



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

JOYCE FERREIRA GOMES

**DINÂMICA PLUVIOMÉTRICA NA MESORREGIÃO SUL CEARENSE: UMA  
RELAÇÃO COM FATORES TOPOGRÁFICOS E ANOMALIAS DA TEMPERATURA  
DA SUPERFÍCIE DO MAR DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO**

Recife-PE

2023

JOYCE FERREIRA GOMES

**DINÂMICA PLUVIOMÉTRICA NA MESORREGIÃO SUL CEARENSE: UMA  
RELAÇÃO COM FATORES TOPOGRÁFICOS E ANOMALIAS DA TEMPERATURA  
DA SUPERFÍCIE DO MAR DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geografia, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Geografia.

**Área de Concentração:**  
Regionalização e Análise Regional.

**Linha de Pesquisa:** Análise Ambiental, Dinâmica Superficial e Climática Das Paisagens.

**Orientador:** Osvaldo Girão da Silva.

**Coorientadora:** Juliana Maria Oliveira Silva

Recife-PE

2023

Catálogo na Fonte  
Bibliotecário: Rodrigo Leopoldino Cavalcanti I, CRB4-1855

G633d Gomes, Joyce Ferreira.  
Dinâmica pluviométrica na mesorregião sul cearense : uma relação com fatores topográficos e anomalias da temperatura da superfície do mar dos oceanos Atlântico e Pacífico / Joyce Ferreira Gomes. – 2023.  
91 f. : il. ; tab. ; 30 cm.

Orientador : Osvaldo Girão da Silva.  
Coorientadora : Juliana Maria Oliveira Silva.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2023.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Chuvas. 3. Mesorregião. 4. Variabilidade climática. 5. Topografia. 6. Condições oceânicas. I. Silva, Osvaldo Girão da (Orientador). II. Silva, Juliana Maria Oliveira (Coorientadora). III. Título.

910 CDD (22.ed.)

UFPE (BCFCH2024-056)

JOYCE FERREIRA GOMES

**DINÂMICA PLUVIOMÉTRICA NA MESORREGIÃO SUL CEARENSE: UMA  
RELAÇÃO COM FATORES TOPOGRÁFICOS E ANOMALIAS DA TEMPERATURA  
DA SUPERFÍCIE DO MAR DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestra em geografia. Área de concentração: regionalização e análise regional.

Aprovada em: 09/11/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva (Orientador – Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Cristiana Coutinho Duarte (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Lucas Costa de Souza Cavalcanti (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Daisy Beserra Lucena (Examinadora Externa)  
Universidade Federal da Paraíba

Dedico esta Dissertação àqueles que sonham  
e persistem para alcançar seus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

Por mais solitária que seja a construção de uma Dissertação de Mestrado, acredito que é impossível chegar até aqui sozinha. Sendo assim, separo esse espaço para agradecer de forma breve a todos que, de alguma forma, colaboram para a concretude desta Dissertação. Agradeço:

A Deus pelo dom da vida, por me iluminar e guiar tão bem durante muitos perrengues, angústias e frustrações na construção desta pesquisa.

Aos meus pais, Joelma e José, pelo amor, carinho e apoio depositado durante essa caminhada. Amo vocês.

À minha Tia Ana Cristina, por tudo! Sem o seu apoio, amor e confiança talvez eu não estaria aqui escrevendo esse trabalho de conclusão de curso de Mestrado. Obrigada!

À minha lindeza Ana Luísa, por me ensinar tanto sobre amor e afeto e por muitas das vezes ser meu acalento no início desse ciclo.

Ao meu orientador Osvaldo Girão, pela orientação e valiosas sugestões na elaboração desta pesquisa.

Aos Professores e Professoras do Curso de Mestrado da UFPE, pelos conhecimentos compartilhados.

À minha coorientadora e amiga Juliana Maria Oliveira Silva, por acreditar no meu potencial, por todo incentivo, auxílio e ajuda na construção desta pesquisa.

À professora Cristiana Coutinho pela assistência e pelas sugestões no site da UNIFEI.

Ao Laboratório de Análise Geoambiental – LAGEO da URCA, o qual ainda faço parte, por disponibilizar dados e a licença da técnica (*box plot*) utilizada nesta pesquisa. E ainda pelas muitas tardes de conversas e troca de conhecimento.

Ao meu amigo Thiago Felix, pela parceria e incentivos em todos os momentos, mesmo com a correia e os contratemplos estar sempre disponível para me ouvir e ajudar. Grata pela amizade!

Às minhas professoras de graduação e amigas Daniely Guerra (Dani), Clesley Tavares e Simone Ribeiro por todos incentivos, ensinamentos, atenção e amizade.

Aos meus colegas e amigos de trabalho da EEEP Alfredo Nunes de Melo (**Família ANM**) por todo o apoio e carinho. É muito bom conviver com vocês.

Aos meus ALUNOS, por me ensinarem tanto sobre a minha identidade docente.

Ao meu irmão Joaby, meu tio Reinaldo e padrinho Ricardo, por todo apoio que me fez chegar até aqui.

Aos meus colegas e amigos(a), Gabriela Saraiva, Celiane Januário, Mayra Pinheiro, Vinicius Luna, Felipe Oliveira pela amizade e pelas contribuições ao longo desse ciclo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo que foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO), da Universidade Federal de Pernambuco, em especial ao secretário Eduardo por toda assistência no decorrer desses anos de pesquisa.

“A geografia tem suas raízes na busca e no entendimento da diferenciação de lugares, regiões, países e continentes, resultante das relações entre os homens e entre estes' e a natureza”  
(CORRÊA, 1987).

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar a interação oceano-continente-atmosfera e sua influência na variabilidade pluviométrica espacial e temporal da Mesorregião Sul Cearense (MSC) no período 1981-2021. A Mesorregião Sul Cearense é um dos mais importantes setores do contexto geográfico, socioeconômico, paleontológico e cultural do estado do Ceará, e entender a variabilidade pluviométrica dessa região é de grande importância para a compreensão das condições climáticas. Os procedimentos metodológicos estão pautados na Climatologia Dinâmica e na Análise Rítmica proposta por Monteiro (1962 e 1971). A classificação dos anos padrão foi executado pelo método *box-plot* a partir de postos pluviométricos inseridos na Mesorregião Sul Cearense totalizando 25 postos oriundos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Durante o ano o volume acumulado de chuvas na MSC é de, no mínimo 479 mm, com média pluviométrica anual de 827 mm, com máximas que chegam a 1679 mm, máxima mais adequada para as localidades que abrangem o relevo sedimentar da área de estudo. A área de estudo apresenta ainda uma dinâmica sazonal diferenciada, compondo duas estações nas faixas equatorial e tropical: estação chuvosa e estação seca, a estação chuvosa tem forte ligação com os sistemas de circulação atmosférica regional. Com a aplicação do *box-plot* por cada posto foi possível estabelecer a classificação dos anos-padrão. A categoria “Normal” é o padrão mais recorrente da área de estudo com 19 anos, em seguida vem os anos Secos (09 anos) e Chuvosos (09 anos), e os Extremamente Seco ou Chuvoso com dois anos para cada. O monitoramento das condições oceânicas é essencial para o estabelecimento de quanto um ano pode se apresentar de forma distinta em relação à pluviosidade, nos anos de ocorrência de El Niño, La Niña e Dipolo Positivo ou Negativo do Atlântico influenciaram na distribuição das chuvas na MSC. Em eventos de El Niño Forte e o Dipolo Positivo os anos tenderam a se apresentarem “Secos” ou “Extremamente Seco” destaca-se 1981, 1982, 1983, 1998, 2012. Já com La Niña Forte e Dipolo Negativo, as chuvas apresentaram situação de anos mais próximo ao Normal, chuvoso ou Extremamente chuvoso, destaca-se os anos de 1985, 1989, 2004, 2020. Conclui-se que é de grande importância estudar essa variabilidade para compreender como a interação do oceano-continente-atmosfera inibem ou favorecem a ocorrência das chuvas nas mesorregiões cearenses.

**Palavras-chave:** chuva; mesorregião; variabilidade climática; topografia; condições oceânicas.

## ABSTRACT

The current study intended to analyze the ocean-continent-atmosphere interaction and its influence on the spatial and temporal rainfall variability of the Southern Cearense Mesoregion (MSC) in the period 1981-2021. The Southern Cearense Mesoregion is one of the most important sectors of the geographic, socioeconomic, paleontological and cultural context of the state of Ceará, and understanding the rainfall variability in this region is of great importance for understanding climatic conditions. The methodological procedures are based on Dynamic Climatology and Rhythmic Analysis proposed by Monteiro (1962 and 1971). The classification of standard years was carried out using the box-plot method from rainfall stations inserted in the Southern Cearense Mesoregion, totaling 25 stations from the Cearense Foundation of Meteorology and Water Resources (FUNCEME) and the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA). During the year, the accumulated volume of rainfall in the MSC is at least 479 mm, with an average annual rainfall of 827 mm, with maximums reaching 1679 mm, a maximum more suitable for the locations that cover the sedimentary relief of the study area. The study area also presents a different seasonal dynamic, comprising two seasons in the equatorial and tropical bands: rainy season and dry season, the rainy season has a strong connection with regional atmospheric circulation systems. By applying the box-plot for each station, it was possible to establish the classification of standard years. The “Normal” category is the most recurrent pattern in the study area with 19 years, followed by the Dry years (09 years) and Rainy years (09 years), and the Extremely Dry or Rainy years with two years for each. Monitoring oceanic conditions is essential for establishing how different a year can be in relation to rainfall, in years when El Niño, La Niña and Positive or Negative Atlantic Dipoles influence the distribution of rainfall in the MSC. In Strong El Niño and Positive Dipole events, the years tended to be “Dry” or “Extremely Dry”, with 1981, 1982, 1983, 1998, 2012 standing out. With Strong La Niña and Negative Dipole, the rains presented a situation of years closest to Normal, rainy or Extremely rainy, the years 1985, 1989, 2004, 2020 stand out. It is concluded that it is of great importance to study this variability to understand how the ocean-continent-atmosphere interaction inhibits or favor the occurrence of rain in the mesoregions of Ceará.

**Key-words:** rain; mesoregion; climate variability; topography; oceanic conditions.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Efeitos globais da atuação do fenômeno <i>El Niño</i> , imagem ilustrativa com ênfase para o norte e nordeste do Brasil.....	33
Figura 02 - Efeitos globais da atuação do fenômeno <i>La Niña</i> , imagem ilustrativa com ênfase para o norte e nordeste do Brasil.....	34
Figura 03 - Mapa de Localização da Mesorregião Sul Cearense.....	39
Figura 04 - Localização geográfica dos postos pluviométricos da Mesorregião Sul Cearense ...	42
Figura 05 - Regiões Geomorfológicas da Mesorregião Sul Cearense.....	43
Figura 06 - Mapa de Classes de Solo da Mesorregião Sul Cearense.....	44
Figura 07 - Mapa Hipsométrico da Mesorregião Sul Cearense.....	46
Figura 08 - Mapa de Declividade da Mesorregião Sul Cearense.....	47
Figura 09 - Diagrama esquemático indicando a posição mais ao norte das frentes frias que influenciam as chuvas no Nordeste do Brasil e a nebulosidade associada a elas estendendo-se até oeste da Região Amazônica.....	49
Figura 10 - Atuação da ZCIT no Nordeste brasileiro.....	50
Figura 11 - Diagrama esquemático da nebulosidade associada aos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior-VCAS.....	51
Figura 12 - Atuação do VCAS em partes da região nordeste do Brasil.....	51
Figura 13 – Climograma representativo da Mesorregião Sul Cearense - Posto Barbalha.....	52
Figura 14 - Climograma representativo da Mesorregião Sul Cearense - Posto Campo Sales.....	52
Figura 15 - Gráfico da precipitação mensal para o município Barbalha/CE (Normais Climatologias de 1981 a 2010 e 1991 a 2020).....	53
Figura 16 - Gráfico da temperatura compensada mensal para o município Barbalha/CE (Normais Climatologias de 1981 a 2010 e 1991 a 2020).....	53
Figura 17 - Mapa de Uso e Ocupação do ano de 1990 da Mesorregião Sul Cearense.....	55
Figura 18 - Mapa de Uso e Ocupação do ano de 2020 da Mesorregião Sul Cearense.....	56
Figura 19 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos da dissertação.....	57
Figura 20 - Procedimento utilizado para o preenchimento de falhas do banco de dados pluvial, com base em Tucci e Silveira (2004, p.183).....	59
Figura 21 - Representação dos elementos do gráfico <i>Box Plot</i> .....	60
Figura 22 - Índice mensal do dipolo da TSM do Atlântico para o período de 1964-2020 calculados a partir de dados da TSM provenientes de navios de comércio e oceanográficos e boias para as bacias norte e sul do Atlântico.....	65
Figura 23 - Variabilidade anual da precipitação para a Mesorregião Sul Cearense.....	66

Figura 24 - Ciclo anual da precipitação do período de 1981 a 2021 para a Mesorregião Sul Cearense .....	67
Figura 25 - Média anual da precipitação para cada postos pluviométricos da Mesorregião Sul Cearense 1981-2021 .....	68
Figura 26 - Distribuição anual da precipitação média para a Mesorregião Sul Cearense 1981–2021 .....	69
Figura 27 - Distribuição pluviométrica do período chuvoso na Mesorregião Sul Cearense 1981–2021 .....	70
Figura 28 - Distribuição pluviométrica do período seco na Mesorregião Sul Cearense 1981–2021 .....	71
Figura 29 - Padrões de Chuvas Relacionados ao El Nino sobre o Oceano Pacífico.....	78
Figura 30 - Mudanças relacionadas ao El Niño na Circulação Atmosférica nos Subtrópicos e nas Latitudes Médias .....	79
Figura 31 - Padrões de Chuvas Relacionados à La Niña sobre o Oceano Pacífico .....	80
Figura 32 - Mudanças relacionadas ao La Nina na Circulação Atmosférica nos Subtrópicos e nas Latitudes Médias .....	81

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 01 - Intervalo de classificação para os anos-padrões .....	61
Quadro 02 - Categoria dos anos-padrão para cada posto/município da área de estudo entre 1981-2021 .....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Coordenadas geográficas dos municípios e dados de precipitação dos postos pluviométricos na Mesorregião.....	62
Tabela 02 - Classes de declividade propostas pela EMBRAPA, 1979/2005 .....	63
Tabela 03 - Classificação/Padrão dos postos da Mesorregião Sul Cearense 1981-2021 .....	72
Tabela 04 - Classificação/Padrão dos meses da Mesorregião Sul Cearense 1981-2021.....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
<b>AT</b>	Oceano Atlântico Tropical
<b>CCM</b>	Complexos Convectivos de Mesoescala
<b>CE</b>	Ceará
<b>CRAJUBAR</b>	Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha
<b>CPTEC</b>	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
<b>DN</b>	Dipolo Negativo
<b>DP</b>	Dipolo Positivo
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>ENEB</b>	Região Nordeste do Brasil ou Nordeste oriental
<b>ENOS</b>	El Niño Oscilação Sul
<b>FF</b>	Frentes Frias
<b>FUNCEME</b>	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>INPE</b>	Instituto de Pesquisas Espaciais
<b>IPECE</b>	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
<b>LI</b>	Linhas de Instabilidade
<b>LN</b>	La Niña
<b>mm</b>	Milímetro
<b>MSC</b>	Mesorregião Sul Cearense
<b>NEB</b>	Nordeste Brasileiro
<b>NOAA</b>	National Oceanic e Atmospheric Administration
<b>ODs</b>	Ondas de Leste
<b>POA</b>	Perturbações ondulatórias no campo dos alísios
<b>PT</b>	Oceano Pacífico Tropical
<b>TOPODATA</b>	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
<b>SAODI</b>	Índice Dipolo do Oceano Atlântico Sul
<b>SASDI</b>	Índice Dipolo Subtropical do Atlântico
<b>TSM</b>	Temperatura da Superfície do Mar
<b>UNIFEI</b>	Universidade de Ciências Atmosféricas
<b>VCAN</b>	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

