviométrica no Município de Juazeiro-BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2641-2649, 2020.

KABAT, P.; SCHULZE, R. E.; HELLMUTH, M. E.; VERAART, J. A. **Coping with impacts of climate variability and climate change in water management: a scoping paper.** International Secretariat of the Dialogue on Water and Climate,

Wageningen, Netherlands. 2002.

KARAVITIS, C. A.; ALEXANDRIS, S.; TSESMELIS, D. E.; ATHANASOPOULOS, G. Application of the standardized precipitation index (SPI) in Greece. **Water**, v. 3, n. 3, p. 787-805, 2011. (DOI: <https://doi.org/10.3390/w3030787>)

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4a edição. Charles Griffin, Londres, 1975.

KENYON, J.; HEGERL, G. C. Influence of modes of climate variability on global temperature extremes. **Journal of Climate**, v. 21, n. 15, p. 3872-3889, 2008.

KOUDAHE, K.; KAYODE, A. J.; SAMSON, A. O.; ADEBOLA, A. A.; DJAMAN, K. Trend analysis in standardized precipitation index and standardized anomaly index in the context of climate change in Southern Togo. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 7, n. 04, p. 401-423, 2017. (DOI: <https://doi.org/10.4236/acs.2017.74030>).

KOUSKY, V. E. Frontal influences on northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.

LACERDA, F. F.; SILVA JÚNIOR, H. D. S.; ASSAD, E. D.; ASSIS, J. M. O de.; MOURA, M. S. B. Extremos e variabilidade climática no Nordeste brasileiro e em Pernambuco In: GALVÍNCIO, J. D. **Mudanças climáticas e impactos ambientais**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 342 p. 1-23, 2010.

LACERDA, F. F. **Tendências de temperatura e precipitação e cenários de mudanças climáticas de longo prazo no Nordeste do Brasil e em ilhas oceânicas**. 2015. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

LANA, X.; SERRA, C.; BURGUEÑO, A. Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the standardized precipitation index for Catalonia (NE Spain). **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 21, n. 13, p. 1669-1691, 2001

LAURANCE, W. F. A crisis in the making: responses of Amazonian forests to land use and climate change. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 13, n. 10, p. 411-415, 1998.

LI, X.; JIANG, F.; LI, L.; WANG, G. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 11, p. 1679-1693, 2011.

LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; ALLURED, D.; VERA, C. S.; CHARLES JONES, C.; CARVALHO, L. M. V.; BLADÉ, I.; GONZÁLES, P. L. M. Mechanisms Associated with Large Daily Rainfall Events in Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 24, n. 2, p. 376-396, 2011. (<https://doi.org/10.1175/2010JCLI3457.1>).

LIMA, J. R. de; MAGALHÃES, A. R. Secas no Nordeste: registros históricos das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21. **Parcerias Estratégicas**, v. 23, n. 46, p. 191-212, 2019.

LONGOBARDI, A.; BUTTAUFUOCO, G.; CALOIERO, T.; COSCARELLI, R. Spatial and temporal distribution of precipitation in a Mediterranean area (southern Italy). **Environmental earth sciences**, v. 75, n. 3, p. 189, 2016. (DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5045-8>)

LLOYD-HUGHES, B; SAUNDERS, M. A. A drought climatology for Europe. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 22, n. 13, p. 1571-1592, 2002.

LYON, B. Enhanced seasonal rainfall in Northern Venezuela and the extreme events of December 1999. **Journal of Climate**, v. 16, n. 13, p. 2302-2306, 2003.

MACHADO, C. C. C.; NÓBREGA, R. S.; OLIVEIRA, T. H.; ALVES, K. M. A. S. Distúrbio ondulatório de leste como condicionante a eventos extremos de precipitação em Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 11, 2012. (DOI:10.5380/abclima.v11i0.28699)

MAGRIN, G.; GAY GARCÍA, C.; CRUZ CHOQUE, D.; GIMÉNEZ, J. C.; MORENO, A. R.; NAGY, G. J.; NOBRE, C.; VILLAMIZAR, A. 2007: "Latin America". **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 581-615, 2007.

MAHFOUZ, P.; MITRI, G.; JAZI, M.; KARAM, F. Investigating the temporal variability of the Standardized Precipitation Index in Lebanon. **Climate**, v. 4, n. 2, p. 27, 2016. (DOI: <https://doi.org/10.3390/cli4020027>).

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica**, v. 33, p. 245-249, 1945.

MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R.; ROCHA, H. M. Distribuição Espaço-temporal e Sazonalidade das Chuvas no estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2011. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/sgcv3/.pdf>> Acesso em: 30 de maio de 2021.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 212 p. Série Biodiversidade, v. 26, Brasília: MMA, 2006.

MARENGO, J. A.; ALVES, L.; VALVERDE, M.; ROCHA, R.; LABORDE, R. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI**: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas

Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília – DF, 2007.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.

MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; PINTO, H. S.; ZEE, D. M. W. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Rio de Janeiro: FBDS, 2009.

MARENGO, J. A. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima – Impactos sociais e econômicos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciências do Sistema Terrestre, São Paulo, Brasil. **Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas (GPMC)**, Edição Especial, v. 8, p. 1-5, 2009.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2010.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, v. 1, p. 385-422, 2011.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A.; CAMARGO, H.; RIVEROS, M. P.; PABLÓ, A. D. Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in northeast Brazil. **Journal of climate**, v. 26, n. 22, p. 9137-9154, 2013.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3, p. 1189-1200, 2017.

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. Anaheim, CA, January 17–22. **American Meteorological Society**,

Boston, MA, USA, p. 179–184, 1993.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; BESKOW, S.; NORTON, L. D. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. **Geoderma**, v. 202, p. 88-102, 2013.

MENDONÇA, E. A. **Análise da precipitação nas mesorregiões do Estado de Pernambuco**. 2016. 106 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.

MESQUITA, A. R.; FRANCO, A. S.; HARARI, J.; FRANÇA, C. A. S. On sea level along the Brazilian coast - part II. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 31, n. 5, p. 33-42, 2013.

MICHIELS, P.; GABRIELS, D.; HARTMANN, R. Using the Seasonal and Temporal Precipitation Concentration Index for Characterizing the Monthly Rainfall Distribution in Spain. **Catena**, v. 19, n.1, p. 43-58, 1992.

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.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Climate Change: Evidence, Impacts, and Choices: PDF Booklet**. Washington, DC: The National Academies Press, 2012.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; SOARES, D. B. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 276-292, 2016.

NUNES, M. C. M.; SILVA, S. M. A.; NEVES, R. J.; NERY, J. T. Comportamento da precipitação pluvial no município de Cáceres Pantanal Mato-Grossense no período de 1971 a 2011. **Científica**, v. 44, n. 3, p. 271-278, 2016.

NUNES, A. A. **Tendências em eventos extremos de precipitação na região metropolitana de Belo Horizonte: detecção, impactos e adaptabilidade**. 2018.

207 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

OLIVER, J. E. Monthly precipitation distribution: a comparative index. **The Professional Geographer**, v. 32, n. 3, p. 300-309, 1980. (DOI: [10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x](https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x))

PAULO, A. A.; PEREIRA, L. S.; MATIAS, P. G. Analysis of local and regional droughts in southern Portugal using the theory of runs and the Standardized Precipitation Index. In: **Tools for drought mitigation in Mediterranean regions**. Springer, Dordrecht, p. 55-78, 2003. (DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0129-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0129-8_4))

PBMC. **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil, 24 p, 2013a.

PBMC. **Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário Executivo do GT2. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 28 p, 2013b.

PBMC. **Mudanças Climáticas e Cidades**. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE –UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 116p. 2016.

PEREIRA, M. L. T.; SOARES, M. P. A.; SILVA, E. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SOUZA, W. M. Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 394-402, 2017.