**ZCIT**

Zona de Convergência Intertropical

**ZCAS**

Zona de Convergência do Atlântico Sul

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2</b>	<b>ABORDAGEM TEÓRICA</b> .....	20
2.1	A CLIMATOLOGIA DINÂMICA NO BRASIL E SUAS ABORDAGENS.....	21
2.2	A CLIMATOLOGIA E TOPOGRAFIA REGIONAL .....	26
2.3	VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA E TÉCNICA DO <i>BLOX PLOT</i> NA CLASSIFICAÇÃO DOS ANOS-PADRÃO.....	29
2.4	INFLUÊNCIA DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NAS CHUVAS SOBRE O NORDESTE .....	32
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	39
3.1	ASPECTOS FÍSICO-NATURAIS DA MESORREGIÃO DO SUL CEARENSE.....	41
3.1.1	Caracterização climática da Mesorregião Sul Cearense .....	48
3.2	EVOLUÇÃO DAS FORMAS DE USOS E COBERTURA DA TERRA .....	54
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	57
4.1	BASE TEÓRICA .....	57
4.2	AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS .....	58
4.3	PROCEDIMENTOS TÉCNICOS.....	60
4.3.1	<i>Box Plot</i> para a determinação de Anos Padrão .....	60
4.4	ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS.....	61
4.4.1	Chuva .....	61
4.4.2	Topografia.....	62
4.5	DADOS SOBRE OS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO.....	63
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	66
5.1	VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA INTERANUAL E MENSAL DA MESORREGIÃO SUL CEARENSE.....	66
5.2	RELAÇÃO ENTRE OS FENÔMENOS ENOS E DIPOLO DO ATLÂNTICO TROPICAL COM A PLUVIOSIDADE DA MESORREGIÃO DO SUL CEARENSE .....	71
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	83
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	85

## 1 INTRODUÇÃO

A variabilidade pluviométrica apresenta uma grande importância para a compreensão das condições climáticas de uma região. Para se compreender o clima é necessário distinguir parâmetros como temperatura, pluviosidade, umidade, velocidade dos ventos, relevo, pressão atmosférica, dentre outros. O clima possui um caráter dinâmico, e se faz necessário observações periódicas dos seus elementos, com a finalidade de determinar se esses comportamentos são realmente permanentes e suas variações (HOPPE e WOLMANN, 2018).

A Mesorregião Sul Cearense (MSC) trata de uma parte do estado do Ceará que abrange 25 municípios de acordo com Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), sendo eles os municípios de: Abaiara, Altaneira, Araripe, Assaré, Aurora, Barbalha, Barro, Brejo Santo, Campos Sales, Caririaçu, Crato, Farias Brito, Granjeiro, Jardim, Jati, Juazeiro do Norte, Mauriti, Milagres, Missão Velha, Nova Olinda, Penaforte, Porteiras, Potengi, Salitre e Santana do Cariri. A posição geográfica da MSC em relação ao estado encontra-se nas baixas latitudes, trazendo ainda um referencial sobre os condicionantes físicos, como os aspectos gerais climáticos, no que se refere à predominância do clima semiárido.

A Mesorregião Sul Cearense engloba uma parcela muito significativa da bacia sedimentar do Araripe, alguns municípios que fazem parte da Mesorregião apresentam uma quadra chuvosa bem acima da média e outros bem abaixo, indagando-se o porquê de uma mesma região apresentar um desvio diferenciado na precipitação. Com isso, surgem os seguintes questionamentos: a partir do relevo (topografia) da região é possível verificar diferenças nos volumes de chuvas em escala anual e mensal? As maiores médias de precipitação encontram-se nas regiões da Chapada do Araripe (altas altitudes)? Como os fenômenos ENOS - El Niño, La Niña e Dipolo do Atlântico Tropical estão relacionados com as chuvas na região de estudo? Atuam de forma diferente nas áreas de alta altitudes?

A pesquisa aqui apresentada estabelece as bases da Climatologia Dinâmica, a partir dos estudos de Monteiro (1991 e 1973) como referência, o qual foi responsável pelo desenvolvimento de metodologias para estudos climáticos no Brasil, como a análise rítmica e o emprego de técnicas aplicada aos fundamentos geográficos de compreensão do Clima. O fundamento rítmico, aplicado a esta pesquisa, foi incorporado desde a coleta de dados, que foram organizados em favor da eleição de anos padrão. A escolha dos anos padrões possibilita a compreensão e caracterização do clima através da análise dos padrões normais e das possíveis diversificações que ocorrem na

circulação atmosférica, e que refletem nos tipos de tempo dos anos “secos” e “chuvosos” (TAVARES, 1976).

A eleição de anos-padrão compreende os desvios no regime climático que levam à escassez e ao excesso, que organizados sob a escala temporal anual permitem a delimitação da escala temporal da pesquisa. A técnica de *box plot* é relativamente nova em estudos climatológicos e nos permite trabalhar com análise de dados na classificação de regimes pluviométricos em escala mensal e anual, e a partir disso, se identificará anos “secos” e “chuvosos”. A partir desse detalhamento, compreende-se a dinâmica espacial e temporal da estação chuvosa e seca, considerando a sucessão oriunda das muitas facetas da atmosfera e do oceano. O fato de ser algo novo para área de estudo torna a pesquisa mais rica e servirá de subsídio para outros trabalhos que venham a ser desenvolvidos na região.

A iniciativa desta pesquisa aponta primeiramente a falta de estudos específicos sobre a temática em questão, aplicado à Mesorregião Sul Cearense, e não enfatiza a interação oceano-continente-atmosfera, assim como não destaca a dinâmica pluviométrica com aplicação dos anos-padrão e da técnica do *box plot*. Os estudos realizados para área de estudo até o momento são voltados para uma perspectiva de distribuição anual das chuvas e nesta pesquisa além da distribuição anual ampliou-se a escala de análise para a nível de quadra chuvosa e também mensal, com intuito de obter um maior detalhamento na variabilidade das chuvas.

Em segundo lugar, pode-se mencionar toda a importância que se reveste a compreensão da dinâmica atmosférica regional e local para os mais diversos setores da sociedade, e por contribuir diretamente para a tomada de decisões, sendo um importante subsídio para a gestão territorial e ambiental, seja ela relacionada a espaços urbanos ou rurais. Em terceiro lugar, justifica-se a realização da pesquisa devido ao fato de que a Mesorregião Sul Cearense, historicamente e geograficamente, caracteriza-se por processos de ocupação e uso das terras, o que indiretamente ou diretamente influencia na dinâmica climática da área de estudo.

Este trabalho também traz uma perspectiva de estudo da dinâmica das chuvas, quebrando o conhecimento da climatologia tradicional e dinâmica pautadas apenas na utilização de dados médios, colocando em evidência a variabilidade e dinamicidade que tem as chuvas, confrontando com o relevo e as teleconexões. Nesse sentido, este estudo tem como objetivo principal analisar a interação oceano-continente-atmosfera e sua influência na variabilidade pluviométrica espacial e temporal da Mesorregião Sul Cearense no período 1981-2021.

De maneira específica, destacam-se objetivos propostos como bases fundamentais ao objetivo principal:

1. Analisar a variação espaço-temporal das chuvas na Mesorregião Sul Cearense;
2. Relacionar a topografia e a espacialização das chuvas no domínio da Mesorregião;
3. Identificar anos-padrão (Extremamente Seco, Seco, Normal, Chuvoso, Extremamente chuvoso) a partir da variação da pluviosidade em escala, mensal e anual;
4. Avaliar a influência da atuação dos fenômenos El Niño, La Niña e o gradiente meridional inter-hemisférico de TSM do Atlântico (Dipolo Positivo/Negativo) para a distribuição das chuvas.

Para tanto, inicialmente: será apresentada a fundamentação teórica do estudo, abordando as principais questões teóricas e metodológicas da Climatologia Dinâmica no Brasil, a Climatologia e Topografia Regional; a variabilidade pluviométrica e técnica do *blox plot* na classificação dos anos-padrão e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na ocorrência dos anos Habituais, Secos e Chuvosos sobre o Nordeste brasileiro. Foram discutidos os principais trabalhos clássicos e recentes relativos às regionalizações climáticas que contemplaram a Região Nordeste. Em seguida, destaca-se a descrição geográfica da área estudada, discutindo os aspectos físico-naturais da Mesorregião do Sul Cearense, dentre eles a caracterização climática e a evolução das formas de usos e cobertura da terra.

Posteriormente, estão apresentados os procedimentos metodológicos e os materiais utilizados para elaboração da presente proposta de estudo. E, por fim, encontram-se apresentados os resultados, o primeiro subtópico no qual discute-se a variação espaço-temporal anual e mensal das chuvas na Mesorregião Sul Cearense e sua relação com o relevo. O segundo subtópico discorre sobre a análise da relação entre os fenômenos de El Niño, La Niña e Dipolo do Atlântico Tropical com a pluviosidade da MSC entre os anos de 1981–2021. O tópico final versa sobre as considerações finais do estudo, abarcando uma síntese dos resultados e suas possibilidades de desdobramentos a partir de futuras pesquisas a serem implementadas.

## 2 ABORDAGEM TEÓRICA

Um estudo climatológico pioneiro da fase científica metodológica foi desenvolvido por Alexander von Humboldt, no caso o livro “Cosmos: ensaio de uma descrição física do mundo”, de 1875 (SOARES, 2015). Foi estabelecido nesta obra um dos primeiros conceitos de clima organizados em torno de um método de análise.

Humboldt primava por uma metodologia descritiva e especulativa (PEDRAS, 2000), a partir da comparação em uma forma de expressão discursiva onde procurou destacar as especificidades locais e as particularidades que competem a uma materialidade dada, quer dizer, um esforço que poderia ser associado a um saber enciclopedista e materialista (VITTE e SILVEIRA, 2010). Humboldt era amante das aventuras, expressou em produtos cartográficos (mapas), livros o que ele via da natureza, o mesmo viu a natureza como uma grande unidade que contém em seu seio forças múltiplas que se combinam e se harmonizam, mesmo que elas pareçam se combater, e que todas visam ao mesmo objetivo: à multiplicação da vida.

É a partir dessa perspectiva que o autor trata suas práticas climatológicas, fazendo associações entre o relevo, o clima e as formações vegetais, abordando, conforme Ely (2006), uma análise integrativa dos aspectos naturais, em que o clima era estudado como componente da paisagem que se constitui a partir de sua correlação com os diversos tipos de relevos, com as porções terrestres ou oceânicas. O estudo pelo método analítico-correlativo, bem como a espacialização por isotermas de Humboldt, serviram de base para estudos aplicados à caracterização climática no decorrer dos anos até os dias atuais, pode-se citar a proposta de classificação climática apresentada por Köppen a mesma subsidiada pela técnica de espacialização de Humboldt (1875) e outros trabalhos que serão descritos no subitem abaixo (SOARES, 2015).

Para uma melhor compreensão e fundamentação teórica da pesquisa, foram abordados e discutidos alguns pontos: A Climatologia Dinâmica no Brasil, a Climatologia e topografia regional, variabilidade pluviométrica e técnica do *blox plot* na classificação dos Anos-padrão e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na ocorrência dos anos Habituais, Secos e Chuvosos sobre o Nordeste brasileiro. Trata-se de uma explanação sobre alguns pontos fundamentais do desenvolvimento e progresso da climatologia geográfica Brasileira.

## 2.1 A CLIMATOLOGIA DINÂMICA NO BRASIL

A Climatologia Dinâmica se desenvolve a partir dos avanços da Meteorologia Dinâmica. Entre os anos 1913 e 1917 Vilhelm Bjerknes promoveu a implantação da primeira escola de Meteorologia em Bergen, na Noruega, com pesquisas voltadas para Meteorologia sinótica e dinâmica. Um pouco depois, em 1926, na cidade de Chicago, Gustav Rossby criou a escola de Chicago, focalizando suas pesquisas no movimento do ar através de cartas barométricas. A criação destas escolas provoca um novo paradigma nos estudos meteorológicos e climáticos. Neto expressa que:

De fato, tanto Bjerknes quanto Rossby desenvolveram as bases conceituais e as aplicações concretas dos mecanismos físicos que possibilitam o surgimento da Meteorologia Sinótica que acabou por determinar uma mudança paradigmática na Climatologia, através da incorporação dos atributos dinâmicos (2015, p. 28).

Foi a partir desses modelos, nas décadas de 1920 e 1930, que Joaquim Sampaio Ferraz elabora as primeiras análises sinóticas, construindo um marco histórico nas ciências atmosféricas no Brasil (SANT'ANNA NETO, 2015). Sampaio Ferraz é um dos estudiosos da climatologia que contribuiu para aproximação da climatologia com ciência geográfica, pois o mesmo afirma que apesar de alguns estudiosos da meteorologia, e até mesmo da climatologia, defenderem que a climatologia é dedicada somente às aplicações, exemplo previsão do tempo, seria ilógico não levar em consideração a dinâmica do estado atmosférico sobre a superfície do globo terrestre, e suas influências sobre outros elementos e processos que compõem o extrato geográfico.

Com o desenvolvimento da meteorologia de superfície, avanços advindos da escola norueguesa e a análise sinótica de Sampaio Ferraz, no contexto brasileiro, abriram-se caminhos para o desenvolvimento da meteorologia dinâmica no Brasil a partir de Adalberto Serra e Leandro Ratisbonna, meteorologistas que contribuíram para o conhecimento da circulação atmosférica no Brasil, e que possibilitaram grandes contribuições para rede meteorológica, e para a climatologia geográfica (PEREIRA, 2018). Por exemplo, foi através dos estudos de Adalberto Serra que foi possível evidenciar os variados tipos de circulação atmosférica, geral e secundária, sobre o nosso território, a partir das definições dos centros de ação e dos sistemas perturbados, causas primárias dos tipos de tempos (SANT'ANNA NETO, 2015).

As contribuições de Sampaio Ferraz, Adalberto Serra e Leandro Ratisbonna são consideradas um marco histórico na Climatologia Dinâmica no Brasil, acrescida da abordagem proposta pelo geógrafo francês Max Sorre, nas décadas de 1940 e 1950. Este último realizou uma reflexão conceitual, propondo assim novos rumos teóricos para a Climatologia como fenômeno

geográfico e uma revisão nas definições de clima e tempo. "Sorre pôde captar a essência do caráter dinâmico e genético do clima e, talvez, exatamente pelo fato de ter relido o seu papel a partir de uma perspectiva externa ao problema, conseguiu extrair daí um novo paradigma" (SANT'ANNA NETO, 2008, p. 66). Sorre (2006)<sup>1</sup>, em seu livro *Traité de climatologie biologique et medicale*, discorre sobre o conceito de clima e tempo:

Denominando clima à série de estados atmosféricos sobre determinado lugar em sua sucessão habitual. Cada um desses estados [...] é o que a linguagem comum designa sob o nome de tempo. A palavra tempo corresponde, portanto, a uma combinação complexa, na qual, conforme o caso, um ou dois elementos [...] desempenham um papel preponderante (SORRE, 2006, p. 90).

As alterações de caráter metodológico acompanharam o próprio desenvolvimento da climatologia geográfica, uma vez que, até o início do século XX, a climatologia possuía suas bases conceituais na concepção de Julius Hann, na qual o clima e as manifestações de seus elementos deveriam ser entendidos como o conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam a condição média da atmosfera sobre cada lugar da Terra (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Diante disso, as anomalias e os eventos extremos, responsáveis por impactos ao meio e à sociedade, seriam desconsiderados do contexto climático, segundo Julius Hann. Sorre demonstrou não concordar com os métodos separatistas e ainda discutiu a concepção de clima revisando a ideia de Hann, pois para ele, sua definição tornava-se mais fiel à realidade climática, uma vez que o clima é formado pela interação de elementos (PEREIRA, 2018).

Segundo Sorre a unidade de análise dos fenômenos climáticos é o “tempo”, a combinação de propriedades e elementos atmosféricos que a cada momento e em cada lugar se apresenta como um fato singular com poucas chances de reproduzir de modos idênticos (RIBEIRO, 1982, p. 48).

Diferentes tipos de abordagem baseadas no conceito sorreano de clima convivem, e dentre eles, dois são debatidos, o de “tipos de tempo” levado a cabo por Pierre Pédelaborde e o de “ritmo climático”, responsável pelo surgimento da “escola de climatologia geográfica brasileira”, criada por Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro.

---

<sup>1</sup> Este texto corresponde ao capítulo introdutório da obra “*Traité de climatologie biologique et medicale*” publicado em 1934 em Paris sob a direção de M. Piery Masson et Cie Éditeurs. Vol. I, pp. 1 a 9. Traduzido pelo Prof. Dr. José Bueno Conti. Departamento de Geografia/ FFLCH/USP.

Apesar do fato de que era comum aos dois a preocupação com a caracterização das massas de ar, tomada como um dos elementos principais para compreensão do clima, Pédelaborde se limitou a uma descrição sumária e sistemática, um catálogo de tipos de tempo. No Brasil, o geógrafo Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, a partir das ideias de Sorre e Pédelaborde, passa a evidenciar a relevância do “ritmo” e “encadeamento” dos estados atmosféricos, buscando compreender como se articulavam e como se acomodavam sucessivamente a estados cíclicos semelhantes. Ribeiro (1982, p.50) menciona que “(...) sem estas contribuições, não seriam possíveis os trabalhos desenvolvidos a partir da década de 60. Se Sorre e Pédelaborde forneceram os métodos e as técnicas, Serra e colaboradores forneceram conteúdos teóricos para o desenvolvimento da Climatologia no Brasil”.

No Brasil, as pesquisas em Climatologia Dinâmica começaram a evoluir a partir dos anos 1960, com Monteiro, geógrafo renomado e considerado por muitos como o precursor da escola geográfica brasileira, que contribuiu para o desenvolvimento dos estudos voltados à Climatologia Dinâmica em nosso território. Monteiro, ao realizar seus estudos de clima, alcançou uma fiel e lúcida tradução do conceito sorreano de clima sem, contudo, deixar de usufruir as vantagens do método sintético das massas de ar e dos tipos de tempo de Pédelaborde (ZAVATINI, 1998). Sant’Anna Neto aponta a obra monteriana:

“(...) como a precursora de uma postura eminentemente científica e original de análise do clima como fenômeno geográfico, por meio da proposta de considerar, o ritmo climático, como o paradigma que possibilita uma abordagem da dinâmica climática e suas inferências no cotidiano da sociedade (2015, p.7).”

Monteiro produziu um arcabouço teórico-metodológico, que proporcionou uma verdadeira revolução nos estudos da climatologia nacional (PEREIRA, 2018), dedicando-se ao aperfeiçoamento e sistematização de métodos investigativos do clima que facilitassem a compreensão e visualização e percepção do ritmo climático (ZAVATTINI e BOIN, 2013).

Uma abordagem batizada por Monteiro (1971) foi a proposta de "Análise Rítmica", que consiste num método investigativo do ritmo climático, e uma primeira aproximação válida para o conceito de ritmo seria aquela das variações anuais percebidas através das variações mensais dos elementos climáticos (MONTEIRO, 1971), a partir de um conjunto de anos fundamentados na noção de regime. O entendimento sobre a manifestação do ritmo e de sua ligação com o regime, permite a decomposição cronológica em unidades pequenas no entendimento da sucessão dos estados atmosféricos. O autor aponta que só será possível compreender o ritmo climático:

[...] através da representação concomitante dos elementos fundamentais do clima em unidades de tempo cronológicas pelo menos diárias, compatíveis com a representação da circulação atmosférica regional, geradora dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento do ritmo (MONTEIRO, 1971, p. 9).

Assim, Monteiro percebeu que os estados atmosféricos ocorrem em escalas de tempo pequenas, sendo a partir das análises em escala diária associar a variação dos elementos do clima aos tipos de tempo, que se sucedem e são produzidos a partir dos mecanismos da circulação regional (PEREIRA, 2018). Partindo disso, os dados diários dos atributos atmosféricos, devem ser analisados em conjunto, Monteiro (1962) aponta para a necessidade de se recorrer à dinâmica atmosférica, não apenas esporadicamente na interpretação dos fatos isolados, mas, com a devida ênfase, na própria definição climática regional.

Só a análise rítmica detalhada ao nível de 'tempo', revelando a gênese dos fenômenos climáticos pela interação dos elementos e fatores, dentro de uma realidade regional, é capaz de oferecer parâmetros válidos a consideração dos diferentes e variados problemas geográficos desta região (MONTEIRO, 1971, p. 21).

Monteiro, insatisfeito com os conceitos de clima vigentes, por várias décadas buscou uma nova abordagem do conceito, correlacionando tal conceito de clima com os fenômenos geográficos. Fundamentou, então, o paradigma da análise rítmica em uma perspectiva integrada do clima com a ciência geográfica, malgrado as limitações de abordagem estatístico generalizadoras, mas compensadas pela compreensão da dinâmica de padrões extremos e habituais, foi capaz de ensejar compreensão geograficamente mais do que aquela abordagem calcada em estados médios e propostas de regionalização (SANT'ANNA NETO, 2008).

Trabalhar com análise rítmica nos estudos climatológicos é adequado para utilizar “anos-padrão” ou “períodos-padrão”, pois para Monteiro (1973) tais padrões representam amostras verdadeiras dos diferentes tipos de tempo ocorridos sobre um dado local ou região em determinado período cronológico. Os “padrões” (anual, estacional, mensal e episódico), representam períodos que devem ser amostras representativas do padrão habitual e extremo do ritmo climático, da série temporal analisada (BARROS, 2003).

Assim os diversos climas teriam, durante as várias estações do ano, tipos de tempo característicos, que se sucederiam de forma definida, caracterizando cadeias de tipos de tempo. As condições reinantes nos diversos períodos sazonais de um ano repetir-se-iam teoricamente em outro, constituindo o ritmo climático,

que, pela definição em questão, seria a essência do clima (TAVARES, 1976, p. 80).

Para a eleição de anos-padrão, que serão utilizados nesta pesquisa, o elemento mais apropriado será a precipitação, pois, em nossa região, esta exprime melhor as variações rítmicas, conforme Barros e Zavattini (2009) afirmam:

Como em nosso país as características climáticas predominantes são do tipo tropical ou subtropical, é compreensível que a chuva seja o elemento climático com melhor capacidade de traduzir as variações rítmicas presentes num dado ano, ou as que se alternam de um ano para outro, seja ele um ano civil, agrícola, ou relativo a qualquer outra convenção periódica (BARROS e ZAVATTINI, 2009, p. 259).

Monteiro, em seu trabalho *Análise Rítmica em Climatologia: Problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho* (1971), tem como foco o regime pluviométrico. O autor ressalta, através do ritmo da precipitação, os problemas advindos de ciclos próximos de desvios extremos, caracterizados por secas e chuvas fora do padrão habitual. Menciona que a “agressividade do ritmo climático tem que ser, pois, considerada no complexo geográfico brasileiro, como uma realidade vigente nos meados do século XX” (MONTEIRO, 1971, p. 2).

Outros estudiosos também desenvolveram suas análises com foco no ritmo da precipitação, porém estabelecendo outros critérios de trabalho, tais como: Tarifa (1973) e Boin (2000), que em seus trabalhos contemplam a relação entre a análise rítmica e o método do balanço hídrico de Thornthwaite, Boin também destaca a erosividade do solo a partir das chuvas; Conti (1975), buscando compreender a relação dos tipos de tempo com o efeito orográfico; Tavares (1976), contemplando a escolha de anos padrões para análise rítmica; Zavattini (2009), que desenvolve uma abordagem voltada à “compreensão do ritmo de sucessão dos tipos de tempo e das chuvas em Mato Grosso do Sul”, seguindo alguns passos de Monteiro (1973) e Pédelaborde (1970).

São evidentes as contribuições de Monteiro para a Climatologia Geográfica brasileira, foi a partir do seu arcabouço teórico e metodológico que a Climatologia Geográfica brasileira nasceu. Os avanços apresentados por Monteiro foram a importância atribuída à compreensão da gênese dos fenômenos, a criação da técnica de análise rítmica e a operacionalização do recorte espacial, tendo como escala preferencial a Região.

Destaca-se também alguns estudos sobre Climatologia Dinâmica que vêm sendo desenvolvidos pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Wanderley (2020) propôs uma proposta de classificação climática da região Nordeste do Brasil baseada na abordagem sinótica dos tipos de tempo, enfatizando como as relações entre a atmosfera e o espaço geográfico são diversas. As interações entre os elementos climáticos e as paisagens antropizadas impactam de várias maneiras as atividades das comunidades humanas e, por esta razão, o clima tem sido objeto de amplas investigações que buscam fornecer informações aplicáveis à organização dos territórios (WANDERLEY, 2020, p. 17).

Após as exposições realizadas até o momento, destaca-se que a Climatologia Geográfica Dinâmica no Brasil possui um vasto referencial teórico cuja evolução permite um constante ganho de conhecimentos. Pode-se perceber também que esta pesquisa seguirá os encaminhamentos metodológicos da climatologia dinâmica, mais especificamente sobre a gênese e variabilidade do elemento pluvial, na mesorregião sul cearense, do Nordeste brasileiro.

## 2.2 A CLIMATOLOGIA E TOPOGRAFIA REGIONAL

Muitos estudiosos vêm discutindo a temática climática associada ao relevo, tanto em nível global como regional. Na Austrália, Johnson *et al.* (2016) avaliaram o impacto da topografia sobre a distribuição espacial de eventos extremos de chuva. Em estudo realizado nas paisagens áridas e semiáridas das Montanhas Qilian Shan, no nordeste do platô Tibetano, Geng *et al.* (2017) concluíram que a distribuição espacial da precipitação é bem explicada pela altitude, a topografia do relevo, porém, não apresenta relação linear significativa com a chuva no local investigado.

Em estudos regionais sobre a climatologia, independentemente da escala de análise, para classificar o regime pluviométrico de uma região é útil levar em consideração os efeitos da topografia, como a pesquisa que Cai *et al.* (2017) realizaram ao tentar demonstrar os efeitos da diferença de topografia em resposta ao regime de fogo e mudanças climáticas nas florestas boreais chinesas.

Machado e Assis (2016) elaboraram uma base cartográfica com o objetivo de levantar as características superficiais da porção norte do município de Nova Lima (MG). Nessa pesquisa foram elaborados mapas de hipsometria, orientação das vertentes, uso e ocupação da terra e insolação, e na sequência foi feita uma análise rítmica de coleta de dados em campo.

No Nordeste Brasileiro, Pereira (2013) demonstrou que no estado de Alagoas existe uma tendência de diminuição dos volumes pluviométricos em direção ao interior, com concentração de maiores valores médios de chuvas no litoral e nas cabeceiras de drenagem. Na microrregião do

Sertão Central do estado de Pernambuco, Souza *et al.* (2015) verificaram a existência de correlação entre a precipitação e a altitude, constatando a ocorrência de maiores índices de chuvas nas áreas mais elevadas e menores índices sobre a Depressão Sertaneja. No entanto, esses autores chamam a atenção para o fato de que essa relação não ocorre de maneira linear, e atribuem esse fato à irregularidade da topografia e atuação de diferentes mecanismos atmosféricos formadores de chuva (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019). Consta-se que a maioria dos estudos que investigam a influência do relevo sobre a dinâmica climática atêm-se às diferenças de pluviosidade das encostas a barlavento e sotavento.

As pesquisas desenvolvidas nesse âmbito levam em consideração as características da paisagem que compõem o ambiente, unindo estudos feitos em bases cartográficas da região, como também dados coletados em campo.

Para estudar as alterações climáticas sobre o Nordeste do Brasil, é importante identificar os processos que influenciam o padrão das distribuições pluviométricas, tanto espacial quanto temporal. As precipitações pluviais ganham maior atenção pelas suas irregularidades e repartição, assumindo um papel importante não apenas do ponto de vista climatológico, mas também, de ordem econômica e social advinda da mesma. Outro fator relevante a ser destacado nesse contexto é a irregularidade na distribuição da precipitação, associado à sua alta variabilidade interanual na região tropical, com anos secos e outros chuvosos.

O que chama atenção para o fator negativo das chuvas no Nordeste brasileiro (NEB) não são os seus totais pluviométricos, mas a sua distribuição anual. No Ceará, as chuvas vão ocorrer em um curto período do ano, concentradas em três meses, e mais especificamente na área de estudo entre fevereiro-março-abril, uma estação chuvosa iniciada no final do verão e continuando no decorrer do outono.

A região aqui discutida não é homogênea, em sua maior parte a seca acontece de inverno-primavera-verão, porém o relevo sedimentar planáltico e a sua posição em relação às outras áreas, imprimem interferências nas tendências gerais, tornando um período seco maior ou menor e, conseqüentemente, modificando a época de sua ocorrência (NIMER, 1979).

A distribuição das chuvas no tempo e no espaço, aliada aos fatores geográficos, relevo, latitude e continentalidade ou maritimidade, complementam o fator considerado mais importante no estudo do clima e da circulação atmosférica (NIMER, 1979). Também são condicionantes de regime dos rios e, portanto, da disponibilidade de recursos hídricos em uma determinada região.

O relevo é um elemento geográfico da paisagem que possui um fator condicionante de extrema importância, tanto a níveis regionais como locais. Woolmann (2014) e Aalto *et al.* (2017) afirmam sobre a necessidade de compreender a intrínseca relação entre o meio atmosférico e o

meio biótico e terrestre, como um dos objetivos da climatologia geográfica, incluindo a influência de altitude, latitude e longitude que refletem a influência de massas de ar em movimento, cobertura de nuvens e instabilidade barométrica.

O relevo nordestino exerce influência relativamente grande nas condições climáticas regionais, notadamente nas interferências da circulação das massas de ar e na diminuição da umidade penetrando no interior semiárido (COSTA, 2012). As configurações dos compartimentos do relevo regional formam barreiras para a chegada dos ventos alísios e para que o ar carregado de umidade vindo do oceano Atlântico. Tal situação pode ser relatada a partir da Chapada do Araripe, onde a área barlavento, situada em alguns municípios do estado do Ceará, as chuvas são acima da média de municípios circunvizinhos, e na porção sotavento, que abrange alguns municípios do estado de Pernambuco, há médias pluviiais consideradas baixas.

Estudo realizado por Silva e Gomes (2021), sobre essa relação precipitação e relevo no sul do Ceará, aborda a dinâmica pluviometria na Sub-Bacia do rio Salgado/CE. Os postos pluviométricos que estão em uma parcela barlavento da Chapada do Araripe, a precipitação é favorável, enquanto os postos situados mais distantes da chapada, e que adentram a depressão sertaneja, as precipitações são mais reduzidas (SILVA e GOMES, 2021).