PERNAMBUCO. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Regionalização do Estado de Pernambuco. 2009. Disponível em: <http://200.238.107.167/home> Acesso em: 13 de abril de 2021

PERNAMBUCO. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Relatório de situação de recursos hídricos do Estado de Pernambuco 2011/2012**. Recife: APAC, 116 p, 2013.

PERNAMBUCO. Secretaria de Desenvolvimento Econômico. **Atlas Eólico e Solar de Pernambuco**. 2017. Disponível em: <<http://www.atlaseolicosolar.pe.gov.br/>> Acesso em: 20 de abril de 2021.

POVOA. L. V.; NERY. J. T. Precintcon: Precipitation Intensity. Concentration and Anomaly Analysis. **R package version 2.2.1.**, 2016. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=precintcon>>.

RAZIEI, T.; DARYABARI, J.; BORDI, I.; PEREIRA, L. S. Spatial patterns and temporal trends of precipitation in Iran. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 115, n. 3, p. 531-540, 2014.

RAZIEI, T. An analysis of daily and monthly precipitation seasonality and regimes in Iran and the associated changes in 1951–2014. **Theoretical and applied climatology**, v. 134, n. 3, p. 913-934, 2018.

REPELLI, C. A.; SILVEIRA, N. F.; BRABO, J. M.; NOBRE, C. A. Índice de anomalia de precipitação para o Estado do Ceará. In: **X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET**. 1998.

RIBEIRO, E. P.; MACIEL, A. S. Q. A. Análise do Índice de Anomalia de Chuva na microrregião de Vitória de Santo Antão – Pernambuco. **Revista GeoNordeste**, n. 2, p. 89-106, 2018.

RODRÍGUEZ, M. F.; CORTEZ, A.; REY, J. C.; LOBO, D.; PARRA, R. M.; GONZÁLEZ, W.; OVALLES, F.; GABRIELS, D. Analysis of precipitation aggressiveness and concentration in Venezuela. III. Southeastern Region (Guayana and Delta). **Bioagro**, v. 23, n. 2, p. 99-104, 2011.

ROOY, M. P. V. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notos**, Pretoria, v. 14, n. 1, p. 43-48, 1965.

ROPELEWSKI, Chester F.; HALPERT, Michael S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly weather review**, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. **Journal of climate**, v. 2, n. 3, p. 268-284, 1989.

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.

SANGÜESA, C.; PIZARRO, R.; IBAÑEZ, A.; PINO, J.; RIVERA, D. GARCÍA-CHEVESICH, P.; INGRAM, B. Spatial and Temporal Analysis of Rainfall Concentration Using the Gini Index and PCI. **Water**, v. 10, n. 2, p. 112, 2018.

SANTOS, K. N. V.; SILVA, M. G.; OLIVEIRA, A. S.; SOUZA, E. Análise espacial de dados de precipitação pluvial no agreste pernambucano. In: **II Inovagri Internacional Meeting**, 4671-4679, 2014.

SALGUEIRO, J. H. P. B. **Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: Estudo de caso na bacia do rio Ipojuca em Pernambuco**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2005.

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.

SECTMA - Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente. Plano Estadual de

Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. Recife – PE, v. 1 p. 74-82 e v. 2, p. 46-59, 1998.

SEILER, R. A.; HAYES, M.; BRESSAN, L. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 22, n. 11, p. 1365-1376, 2002.

SEMARNAT. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (serie ¿Y el medio ambiente?). México. 2009, Disponível em: <[https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio\\_climatico\\_09-web.pdf](https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio_climatico_09-web.pdf)>. Acesso em: 12 de maio de 2021.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American statistical association**, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968. (DOI:[10.1080/01621459.1968.10480934](https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934))

SERRA, A. B. The general circulation over South America. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 22, n. 4, p. 173-179, 1941.

SILVA, B. B. da.; FERREIRA, M. A.; SILVA, V. D. P da.; FERREIRA, R. D. C. Desempenho de modelo climático aplicado à precipitação pluvial do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p. 387-395, 2010.

SILVA, B. K. N.; LUCIO, P. S. Characterization of risk/exposure to climate extremes for the Brazilian Northeast—case study: Rio Grande do Norte. **Theoretical and applied climatology**, v. 122, n. 1, p. 59-67, 2015.

SILVA, C. C. S. **Análise de complexidade da precipitação mensal no Estado de Pernambuco utilizando o Sample Entropy**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) – Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, Brasil, 2016.

SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. de. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 579-589, 2017.

SILVA, M. J.; GALVÍNIO, J. D.; COSTA, V. S. O. Abordagem interdisciplinar sobre a influência da zona de Convergência Intertropical — ZCIT no Nordeste Brasileiro. *Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais*, Recife, v. 6, n. 1, p. 107-117, 2017.

SILVA, M. J.; QUEIROZ, M. G.; JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO, G. Gradientes pluviométricos do estado de Pernambuco: uma análise do litoral ao semiárido. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 3, p. 240-249, 2018.

SILVA, B. M. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica para avaliação de inundações na zona urbana de Caruaru, PE. 2019.** 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

SILVA, A. S. A.; CUNHA FILHO, M.; MENEZES, R. S. C.; STOSIC, T.; STOSIC, B. Trends and Persistence of Dry–Wet Conditions in Northeast Brazil. **Atmosphere**, v. 11, n. 10, p. 1134, 2020.

SIMÕES, Y. S.; SILVA, E. H. B. C.; ARAÚJO, H. A. Rainfall zoning of Bahia State, Brazil: an update proposal. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, 2018.

SONG, X.; SONG, S.; SUN, W.; MU, X.; WANG, S.; LI, J.; LI, Y. Recent changes in extreme precipitation and drought over the Songhua River Basin, China, during 1960–2013. **Elsevier Atmospheric Research**, v. 157, p. 137-152, 2015.

SOUZA, I. A.; LACERDA, F. F.; ARAGÃO, J. O. R.; MOURA, G. B. D. A.; FERREIRA, M. A. F.; FERREIRA, F. F.; SILVA, C. V. Influência do El Niño no comportamento pluviométrico do Estado de Pernambuco durante o ano de 1998. In: **Anais do XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e II Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia CD ROM**, Florianópolis-SC, 1999.

SOUZA, T. S. NASCIMENTO, P. S. Spatial and temporal variability of pluviometric

precipitation in the hydrographic region of Paraguaçu-BA. **Revista Cerrados (Unimontes)**, v. 19, n. 1, 2021.

SPECIAN, V.; VECCHIA, F. A. S. Distribuição da frequência mensal da precipitação para região Oeste de Goiás: comparação entre dois postos pluviométricos. **Revista Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 8, n. 1, p. 200-214, 2014.

SRHE - Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco, Documentos para downloads Atlas de Bacias Hidrográficas. Disponível em: <<http://www.sirh.srh.pe.gov.br/site/documentos/>> Acesso diversificado durante toda pesquisa.

STEINEMANN, A. C.; HAYES, M. J.; CAVALCANTI, L. Drought indicators and triggers. **Drought and water crises: Science, technology, and management issues**, p. 71-92, 2005.

SUGUIO, K. **Mudanças ambientais da Terra**. São Paulo: Inst. Geológico. 336 p, 2008.

SZALAI, S.; SZINELL, C. S. Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary— A case study. In: Vogt J.V., Somma F. (eds) **Drought and Drought Mitigation in Europe**. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Springer, Dordrecht, v. 14, p. 161 – 166, 2000. (DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9472-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9472-1_12))

THIELEN, D.; SCHUCHMANN, K.; RAMONI – PERAZZI, P.; MARQUEZ, M.; ROJAS, W.; QUINTERO, J. I.; MARQUES, M. I. Quo vadis Pantanal? Expected precipitation extremes and drought dynamics from changing sea surface temperature. **Plos one**, v. 15, n. 1, p. e0227437, 2020.