As áreas mais elevadas tendem a ser um pouco mais úmidas, por apresentarem uma maior circulação do vento e conseqüentemente menores temperaturas. Nesse sentido, Mendonça (1995) afirma que:

Uma carta Hipsométrica e Geomorfológica possibilita a observação tanto da variação altimétrica quanto das principais feições geomorfológicas do relevo do sítio escolhido para estudo, fatores importantíssimos na construção do clima pois, os elementos do clima são diretamente influenciados pela variação destes; o estudo de tal influência compõe um dos clássicos campos da climatologia (MENDONÇA, 1995).

Segundo Mendonça (1995), quanto maior for a movimentação e a variação altimétrica do relevo de um determinado ambiente, maiores serão as variações de temperatura e umidade. Dentre outros, o clima regional, local, urbano e intraurbano apresentam uma dinâmica pluviométrica relacionada aos diferentes usos da paisagem. Afirma-se também que, quanto maior a variação de altitudes e formas do relevo, haverá maiores diferenças de precipitação, temperatura e umidade (MENDONÇA, 1995).

Diante disso, a geomorfologia (relevo, altitude e declividade) do lugar influenciam diretamente no clima regional e local, se fazendo assim necessária a produção de um mapa hipsométrico da área de estudo, visto que a partir da representação cartográfica pode-se avaliar por meio dos níveis altimétricos se a forma da Chapada/Planalto do Araripe, que no seu topo apresenta

as maiores altitudes, enquanto em ambiente de depressão sertaneja encontra-se altitudes em torno de 191 metros, influenciam na distribuição das chuvas na região estudada.

Alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos sobre o NEB tendo como modelo metodológico o da climatologia dinâmica. Souza (1998), buscou observar a precipitação na região a partir do eixo horizontal que comporta os estados do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, fazendo uma associação com a participação dos sistemas atmosféricos, bem como considerando a variabilidade do efeito El Niño, em um estudo fundado no ritmo climático de sucessão dos tipos de tempo (SOARES, 2015).

Em relação à compreensão da climatologia regional do Ceará, autores como Ferreira e Melo (2005), Zanella (2007 e 2014), Moura (2008) e Soares (2015) discutem sobre a influência dos sistemas atmosféricos que atuam no estado. Zanella (2007), destaca-se em uma perspectiva geográfica, ao tratar de uma caracterização geral do clima e dos recursos hídricos do estado do Ceará; a partir de uma descrição qualitativa, a autora relaciona o padrão térmico, pluviométrico e hidrológico, e as condicionantes geográficas regionais e locais (SOARES, 2015).

Zanella (2014) vem desenvolvendo estudo nessa linha, no entanto, agora também sobre o semiárido nordestino, onde fez uma caracterização geral dos sistemas atmosféricos participantes para aquela porção da região, tratando ainda sobre algumas políticas públicas desenvolvidas com o objetivo de adaptação das atividades humanas ao clima semiárido. Silva (2017), na região Sul do Ceará, no município do Crato, vem desenvolvendo pesquisas sobre a variabilidade pluviométrica e sua relação com os sistemas atmosféricos participantes.

Tratando-se de uma região tropical de clima semiárido, a mesorregião sul cearense possui uma pluviosidade extremamente irregular, ou seja, a precipitação anual flutua, causando forte variabilidade pluviométrica entre anos. Assim, a variabilidade pluviométrica é um dos fatores mais importantes do regime de chuvas na área de estudo, ao passo que a relação topográfica e climática na região cearense ainda é um pouco escassa se fazendo necessário mais estudos.

### 2.3 VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA E A TÉCNICA DO *BOX PLOT* NA CLASSIFICAÇÃO DOS ANOS-PADRÃO

A variabilidade da precipitação simulada por modelos climáticos diário e mensal a interanual, e as escalas de tempo decadais, aumentaram fortemente em quase todas as áreas terrestres em resposta ao aquecimento antropogênico (PENDERGRASS *et al.*, 2017). Estudar a variabilidade pluvial é muito importante nas escalas regional e local, devido à sua capacidade de afetar a sociedade humana. Nesse nível de detalhe, embora as condições atmosféricas sejam

geralmente esperadas, na maioria das vezes, os eventos extremos podem causar condições meteorológicas que a população residente não está preparada e podem sofrer com chuvas severas, inundações ou mesmo episódios de seca (FONTÃO e ZAVATTINI, 2017).

As alterações climáticas são consideradas a principal causa dos problemas ambientais que se enfrenta atualmente. As mudanças no clima se tornaram uma verdade globalmente convincente com base nos dados coletados pelas comunidades meteorológicas mundiais (MOAZZAM *et al.*, 2020). Dados de precipitação, temperatura associados aos fatores climáticos e fenômenos atmosféricos contribuem no entendimento da dinâmica pluvial de determinada região.

Dessa forma, neste estudo será aplicado o conceito de “ano padrão”, para se estudar a variabilidade pluvial da mesorregião do sul cearense, identificando os anos considerados “normais ou habituais”, “secos” ou “chuvosos” em termos de precipitação.

A ideia de se escolher “anos-padrão” para representar as características pluviométricas de uma determinada área, ou região, teve início com os trabalhos de Monteiro (1971). Para se chegar à escolha de “anos-padrão”, o autor propôs que se partisse da noção de normalidade do clima e, a partir disso, fosse possível selecionar os anos cuja variação na configuração dos elementos climáticos a caracterizassem como sendo de padrões extremos, ou seja, secos ou chuvosos. Monteiro (1971) destaca ainda para a importância de uma estatística minuciosa sendo possível selecionar alguns anos representativos do padrão habitual e dos extremos (MONTEIRO, 1971).

Algumas metodologias já foram desenvolvidas para se estabelecer critérios para escolha de anos-padrão, com destaque para Tavares (1976), um dos primeiros autores a conceber essa proposta. Tendo como referência o conceito de clima proposto por Sorre (2006) e as proposições de Monteiro (1971) da análise rítmica, Tavares (1976) conceituou o que seria um ano padrão “normal”, “seco” e “chuvoso”, e ainda formulou um método baseado na estatística para as classificações dos anos-padrão, organizando os valores de precipitação em períodos trimestrais, calculando-se a média e o desvio percentual.

Tavares (1976) apontou para a necessidade de estabelecer parâmetros para a análise dos anos padrão, que corresponderia a um ano em que a distribuição da precipitação anual de um determinado lugar é semelhante à distribuição das precipitações médias, obtidos através de vários anos para esse local. O autor ainda discorre que, ano padrão “normal”, seria aquele em que a distribuição da precipitação anual é próxima à posição das precipitações médias, um ano padrão “seco” caracteriza-se por valores de precipitações com grande desvio em relação aos dados médios, e o ano padrão “chuvoso” com divergências ao excesso de chuva em relação aos dados mais regulares.

Existem algumas técnicas para determinação dos anos padrão, a dos Quantis, Desvio-padrão em relação à média e *box plot*. Xavier (1999) utilizou esquema de classificação dos Quantis para classificar a chuva acumulada em quadras chuvosas de regiões pluviométricas do Estado do Ceará. Sant'Anna Neto (1995) utilizou a técnica de um Desvio-padrão em sua tese de doutorado para representar a evolução temporal das chuvas, bem como sua distribuição no Estado de São Paulo, no período de 1941 a 1993. Galvani e Luchiari (2004) apresentam a técnica de classificação baseada nos quartis do gráfico *box plot*, e introduz os percentis P5 e P95, os quais separam os anos padrão super secos (0 a P5), dos 5% menores valores de precipitação, e super úmidos (P95 a P100), para os 5% maiores valores de precipitação para Piracicaba (SP), no período de 1917 a 1994. As demais categorias são definidas pelos intervalos entre os 1º. e 3º. quartis, ou seja, os percentis P25 e P75, respectivamente (SILVESTRE, 2014).

De acordo com estudos realizados por vários pesquisadores, além dos acima citados, todas as técnicas são eficientes e aplicáveis, porém nesta pesquisa optou-se para a determinar o ano-padrão a técnica do *box-plot*. A técnica do *box plot*, segundo Galvani e Luchiari (2004), aparece como uma alternativa aos estudos sobre a variabilidade pluviométrica, pois permite identificar intervalos para a determinação de anos com padrão normal, seco, úmido, super seco, super úmido de maneira rápida e objetiva (GALVANI E LUCHIARI, 2005). A escolha de trabalhar com a mesma, parte da familiaridade, pois desde a graduação esteve presente na feitura de pesquisas voltadas para a dinâmica pluviométrica de determinada área.

A técnica estatística do *box plot* é interessante sob vários aspectos, uma vez que permite identificar padrões de anos secos e chuvosos e aqueles próximos à média (incluindo os extremos) a partir de critérios relacionados ao estabelecimento das medianas (evitando a contaminação pelos valores extremos) e não pela definição de patamares puramente arbitrários (SILVA, *et al.*, 2017). Todavia, a técnica pode ser potencializada quando utilizada em conjunto com outras ferramentas e/ou informações, caso dos gráficos representativos dos desvios, tendências e correlações, climogramas, dentre outras.

Os dados gerados a partir da técnica do *box plot* podem auxiliar no planejamento das atividades humanas que dependem direta ou indiretamente das chuvas, como a agricultura e a produção de energia, podendo se constituir em importante ferramenta no estudo da variabilidade das chuvas (SILVA, *et al.*, 2017).

Esta pesquisa seguiu a divisão feita Galvani e Luchiari (2012), uma divisão para o elemento climático chuva, com o objetivo de definir anos-padrão considerando as classes: super seco (S) para os 5% menores valores, seco (S) de 5% a 25%, normal (N) de 25% a 75%, úmido

(U) de 75% a 95% e super úmido (SU) para os 5% maiores valores (SILVESTRE, 2014). O autor ainda afirma que:

Para calcular os 5% menores valores e os 5% maiores, é necessário definir a medida denominada percentil. Os percentis dividem o conjunto de dados em 100 partes, cada uma delas representa um percentual acumulado das observações até aquele limite. Dessa forma, Galvani e Luchiari (2012) sugerem utilizar o 5º Percentil (P5) e o 95º Percentil (P95) para a definição das classes extremas. Reescrevendo os quartis como percentis, tem-se que:  $Q1=P25$ ,  $Q2=P50$ ,  $Q3=P75$  (SILVESTRE, 2014, p.28).

O *box plot* permite identificar sazonalidades, tendências, desvios e valores atípicos na precipitação de determinadas séries temporais de dados de chuva, cuja compreensão é infinitamente mais importante do que a simples constatação do total anual de chuva: “Anos padrões “secos” ou “Chuvosos” não se referem aos totais anuais de chuvas, mas à distribuição delas no decorrer do ano” (GALVANI E LUCHIARI, 2012).

Os métodos estáticos procuram basear-se em grandes conjuntos de dados, aplicando à construção de modelos a fim de representar a realidade (SCHNEIDER *et al.*, 2014). O autor ainda afirma:

O uso da técnica *box plot* merece relevância na medida em que sua importância permitiu discutir os resultados sob o ponto de vista temporal, quantitativo e qualitativo. Na verdade, a técnica converge com os interesses da Climatologia Geográfica evidenciando tendências, condições habituais e, ao mesmo tempo, extremos. Aplicada ao estudo de chuvas a técnica permitiu compreender o comportamento rítmico das chuvas (SCHEIDER; SILVA, 2014, p. 144).

Entre os autores que já utilizaram esse método citam-se os trabalhos de: Galvani e Luchiari (2005), que aplicaram para Piracicaba (SP); Schneider e Silva (2014), na microrregião de Dourados (MS); Silva (2017), para o município do Crato (CE); Gomes *et al.* (2017), para o município de Acopiara (CE) e Oliveira (2020) no município de Juiz de Fora (MG).

Esta pesquisa abordou o fenômeno pluvial para além do uso da técnica estatística descritiva. Oliveira *et al.* (2020) ressaltam que compreender os mecanismos que influenciam na dinâmica, variabilidade, intensidade e frequência das chuvas torna possível obter a previsibilidade das chuvas.

## 2.4 INFLUÊNCIA DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NAS CHUVAS SOBRE O NORDESTE

O clima do Nordeste do Brasil é marcado por uma reconhecida variabilidade temporal da precipitação, que se expressa em diversas escalas. Da mesma forma, ocorre uma substantiva

irregularidade espacial das chuvas, dentro do mesmo intervalo temporal, em virtude da atuação de sistemas meteorológicos de diferente abrangência sobre a região (NÓBREGA, 2016).

Diversos fatores podem contribuir para explicar a alta variabilidade interanual da precipitação sobre o Nordeste do Brasil, dentre os quais, podem ser citados a flutuação nos valores de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico Tropical (PT) e do Atlântico Tropical (AT). No geral, os valores das anomalias da TSM, do Pacífico Tropical e Atlântico Tropical, estão associados a mudanças no padrão da circulação geral da atmosfera, e consequentes variações na precipitação sobre o Nordeste do Brasil (ASSIS *et al.*, 2018).

No oceano Pacífico, apresentando maior variabilidade, tem-se o fenômeno El Niño–Oscilação Sul (ENOS), que exerce influência em uma componente oceânica e outra atmosférica. Conforme Lucena (2008):

Na sua componente oceânica, caracteriza-se pelo aquecimento (resfriamento) das anomalias da TSM no Oceano Pacífico Equatorial Central e Leste - El Niño (La Niña). A componente atmosférica do ENOS está acoplada dinamicamente ao Índice de Oscilação Sul (IOS), que é definido pela diferença entre a pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin). O IOS apresenta valores negativos em anos de El Niño e positivos em anos de La Niña. Portanto, valores positivos significam resfriamento do Pacífico e os negativos, aquecimento.

O El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical que pode afetar o clima regional e global (Figura 1), mudando os padrões de vento em nível mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais de latitudes médias (TRENBERTH, 1997).

**Figura 01** - Efeitos globais da atuação do fenômeno *El Niño*, imagem ilustrativa com ênfase para o norte e nordeste do Brasil



Fonte: [http://www.cptec.inpe.br/enos/globo\\_el-nino.shtml](http://www.cptec.inpe.br/enos/globo_el-nino.shtml)

O ENOS atua como uma força climática natural, sendo um fenômeno que modula a variabilidade climática interanual em escala global, impulsiona anomalias de chuva no setor tropical por meio de mudanças na célula de Walker e na célula de Hadley local, reduzindo os movimentos crescentes sobre o setor equatorial, criando condições favoráveis para estiagens prolongadas sobre o Nordeste brasileiro (NEB) (KAYANO *et al.*, 2021).

Em outras circunstâncias, se houver a circulação atmosférica relacionada à La Niña (LN) (Figura 2), um fenômeno atmosférico que está associado ao resfriamento anormal das águas do oceano Pacífico Equatorial, as anomalias pluviométricas mostrarão padrões opostos aos documentados pelo ENOS (KAYANO *et al.*, 2021). No NEB a LN contribui para o aumento das chuvas, principalmente na porção norte, podendo causar enchentes e inundações, sendo um fenômeno benéfico para a parte semiárida do país, contribuído com chuvas acima da média.

**Figura 02** - Efeitos globais da atuação do fenômeno *La Niña*, imagem ilustrativa com ênfase para o norte e nordeste do Brasil.