THOM, H. C. S. A note on gamma distribution. **Monthly Weather Review**. v. 86, n. 4, p. 117–122, 1958.

THOMAS, C. D.; CAMERON, A.; GREEN, R. E.; BAKKENES, M.; BEAUMONT, L. J.;

COLLINGHAM, Y. C.; ERASMUS, B. F. N.; SIQUEIRA, M. F.; GRAINGER, A.; HANNAH, L.; HUGHES, L.; HUNTLEY, B.; JAARSVELD, A. S. V.; MIDGLEY, G. F.; MILES, L.; ORTEGA-HUERTA, M. A.; PETERSON, A. T.; PHILLIPS, O. L.; WILLIAMS, S. E. Extinction risk from climate change. **Nature**, v. 427, n. 6970, p. 145-148, 2004.

THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**, London, v. 38, p. 55-94, 1948.

TINGEM, M.; RIVINGTON, M.; COLLS, J. Climate variability and maize production in Cameroon: Simulating the effects of extreme dry and wet years. **Singapore Journal of Tropical Geography**, v. 29, p. 357–370, 2008.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir** (1st ed.). São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TONKAZ, T. Spatio-temporal assessment of historical droughts using SPI with GIS in GAP Region, Turkey. **Journal of Applied Sciences**, v.12, n.6, p. 2565-2571, 2006.

TSAKIRIS, G.; LOUKAS, A.; PANGALOU, D.; VANGELIS, H.; ROSSI, G.; TIGKAS, D.; CANCELLIERE, A. **Drought characterization [Part 1. Components of drought planning. 1.3. Methodological component]**. In: Iglesias A. (ed.), Moneo M. (ed.), López-Francos A. (ed.). Drought management guidelines technical annex. Zaragoza: CIHEAM/EC MEDA Water, p. 85-102, 2007. Disponível em: <<http://om.ciheam.org/om/pdf/b58/00800535.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2021.

VALLI, M.; SREE, K. S.; KRISHNA, I. V. M. Analysis of precipitation concentration index and rainfall prediction in various agro-climatic zones of Andhra Pradesh, India. **International Research Journal of Environment Sciences**, v. 2, n. 5, p. 53-61, 2013.

VERÇOSA, L. F. M.; GOMES, M. M. A.; CIRILO, J. A. Análise de tendência de mudanças climáticas na Bacia do Rio Capibaribe. In: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu – PR, [S.l.: s.n.], 2019.

WILHITE, D. A. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. Drought. **A Global Assessment**, London, England. v.1, p. 3-18, 2000.

WILKS, D. S. Maximum likelihood estimation for the gamma distribution using data containing zeros. **Journal of climate**, v. 3, n. 12, p. 1495-1501, 1990.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Regional Office for South-East Asia. **Climate change and health**. New Delhi : WHO Regional Office for South-East Asia, 2008.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness over the south Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. v. 55, n. 2, p. 205-207, 1977.

YU, P. S.; YANG, T. C.; WU, C. K. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. **Journal of Hydrology**, v. 260, n. 1-4, p. 161-175, 2002.

ZAMANI, H.; BAZRAFSHAN, O. Modeling monthly rainfall data using zero-adjusted models in the semi-arid, arid and extra-arid regions. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 132, n. 2, p. 239-253, 2020.

ZARGAR, A.; SADIQ, R.; NASER, B.; KHAN, F. I. A review of drought indices. **Environmental Reviews**, v. 19, p. 333-349, 2011.

ZHANG, K.; YAO, Y.; QIAN, X.; WANG, J. Various characteristics of precipitation concentration index and its cause analysis in China between 1960 and 2016. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 12, p. 4648-4658, 2019. (DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6092>)

ZHANG, L.; QIAN, Y. Annual distribution features of precipitations in China and their interannual variations. **Acta Meteorológica Sinica**, v. 7, n. 2, p. 146-163, 2003.