Fonte: [http://www.cptec.inpe.br/enos/globo\\_la-nina.shtml](http://www.cptec.inpe.br/enos/globo_la-nina.shtml)

Contudo, Rodrigues *et al.* (2017) ressaltam que os eventos de ENOS, independente da sua magnitude, não explicam sozinhos os anos secos, assim como os eventos de LN não estão associados, necessariamente, a anos chuvosos no semiárido nordestino. A interação desses fenômenos com os sistemas meteorológicos e com as condições favoráveis do Atlântico Tropical Sul (TSM mais elevada que o Atlântico Tropical Norte) é que são determinantes no regime de chuvas do semiárido nordestino. O Dipolo do Atlântico é o fenômeno oceano/atmosférico

identificado como uma mudança anômala na temperatura da superfície da água do mar no Oceano Atlântico Tropical.

Quando as águas do Atlântico Norte estão mais frias que o normal, o Sistema de Alta Pressão do Atlântico Norte e os ventos alísios de nordeste intensificam-se. Se neste mesmo período o Atlântico Sul estiver mais quente que o normal, o Sistema de Alta Pressão do Atlântico Sul e os ventos alísios de sudeste enfraquecem. Este padrão favorece o deslocamento da ZCIT para posições mais ao sul da linha do Equador, e é propício à ocorrência de anos normais, chuvosos ou muito chuvosos para o setor norte do Nordeste do Brasil. (FERREIRA e MELO, 2005).

Quando as águas do Atlântico Sul estão mais frias que o normal, o Sistema de Alta Pressão do Atlântico Sul e os ventos alísios de sudeste intensificam-se. Se neste mesmo período as águas no Atlântico Norte estiverem mais quentes que o normal, o Sistema de Alta Pressão do Atlântico Norte e os ventos alísios de nordeste enfraquecem. Este padrão favorece o deslocamento da ZCIT para posições mais ao norte da linha do Equador e é propício à ocorrência de anos secos ou muitos secos para o setor norte do Nordeste do Brasil. (FERREIRA e MELO, 2005).

Na região tropical, os oceanos Pacífico e Atlântico compartilham algumas características climatológicas. Estas incluem a termoclina com pouca profundidade do lado leste em comparação com o lado oeste, a presença de uma língua de águas frias no lado leste e a convergência dos ventos Alísios de nordeste e sudeste para formar a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), conforme destacado por Lucena (2008). A ZCIT é um sistema atmosférico crucial para o total pluviométrico da mesorregião, podendo influenciar significativamente a quantidade de chuvas, seja em excesso ou insuficiente.

A ZCIT pode ser definida como uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul, em baixos níveis (o choque entre eles faz com que o ar quente e úmido ascenda e provoque a formação das nuvens), baixas pressões, altas temperaturas da superfície do mar, intensa atividade convectiva e precipitação (FERREIRA e MELO, 2005).

Em anos de dipolo positivo (DP), intensificação dos alísios de Sudeste (SE), ZCIT se encontra mais ao norte do que sua posição média. Em anos de dipolo negativo (DN), alísios de Nordeste (NE) mais intensos, ZCIT deslocada mais ao sul (SOUZA E NOBRE, 1998). Sabe-se que o Dipolo do Atlântico tem efeito significativo sobre as forças oceânicas e atmosféricas, sendo substancial para a variação climática na região do NEB, bem como de todo o Atlântico. Alves *et al.* (2009) afirmam que o impacto do Dipolo do Atlântico sobre o NEB é mais robusto e sistemático do que o ENOS. Afirma também que a ocorrência de um evento de DN correlacionou

positivamente com o aumento do valor agregado da produção agrícola. Portanto, o Dipolo do Atlântico Tropical é de grande valor para a quadra chuvosa da região do NEB.

No contexto territorial brasileiro, a previsão climática sazonal é conduzida por equipes de pesquisadores que examinam as saídas de diversos modelos numéricos de clima. Esses pesquisadores também incorporam o conhecimento dos padrões de teleconexão para oferecer prognósticos sazonais. Os padrões de teleconexão atmosférica, vinculados à variabilidade decadal do Oceano Pacífico, têm o potencial de exercer influência sobre a formação de um gradiente inter-hemisférico de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Tropical. Esse gradiente, por sua vez, modula a posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a qual desempenha um papel crucial na determinação dos padrões de precipitação no Nordeste Brasileiro (NEB), através de influências transmitidas pelo Atlântico Norte.

As teleconexões estão associadas a perturbações na atmosfera que ocorrem num dado local e afetam o clima de regiões distantes no globo (REBOITA *et al.*, 2021). Muitos dos padrões de teleconexão se estabelecem associados às anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) (SOUZA, 2021). Nessa perspectiva, destaca-se o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que na sua fase quente, isto é, quando há anomalias positivas (negativas) de TSM nos setores central e leste do oceano Pacífico Tropical, perturba a circulação atmosférica causando excesso (déficit) de precipitação no sudeste da América do Sul e déficit (excesso) no litoral norte das regiões norte e nordeste do Brasil e no interior da Amazônia (ANDREOLI *et al.*, 2017, REBOITA *et al.*, 2021).

No nordeste brasileiro, estudos como os de Aragão (1998), Lucena (2008), Andreoli (2004), Ferreira e Melo (2005), Nóbrega (2016) entre outros, vêm trabalhando a relação das ATSM do Pacífico e Atlântico com a distribuição das chuvas. A partir de estudos como esses acima citados pode-se constatar a importância que essas pesquisas representam para compreender a dinâmica climática do NEB. O clima e seus ritmos são fundamentais para a compreensão da organização do espaço, seja do ponto de vista da distribuição dos atributos físicos da paisagem, solos, fitofisionomias, padrões de drenagem entre outros, como também das atividades econômicas, predominantemente dependentes dos aportes hídricos e disponibilidade de solos.

Um estudo realizado por Diniz e Souza (2019) buscou explicar diferenciações climáticas existentes no leste da Região Nordeste do Brasil motivadas por fenômenos de circulação atmosférica local, influenciados pelas diferenças de pressão atmosférica no estado médio da atmosfera, atentando para as interações atmosfera-terra-oceano (DINIZ e SOUZA, 2019). Os mesmos comprovaram que a dinâmica climática do Leste do Nordeste e Norte do Nordeste se manifestam de forma diferenciada por conta da atuação dos sistemas atmosféricos locais.

Os fenômenos de brisas marinhas e terrestres são de circulação atmosférica local (de micro escala), desse modo, eles não são responsáveis em si por carregar umidade para a costa, porém são preponderantes localmente em acréscimos de eventos de precipitação uma vez que causam a ascensão de ar úmido junto à costa, seja por convergência entre o fluxo médio de ar proveniente do oceano e a brisa terrestre sobre o continente nas áreas de costa convexa (a convergência ocorre sobre o oceano nos trechos de costa côncava), seja por ascensão de ar úmido sobre o litoral nas áreas onde há maior contraste barométrico entre o oceano e o continente, ou seja, nos trechos onde o Planalto da Borborema e outros planaltos mais se aproximam da linha de costa (DINIZ e SOUZA, 2019).

Em relação aos totais médios de precipitação, Nímer (1977, p. 66-68) já havia identificado que “a periferia oriental se constitui na área mais úmida da Região Nordeste. De fato, ao longo do litoral, apenas no Rio Grande do Norte e na foz do rio São Francisco a seca dura até quatro meses”.

Moura *et al.* (2000) desenvolveram uma pesquisa com o intuito de relacionar a precipitação no setor leste do Nordeste do Brasil (NEB) com a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos Atlântico (área do Dipolo) e Pacífico. Seus resultados demonstram a importância de três parâmetros oceano-atmosféricos na definição da estação chuvosa da região leste do NEB: a direção dos ventos dominantes à superfície; o posicionamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul; e a TSM no Atlântico tropical.

O mesmo autor ainda discorre sobre a realização de vários modelos de previsão climática para o semiárido do Nordeste, já operacionais, os quais vêm sendo utilizados por diversos organismos regionais, nacionais e internacionais, por meio dos quais é possível elaborar prognósticos sobre a qualidade da estação chuvosa do norte semiárido do Nordeste (período que vai de fevereiro a maio) com antecedência de um a três meses e, para os casos de extremos de pluviosidade, com até seis meses de antecedência. A confiabilidade dessas previsões pode chegar até 80%, quando de eventos moderados e fortes dos fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico (MOURA *et al.*, 2000).

Diniz e Souza (2019) afirmam que talvez o mais importante desses sistemas para a área em análise sejam as perturbações ondulatórias no campo dos alísios (POA), que ao atingir o setor leste da Região Nordeste do Brasil ou Nordeste oriental (ENEB) “se intensificam quando chegam à costa, devido ao aumento da convergência de umidade e ao contraste térmico entre o continente e o oceano” (MOLION; BERNARDO, 2002, p. 4). Os autores ainda comentam que em convergência com a brisa terrestre no período da noite e madrugada as POA provocam eventos de precipitação superiores aos 50 mm, fato identificado por Kousky (1980).

Os dois estudos acima citados de Diniz e Souza (2019) e Moura *et al.* (2000) apontam as brisas como o sistema atmosférico fundamental na dinâmica climática do leste do NEB. O

Atlântico Sul explica melhor o comportamento das chuvas do setor leste do NEB, indicando que os sistemas meteorológicos mais importantes para essa região são os sistemas frontais de sul, ondas de leste, e as brisas (MOURA *et al.*, 2000). Esses sistemas ocorrem com maior frequência e intensidade durante os meses de março a julho. Enquanto na área de estudo desta pesquisa, localizada ao sul do Ceará, o fenômeno atmosférico mais dominante é a ZCIT principalmente no mês de março.

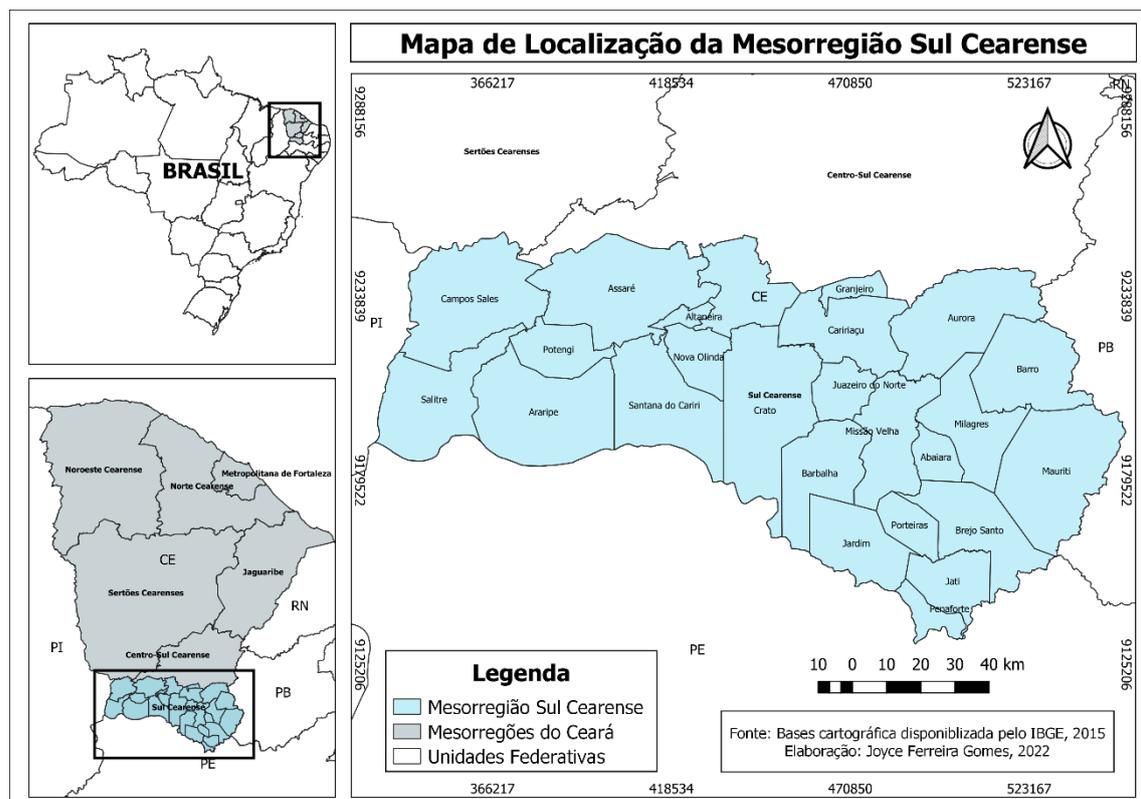
A maioria dos estudos realizados até o momento sobre a relação das ATSM do Pacífico e Atlântico com a dinâmica pluviométrica no NEB demonstraram que os mesmos exercem influência significativa na diferença de precipitação, a série histórica desta pesquisa apresenta anos que a diminuição ou aumento das chuvas foram causadas pela variabilidade interanual desses fenômenos. E eles não dizem respeito apenas a uma variação local, ou que acarrete alguma mudança somente no ambiente oceânico, são efeitos dotados por teleconexões globais, influenciando direta ou indiretamente diversas regiões e todo o ecossistema (SOARES, 2015). No que se refere ao clima, observa-se que sua interferência acontece, principalmente, na circulação atmosférica regional, notadamente responsável pela regência da atuação dos sistemas atmosféricos.

### 3 DESCRIÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Ceará possui 184 municípios, dentro destes, 24 fazem parte da Mesorregião do Sul Cearense (MRSC), de acordo com Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), sendo eles, os municípios de: Abaiara, Altaneira, Araripe, Assaré, Aurora, Barbalha, Barro, Brejo Santo, Campos Sales, Caririagu, Crato, Farias Brito, Granjeiro, Jardim, Jati, Juazeiro do Norte, Mauriti, Milagres, Missão Velha, Nova Olinda, Penaforte, Porteiras, Potengi, Salitre e Santana do Cariri. Localiza-se aproximadamente entre os paralelos 06° 46' 07" e 07° 51' 25" de latitude sul e os meridianos 38° 22' 09" e 40° 35' 59" de longitude a oeste de Greenwich.

A Mesorregião Sul do Estado do Ceará ocupa uma área equivalente a 14.489 Km<sup>2</sup>, correspondendo a 10% do território estadual, limitando-se ao sul com o Estado de Pernambuco, ao oeste com o Estado do Piauí e ao leste com Estado da Paraíba (Figura 3). Esta zona, segundo Cavalcanti (2009), representa um dos mais importantes setores do contexto geográfico, socioeconômico, paleontológico e cultural do estado do Ceará.

**Figura 03 - Mapa de Localização da Mesorregião Sul Cearense.**



Fonte: Gomes, 2022

Trata-se de uma parte do Estado do Ceará que abrange uma parcela significativa da bacia sedimentar do Araripe, e expõe a chapada de denominação homônima, que possui níveis altimétricos entre 800 e 900 metros circundada parcialmente por terrenos paleozóicos, e na quase totalidade por terrenos Pré-cambrianos do embasamento cristalino (CARVALHO, 2007). A área da Chapada do Araripe e do seu entorno imediato são submetidas a condições climáticas subúmidas e com totais pluviométricos superiores a 900 mm, enquanto grande parte da mesorregião tem clima semiárido quente. Os recursos hídricos da mesorregião dependem, de modo significativo, das influências do arcabouço geológico/geomorfológico e das dinâmicas climáticas.

A escolha desta área em particular, se deu em razão da falta de estudos aprofundados em relação à Climatologia Geográfica da região, assim como ao interesse de investigar a dinâmica das chuvas na mesma, relacionando-a com a oferta hídrica.

O período escolhido para a pesquisa foi a série histórica entre 1981-2021, pelo fato da disponibilidade de dados pluviométricos, que permitem uma análise significativa da variabilidade climática da mesorregião em questão, pois está voltado para a questão pluvial, mais também para a influência sobre as atividades de agricultura, caracterização da dinâmica processual da paisagem.

Segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1990) , entende-se por Mesorregiões uma área individualizada ou uma unidade da federação que apresenta formas de organização do espaço geográfico definidas pelas seguintes dimensões: o processo social como determinante, o quadro natural como condicionante e a rede de comunicação e de lugares como elemento de articulação espacial. Essas três dimensões possibilitam que o espaço delimitado como Mesorregião tenha uma identidade regional. Essa identidade é uma realidade construída ao longo do tempo pela sociedade que aí se formou.

A partir da Constituição Federal do Brasil de 1988, surge um duplo processo de mudança, não só estritamente socioeconômico, mas também de natureza político-administrativa, que alterou a geografia do País, gerando diferenças e desigualdades que tornaram mais complexa a leitura de seu território, aumentando, assim, a demanda por uma nova Divisão Regional do Brasil no período que vai da última década do Século XX à primeira do Século XXI.

Com o desenvolvimento do processo capitalista os arranjos e classificações regionais foram sendo modificados. A revalorização da dimensão regional, constitui um ponto-chave de manutenção da coesão territorial de grandes federações como o Brasil, notadamente em um cenário geopolítico pautado, nesse início de século, pela tensão existente entre as forças da globalização e aquelas alinhadas a projetos locais.

Em 2017 as unidades mesorregionais e microrregionais passaram por uma reestruturação, a Divisão Regional do Brasil foi classificada Regiões Geográficas Imediatas e Regiões

Geográficas (IBGE, 2017). Com isso, a área de estudo desta pesquisa passou por um reordenamento territorial, porém essa revisão das unidades regionais do Brasil não contribui para o nosso estudo, pois enquanto trata-se de aspectos físicos, a proposta desta nova divisão é com base nos resultados das transformações econômicas, demográficas e políticas ocorridas ao longo das últimas décadas.

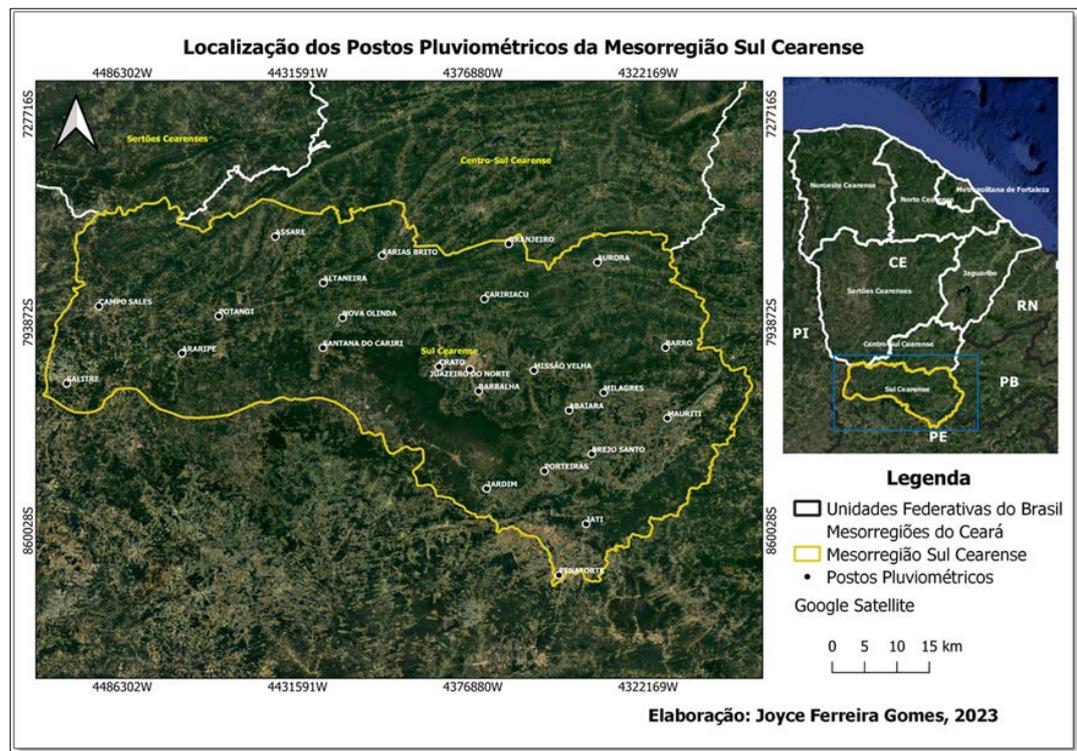
Então, levando em consideração o desencontro da nova classificação, opta-se em ter como recorte de estudo a Mesorregião Sul Cearense, pois ela tanto nos proporciona fazer uma análise no que diz respeito aos aspectos econômicos, demográficos, políticos, quanto aos aspectos físicos, ambientais, climáticos, geomorfológicos, que é a proposta desse estudo. Freitas (2009) afirma que uma região se refere a uma área contínua com características de homogeneidade relacionadas ao domínio de determinados aspectos, sejam eles naturais e/ou construídos, econômicos e/ou políticos. Esses aspectos personalizam e diferenciam uma região das demais.

### 3.1 ASPECTOS FÍSICO-NATURAIS DA MESORREGIÃO DO SUL CEARENSE

Na Figura 4 observa-se a localização geográfica dos postos pluviométricos utilizados para especializar: a distribuição anual da média da precipitação, a distribuição pluvial do período chuvoso e no seco da MSC.

O semiárido nordestino caracteriza-se, fisiograficamente, pelas amplas extensões pediplanadas, em sua maioria esculpidas em rochas cristalinas Pré-Cambrianas e com solos rasos e pedregosos. Em relação aos cursos de águas, apresenta predominância de regimes intermitente e efêmero, sendo a vegetação de caatinga, majoritária, apesar da presença de cerradões sobre a Chapada do Araripe em decorrência da altitude média variando entre 900 e 1.000 metros (RIBEIRO, 2017). Esses elementos estão diretamente, ou indiretamente, relacionados ao sistema de chuvas irregulares e concentradas em determinados meses do ano.

**Figura 04** - Localização geográfica dos postos pluviométricos da Mesorregião Sul Cearense.

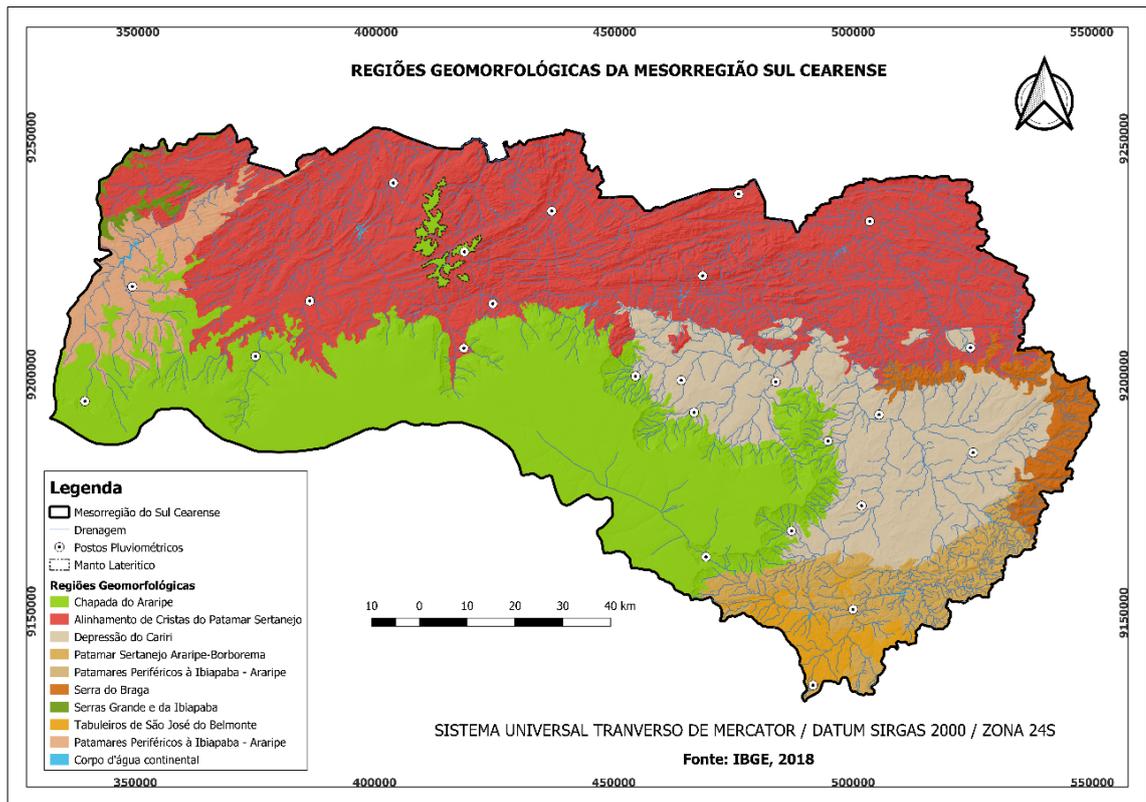


Fonte: Google Satélite e IBGE (2021). Elaboração: Gomes (2023).

A mesorregião integra dois grandes domínios morfoestruturais o Domínio das Bacias Paleo-mesozóicas e o Domínio dos Escudos e Maciço antigos morfoestruturais (SOUZA, 1988). A forma de relevo encontrada no Domínio das Bacias Paleo-mesozóicas é a Chapada do Araripe, com formação sedimentar favorecendo um acúmulo de águas subterrâneas. A inclinação das camadas geológicas para o Ceará, e do contato entre camadas menos permeáveis, surgem diversas fontes de água, dando origem aos rios que abrangem a Mesorregião. No Domínio dos Escudos e Maciço antigos, a presença de rochas cristalinas tendo como forma de relevo predominante, a depressão sertaneja, o que confere características distintas em relação à drenagem, e devido à localização dos postos pluviométricos mais afastados da influência da Chapada do Araripe, as precipitações tendem a diminuir.

De acordo com os estudos da FUNCEME (2012), na área da mesorregião é possível identificar quatro feições de superfícies geomorfológicas, Chapada do Araripe, Planícies Fluviais, Depressão Sertaneja e Maciços Residuais Cristalinos. Assim como na Figura 5, identificou-se as regiões geomorfológicas da MSC, observa-se a predominância de duas regiões, Chapada do Araripe e Alinhamento de Cristas do Patamar Sertanejo. Nota-se também a Depressão do Cariri, área localizado no entorno leste da chapada, abrangendo os municípios de Juazeiro do Norte, Milagres, Mauriti e Abaiara.

**Figura 05 - Regiões Geomorfológicas da Mesorregião Sul Cearense**



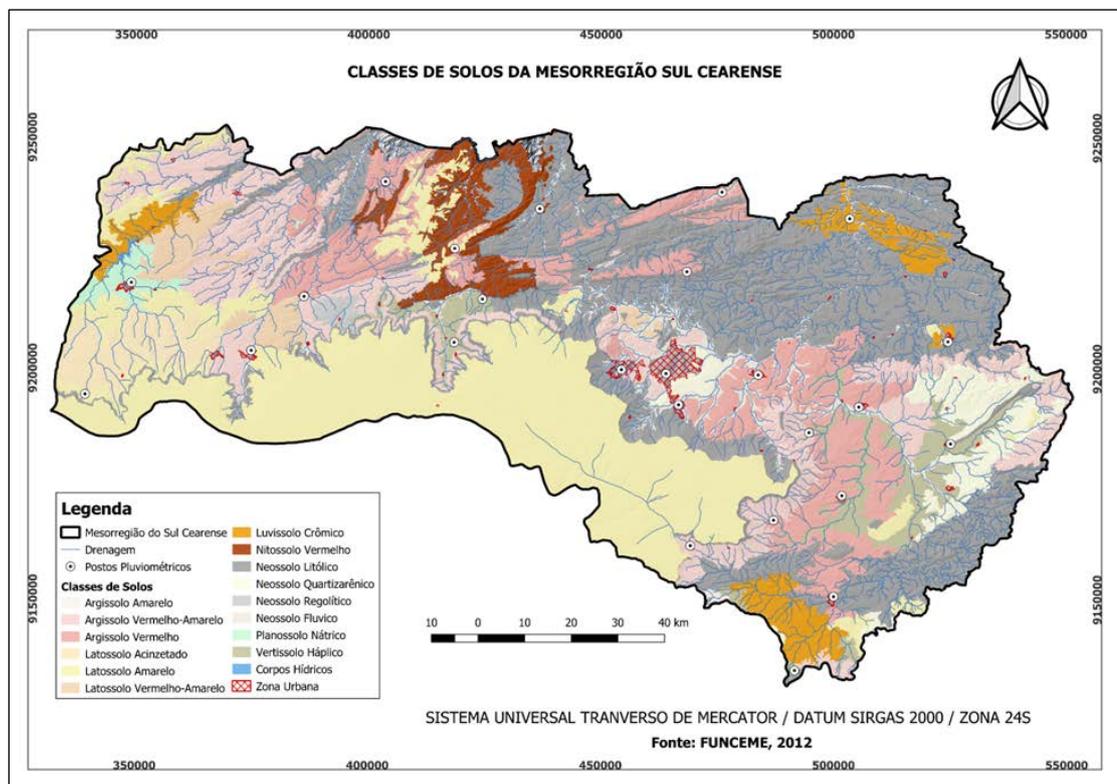
Fonte: IBGE (2018). Elaboração: Gomes (2023).

A Chapada do Araripe é formada por materiais da Bacia Sedimentar do Araripe, que se estende pelos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. Mantendo um relevo simétrico, em termos de altitude que variam de 850 a 900 metros. As planícies fluviais são depósitos de sedimentos, cuja topografia baixa e plana ocasiona frequentes inundações. Formam pequenos compartimentos de relevos de disposição longitudinal ao longo das calhas de rios e riachos (FUNCEME, 2012). A Depressão Sertaneja que domina boa parte do território cearense, nos setores localizados na porção meridional do Ceará, se desenvolve em rochas do embasamento cristalino, que são truncadas por superfícies de erosão (FUNCEME, 2012). E sobre os Maciços Residuais Cristalinos, representam um conjunto de maciços montanhosos sobrelevados em relação às superfícies de aplainamento que compõem a Depressão Sertaneja. Configuram-se por relevos residuais de grandes dimensões com altitude mais elevada. Geralmente, essas formações são geradas por processos de erosão diferencial por estarem sustentadas por rochas graníticas e quartzíticas, podendo ser mais resistentes ao intemperismo e à erosão em comparação ao embasamento cristalino circundante nas superfícies aplainadas (BRANDÃO e FREITAS, 2014).

Conforme os estudos da FUNCEME (2012 e 2018) e Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), os principais tipos de solos (Figura 6) encontrados na área de estudo são os Latossolos, Neossolos, Nitossolos, Vertissolos, Argissolos, Planossolos, Cambissolos e

Luvisolos. Na área estudada, os Latossolos Amarelos ocorrem de forma mais localizada apresentando boa expressão geográfica na Chapada do Araripe, sendo desenvolvidos predominantemente de arenitos das Formações Exu, Santana e Missão Velha (FUNCEME, 2012). O segundo mais predominante é Neossolo Litólico, o qual é caracterizado por solos que sofreram fraca evolução pedológica, apresentam perfis pouco desenvolvidos e rasos, sendo caracterizados por apresentarem horizonte A diretamente sobre a rocha ou sobre a camada de alteração desta. Lima (2014).

**Figura 06 - Mapa de Classes de Solo da Mesorregião Sul Cearense**



Fonte: FUCEME (2012). Elaboração: Gomes (2023).