ZHANG, R.; AOQI, LI.; TAOTAO, C.; GUIMIN, X.; QI, W.; DAOCAI, C. Analysis of precipitation concentration degree changes and its spatial evolution in the western plain of Jilin Province. **Mausam**, v. 71, n. 2, p. 291-298, 2020.

ZIMMERMANN, R.; SCHONS, S. Mudanças climáticas e a pobreza – para além da Agenda 21. In: **Anais do Seminário Internacional “Experiências de Agenda 21: os desafios do nosso tempo”**. Ponta Grossa – PR, 2009.

## 9 APÊNDICE

### 9.1 APÊNDICE A - ESTATÍSTICAS DOS TESTES DE MANN-KENDALL E SEN'S SLOPE PARA A PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL NO PERÍODO DE 1990 A 2020.PARA CADA UM DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SELECIONADOS

Tabela 14: Teste de tendências de Mann-Kendall e Sen's Slope para a precipitação média anual de cada um dos postos pluviométricos selecionados no período de 1990 a 2020

Nº	Posto	Mesorregião	Z	Significância	Sen's Slope
1	Afrânio	MSF	-0,16996	0,865	-1,04
2	Araripina	MSP	2,5835	0,0098	10,86
3	Arcoverde	MSP	0,4759	0,6341	2,1412
4	Barreiros	MZM	1,7676	0,07712	18,638
5	Belém do São Francisco	MSF	-0,96894	0,3326	-2,76
6	Belo Jardim	MAP	0,033993	0,973	0,325
7	Betânia	MSP	1,0878	0,2767	5,2125
8	Bom Jardim	MAP	-0,033993	0,973	0,06424
09	Caruaru (IPA)	MAP	0,84982	0,3954	0,00829
10	Correntes	MAP	2,3455	0,019	-0,08871
11	Cortês	MZM	-1,3597	0,1739	-11,067
12	Flores	MSP	1,6656	0,09578	8,28
13	Floresta	MSF	0,27194	0,7857	0,525
14	Frei Miguelinho	MAP	-0,0679	0,9458	0,06383
15	Garanhuns	MAP	0,9858	0,3242	-0,0289
16	Ibimirim	MSP	0,61187	0,5406	3,1625
17	Igarassu	MMR	-1,6656	0,09578	-11,4846
18	Iguaraci	MSP	1,8016	0,07161	9,5058
19	Inajá	MSP	-0,30594	0,7597	-1,205
20	Itambé	MZM	0,57788	0,5633	4,13
21	Moreilândia	MSP	0,30594	0,7597	1,169
22	Parnamirim	MSP	0,033993	0,9729	0,2479
23	Paudalho	MZM	-0,40791	0,6833	-1,82
24	Pesqueira	MAP	0,4759	0,6341	-0,0408
25	Petrolina	MSF	-1,4277	0,1534	-4,92
26	Recife	MMR	-0,74784	0,4546	-8,8238
27	Riacho das Almas	MAP	1,8696	0,06154	-0,0047
28	Salgueiro	MSP	-0,13597	0,8918	-0,7308
29	Santa Cruz da Verenada	MSP	1,7676	0,07712	7,03
30	Santa Cruz do Capibaribe	MAP	2,3115	0,0208	-0,2712
31	Santa Maria da Boa Vista	MSF	0,67986	0,4966	2,9364
32	São Bento do Una	MAP	-0,23795	0,8119	0,001092
33	São Lourenço da Mata	MMR	-2,2948	0,02174	-14,7435
34	Serra Talhada	MSP	0,20396	0,8384	0,6714
35	Sertânia	MSP	0,88381	0,3768	3,3238
36	Surubim	MAP	-0,13597	0,8918	0,01635
37	Tacaratu	MSF	0,57788	0,5633	2,4286

---

38	Vitória de Santo Antão	MZM	-0,78184	0,4343	-4,032
----	------------------------	-----	----------	--------	--------

---

Legenda: MAP: Agreste Pernambucano; MMR: Metropolitana do Recife; MSF: Sertão do São Francisco; MSP: Sertão Pernambucano; MZM: Zona da Mata.