Uma terceira classe predominante é o Argissolo Vermelho são solos medianamente profundos a profundos, moderadamente drenados, com horizonte B textura (horizonte diagnóstico que caracteriza a classe de solo), de cores vermelhas a amarelas e textura argilosa, abaixo de um horizonte A ou E de cores mais claras e textura arenosa ou média, com baixos teores de matéria orgânica. Na porção mais distante da chapada do Araripe que abrange a Depressão Sertaneja por conta da deficiência hídrica característica da região, a área apresenta solos poucos desenvolvidos, pouco profundos, como a classe de Luvisolos, frequentemente contendo pedregosidade superficial e recobertos por vegetação de caatinga no cristalino (MORO *et al.*, 2015).

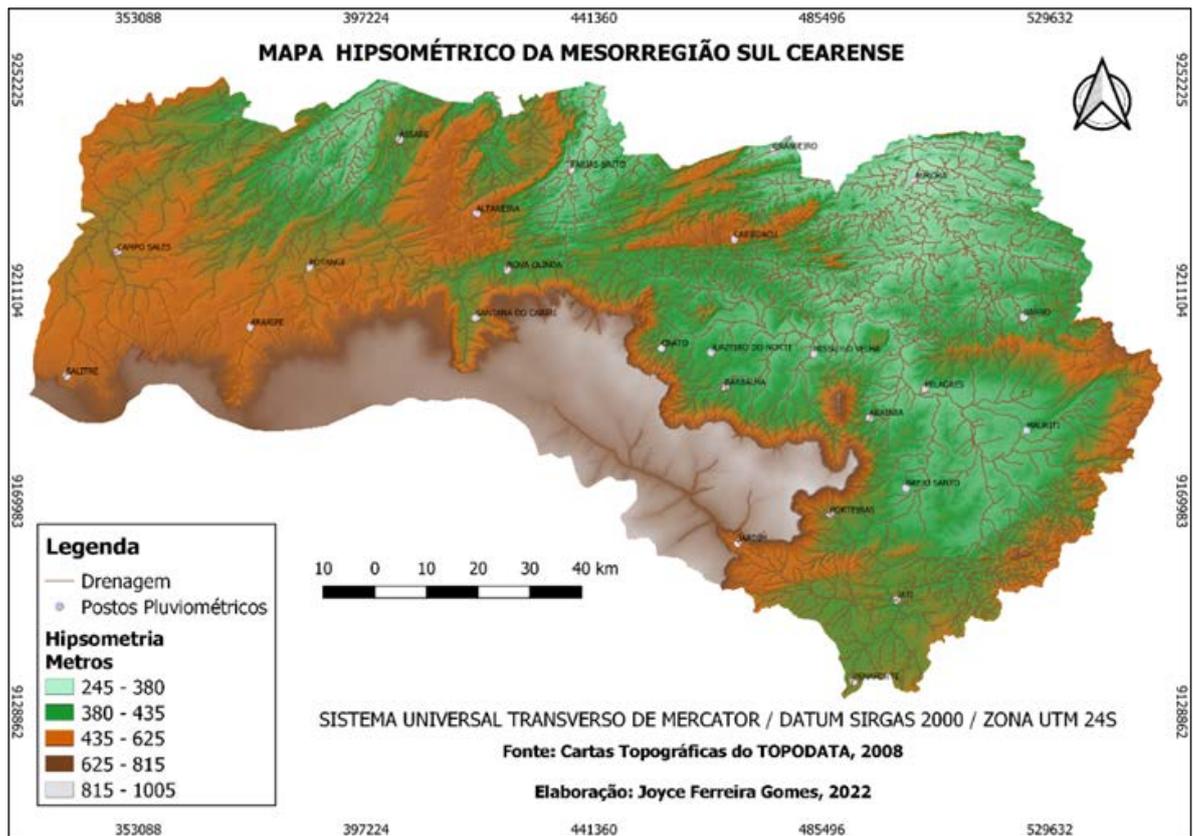
Numa visão mais geral, ao sul cearense, de acordo com os levantamentos da FUNCEME (2018), são encontrados diversos tipos de vegetação, a do tipo Floresta Subperenifólia a Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida) a qual se constitui por uma vegetação densa de porte alto que se desenvolvem em áreas de temperatura mais baixa. A Floresta subcaducifólia a Tropical Pluvial (Mata Seca) ocorre quando há uma perda parcial das folhas durante a estação seca e possuem formas menos densas. Inclui também a do tipo Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea), que se assemelha com a subcaducifólia no que se refere à perda da folhagem no período de seca. Outro tipo de unidade fitoecológicas é o Carrasco uma vegetação xerófila arbustiva densa alta, ainda pouco conhecida, que ocorre no domínio semiárido do nordeste do Brasil, sobre Areias Quartzosas distróficas profundas, entre 700 e 900 m de altitude, no planalto da Ibiapaba e chapada do Araripe (ARAÚJO *et al.*, 1999).

Especialmente também é encontrada a Caatinga Arbustiva Densa, tipo de vegetação que recobre a maior parte do semiárido nordestino. Possui maior número de árvores e um adensamento do estrato arbustivo, interrompido somente em locais onde há afloramento de rochas não decompostas. A vegetação do tipo Caatinga Hiperxerófila, de aspecto arbustivo, não são tão densas e perdem totalmente as folhas nos meses de estiagem. E por fim, a Caatinga Hipoxerófila, de formação lenhosa, presente em áreas de clima menos seco e mais densa que a caatinga hiperxerófila (FUNCEME, 2018).

É possível observar nas Figuras 17 e 18 que, de forma geral, os tipos de vegetação encontradas na área de estudo são a Formação Florestal, que compreende a área da Chapada do Araripe localidade natural onde predominam árvores acima de 15 m, com dossel praticamente contínuo. A Formação Savânica compreende praticamente toda a área, com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato de gramíneas.

Quanto à hipsometria da Mesorregião (Figura 7), existem formas altimétricas variáveis. Alguns municípios apresentam altitudes que estão em torno de 200 metros podendo chegar acima de 1000 metros. As altitudes que se encontram em ambiente de Depressão Sertaneja os níveis são inferiores a 500 metros, já os níveis altimétricos abrangendo a Chapada do Araripe, apresentam as maiores Altitudes chegando a ultrapassar os 900 metros. Segundo Ribeiro (2014), o relevo da Chapada do Araripe, com altitude em torno de 900 metros, com a chegada dos ventos alísios úmidos do litoral, faz da Chapada uma área de barlavento em suas bordas leste e norte, permitindo uma maior precipitação nos municípios localizados nas proximidades de tais bordas.

**Figura 07 - Mapa Hipsométrico da Mesorregião Sul Cearense.**

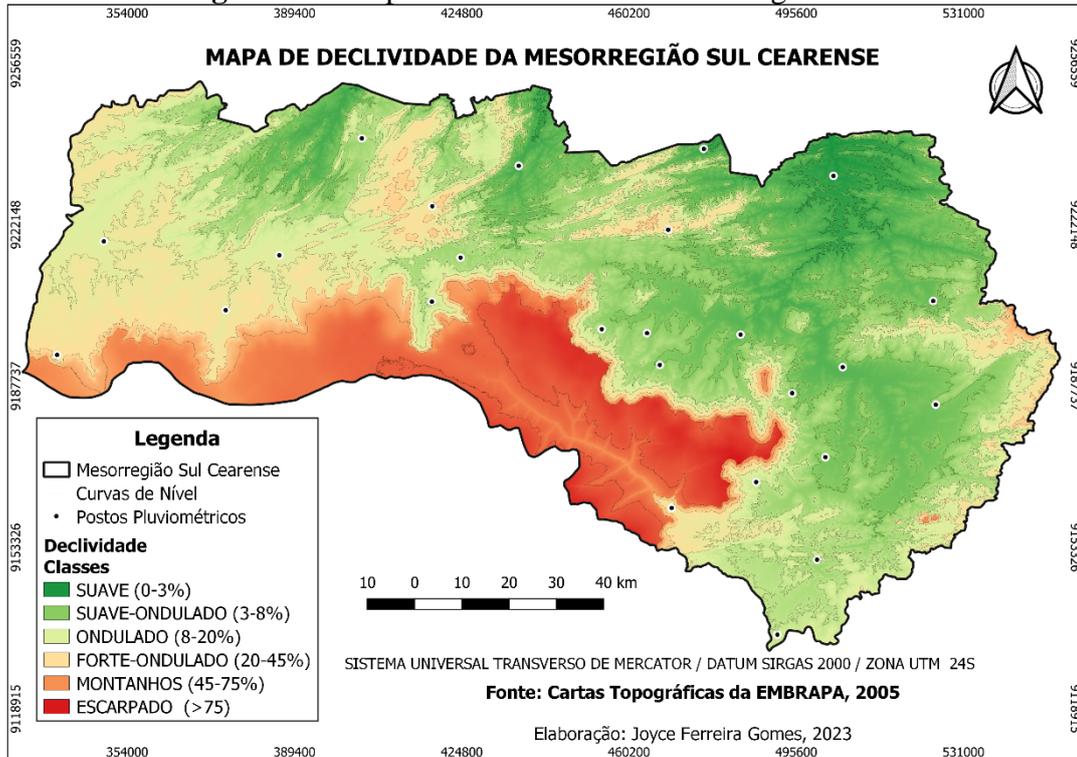


Fonte: TOPODATA (2008). Elaboração: Gomes (2022).

No mapa de Declividade da Mesorregião (Figura 8), foi possível observar as diferentes classes de declives, que apresenta desde um relevo plano (0-3%) até um setor de relevo escarpado (>75%). Para a classificação das classes declividade da MSC, utilizou-se a proposta da EMBRAPA (1979).

Boa parte da área se encontra entre declividade de 3 a 8% (suave ondulado), abrange setores com declives suaves, nos quais, na maior parte dos solos o escoamento superficial é lento ou médio, e estão concentrados os postos que abrangem a chapada do Araripe, como: Crato, Brejo Santo, Jardim, Missão Velha, Barbalha. Esses municípios possuem várias fontes naturais que são utilizadas para o abastecimento de comunidades em diversos usos.

**Figura 08 - Mapa de Declividade da Mesorregião Sul Cearense**



Fonte: EMBRAPA (2005). Elaboração: Gomes (2023).

A classe 20 a 45% (relevo forte ondulado) abrange áreas bastante inclinadas, onde o escoamento superficial é muito rápido em boa parte dos solos, percebe-se com maior frequência nos postos localizados nas áreas de depressão sertaneja como: Salitre, Campo Sales, Araripe. A classe 45 a 75% possui relevo montanhoso e representa as áreas com altas suscetibilidades à erosão, não sendo recomendadas para o uso agrícola. A Classe > 75% representa um relevo Escarpado, não sendo recomendada a ocupação, mas atualmente na parte que abrange a chapada muitas áreas estão sendo ocupadas para construção de balneários e atividades ligadas ao agro extrativismo.

Dentro do recorte espacial da área de estudo, tem-se duas sub-bacias hidrográficas, a do Alto Jaguaribe e a sub-bacia do rio Salgado, que são afluentes da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, a mais importante do Ceará. A região é dotada de rios intermitentes sazonais, condicionados pela pluviosidade regional, dependendo de quando concluída a estação chuvosa. Mas, dentro deste espaço, destaca-se a área da Chapada do Araripe, que devido a sua formação dificilmente ocorre escoamento superficial (FUNCEME, 2012), pois, é caracterizada por uma alta porosidade das rochas da Formação Exu, tornando os municípios próximos com diferenças no regime hidrológico devido à presença de fontes e nascentes, e climático, resultando em diferenças de temperatura e influenciando nos índices pluviométricos dos municípios do entorno.

### 3.1.1 Caracterização climática da Mesorregião Sul Cearense

O clima cearense, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, se caracteriza por dois climas, o tropical úmido e o semiárido, sendo o semiárido o clima predominante no estado e existem, em grande parte do território, significativas secas periodicamente. No clima semiárido, os totais pluviométricos são baixos e apresentam alta variabilidade no tempo e no espaço, com elevadas taxas de evapotranspiração e elevado déficit hídrico. A MSC está situada ao sul do estado do Ceará, possui características do clima Tropical Quente Semiárido, principalmente nas suas bordas no sentido leste/oeste e norte, Tropical Quente Semiárido Brando no centro e Tropical Quente Subúmido na sua porção ao sul (IPECE, 2023).

Os valores de precipitação anual, registrados durante o período de 1981 a 2021, na MSC, apresentam consideráveis oscilações, anos superiores à média (1985, 1989, 1996, 2004, 2008, 2011) e anos com precipitações bem abaixo da média (1982, 1983, 1993, 1998, 2012, 2015, 2016), confirmado uma forte variabilidade de um ano para outro, não existindo uma distribuição sazonal homogênea, na seção dos resultados e discussões será discutido a respeito. Grimm (2009) destacou que os principais modos de influência na variabilidade que atuam no Brasil e mais especificamente na região nordeste são os fenômenos El Niño (períodos de seca) e La Niña (período chuvoso).

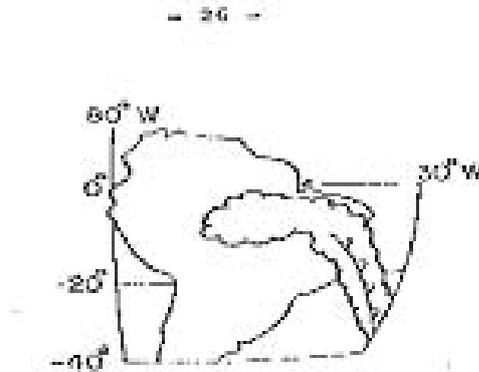
A quadra chuvosa para a região, compreende os meses de janeiro, fevereiro, março e abril, enquanto os restantes dos meses são caracterizados pela diminuição das chuvas a índices mensais inferiores a 50 mm, o que resulta num período maior de estiagem. A distribuição das chuvas durante a quadra chuvosa no Ceará é influenciada pela atuação de sistemas atmosféricos que atuam sobre o estado.

A mesma ocorre com maior intensidade no período de atuação dos sistemas meteorológicos: Frentes Frias, que pode-se denominar de Influência Indireta das Frentes Frias ou Repercussões da Frente Fria (FF); a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), o mais importante fator causador de chuvas no Ceará; os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) e as eventuais incursões da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), atuando principalmente no sul do Ceará (FERREIRA e MELO, 2005). Outros sistemas atmosféricos atuam no Ceará para a ocorrência de chuvas, que também podem gerar chuvas sobre a MSC, como: as Brisas Marinhas, as Linhas de Instabilidade (LI), os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), as Ondas de Leste ou Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) (FERREIRA e MELO, 2005).

A penetração de Frentes Frias (Figura 9) atuam até às latitudes tropicais entre os meses de junho e julho. Conforme Ferreira e Melo (2005), as FF são bandas de nuvens organizadas que se formam na região de confluência entre uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar

quente (menos densa). A massa de ar frio penetra por baixo do quente, como uma cunha, e faz com que o ar quente e úmido suba, forme as nuvens e, conseqüentemente, as chuvas.

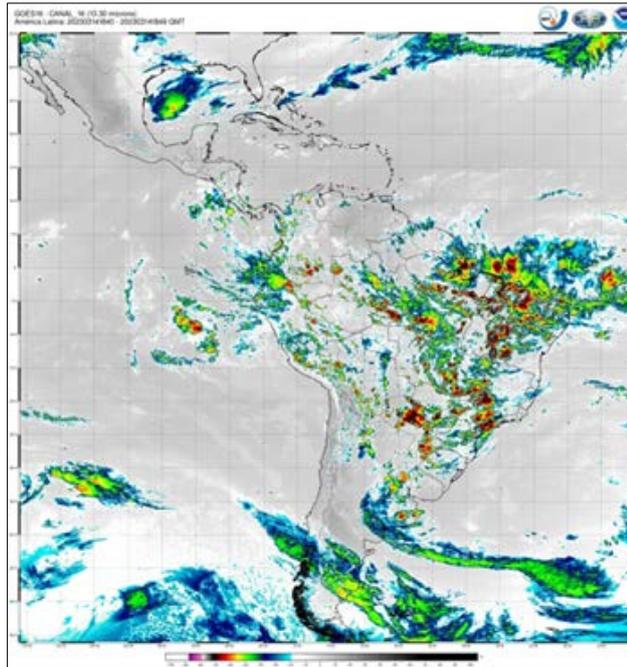
**Figura 09** - Diagrama esquemático indicando a posição mais ao norte das frentes frias que influenciam as chuvas no Nordeste do Brasil e a nebulosidade associada a elas estendendo-se até oeste da Região Amazônica.



Fonte: FUNCEME (2014)

A ZCIT (Figura 10) constitui-se no principal sistema atmosférico atuante sobre a porção norte do Nordeste brasileiro, sendo uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte com os ventos alísios do Hemisfério Sul. De maneira simplista, pode-se dizer, que a convergência dos ventos faz com que o ar, quente e úmido do oceano ascenda, para os altos níveis da atmosfera, sofrendo resfriamento adiabático, condensando e promovendo a formação de nuvens (FUNCEME, 2014).

**Figura 10** - Atuação da ZCIT no Nordeste brasileiro



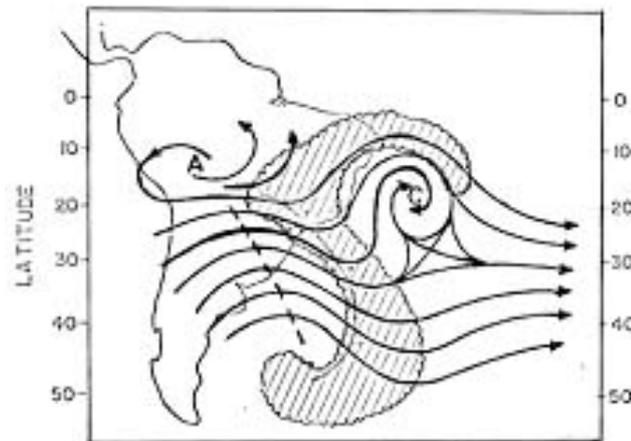
Fonte: CPTEC/INPE (2023).

A ZCIT é o principal sistema atmosférico causador de chuva no território do Ceará. Normalmente ela migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, aproximadamente  $14^{\circ}$  N em agosto-outubro para posições mais ao sul, aproximadamente  $2$  a  $4^{\circ}$  S entre fevereiro a abril (FERREIRA e MELO, 2005). Esse deslocamento da ZCIT está relacionado aos padrões da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre o oceano Atlântico Tropical.

Os VCAN (Figuras 11 e 12) formam-se no oceano Atlântico, principalmente entre os meses de novembro e março, e sua trajetória normalmente é de leste a oeste, com maior frequência entre os meses de janeiro e fevereiro. O tempo de vida desses sistemas varia em média, entre 7 a 10 dias e é o sistema atmosférico responsável por chuvas moderadas a intensas sobre a Região Nordeste no início do verão.

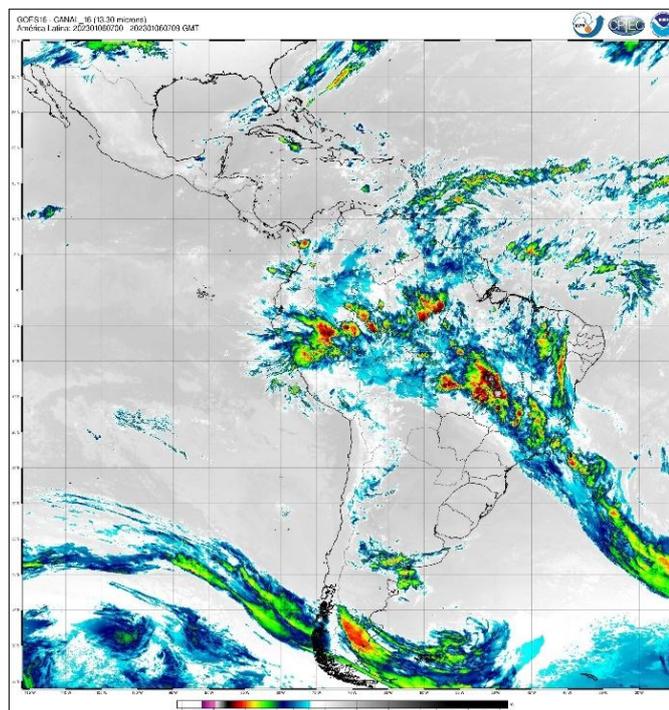
A distribuição das chuvas na região nordeste do Brasil e mais especificamente no Sul Cearense é influenciada por esses diferentes aspectos físico-naturais. Os sistemas atmosféricos apresentam influências em diferentes épocas do ano e quando relacionado a outros fatores como quadra chuvosa e Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico Tropical (PT) e do Atlântico Tropical (AT) podem causar chuvas bem acima da média.

**Figura 11** - Diagrama esquemático da nebulosidade associada aos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior-VCAS.



Fonte: Kousky e Gan (1980).

**Figura 12** - Atuação do VCAS em partes da região nordeste do Brasil.



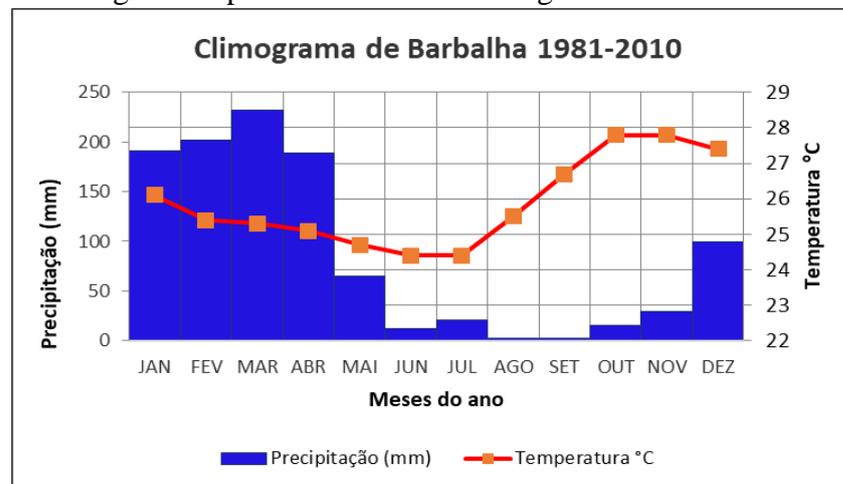
Fonte: CPTEC/INPE (2023).

A circulação geral da atmosfera é central para entender a variabilidade do clima regional, pois apresenta uma dinâmica ligada à sucessão de diferentes sistemas atmosféricos nesta escala (FONTÃO e ZAVATTINI, 2017). Ela apresenta um importante subsídio para inúmeras pesquisas dos mais diversos campos da ciência, que necessitam desse entendimento (PEREIRA *et al.*, 2020).

Para representar a dinâmica climática da Mesorregião Sul Cearense, foram construídos dois climogramas representativo, um do município de Barbalha (Figura 13), localizado a sul da MSC, situado na porção que abrange a Chapada do Araripe, e outro do município de Campo Sales (Figura 14), localizado a oeste da MSR e situado em áreas de depressão sertaneja, os dados dos municípios em análise foram extraídos do site do INMET.

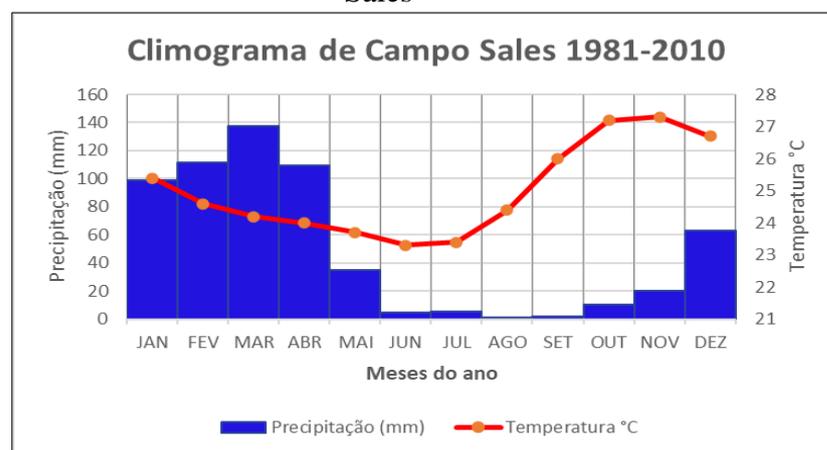
Tanto no climograma de Barbalha como de Campo Sales pode-se perceber que nos dois municípios a dinâmica de concentração das chuvas é a mesma, porém o volume pluviométrico de Barbalha ultrapassa os 200 mm, enquanto Campo Sales não chega aos 150 mm, um fator influenciável nessa diferença seria a localização geográfica dos mesmos, já mencionada no parágrafo acima. A temperatura em ambos, acompanha a precipitação onde tem os maiores índices pluviométricos a temperatura é menor, com exceção dos meses de junho e julho, quando a precipitação é baixa e as temperaturas são bem amenas.

**Figura 13** - Climograma representativo da Mesorregião Sul Cearense - Posto Barbalha



Fonte: INMET. Organização: Gomes (2022)

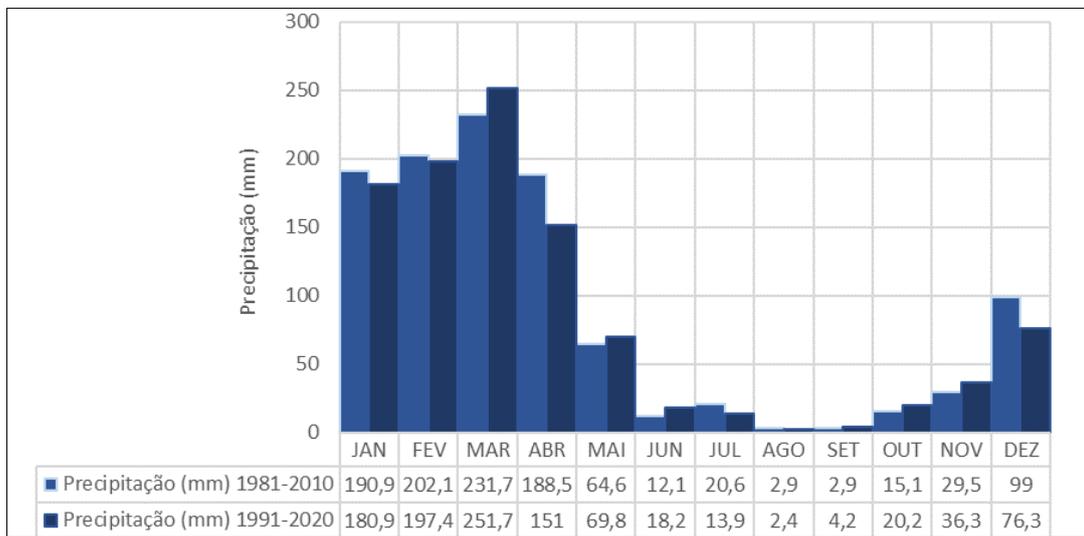
**Figura 14** - Climograma representativo da Mesorregião Sul Cearense - Posto Campo Sales



Fonte: INMET. Organização: Gomes (2022)

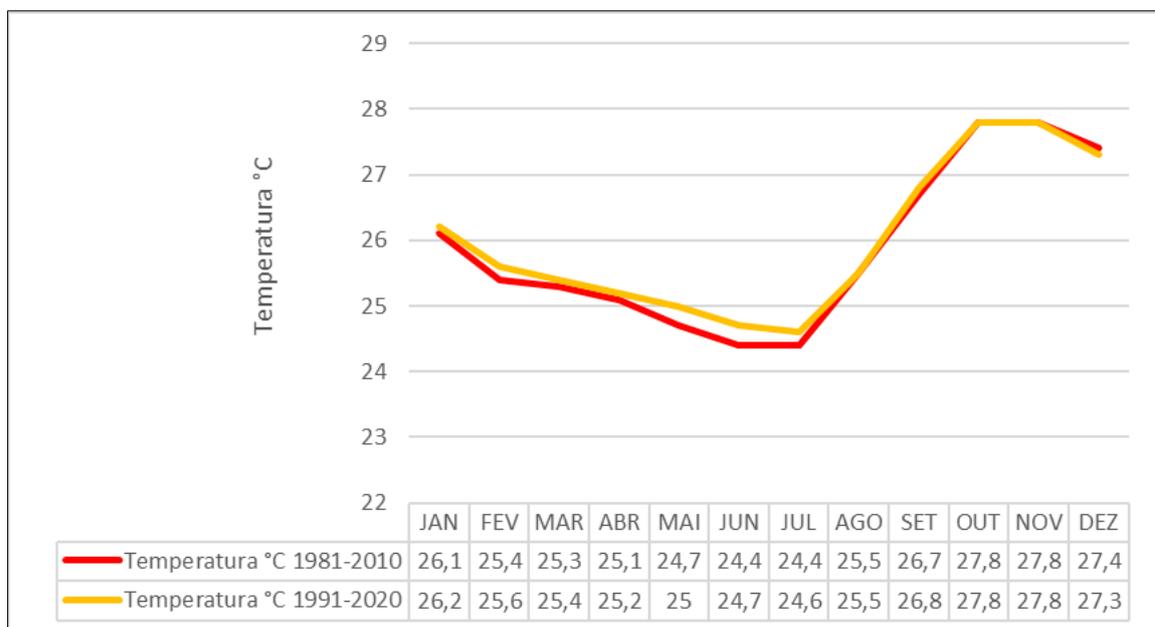
Comparando as normais climatológicas para o município de Barbalha, município que integra a mesorregião (figuras 15 e 16) do período de 1981 a 2010 com as normais, de 1991 a 2020, é possível verificar um aumento nas temperaturas. Em relação à precipitação mensal, houve um acréscimo no mês de março na normal de 1991 a 2020. Mas na normal de 1981 a 2010 os totais pluviométricos foram maiores no período chuvoso (dezembro a maio) da área de estudo.

**Figura 15** - Gráfico da precipitação mensal para o município Barbalha/CE (Normais Climatologias de 1981 a 2010 e 1991 a 2020)



Fonte: INMET. Organização: Gomes (2022)

**Figura 16** - Gráfico da temperatura compensada mensal para o município Barbalha/CE (Normais Climatologias de 1981 a 2010 e 1991 a 2020)



Fonte: INMET. Organização: Gomes (2022).

Com isso, os climogramas e os gráficos acima são produtos representativos, pois a indisponibilidade de dados de temperatura média compensada, e precipitação acumulada mensal e anual para os municípios inseridos na área de estudo, dificultou uma elaboração mais significativa dos mesmos.

### 3.2 EVOLUÇÃO DAS FORMAS DE USOS E COBERTURA DA TERRA

Até meados da década de 1970, o processo de uso e ocupação da terra nos sítios urbanos da Mesorregião Sul Cearense deu-se a partir da exploração de suas potencialidades naturais. No entanto, nos anos seguintes, com os investimentos capitalistas na agroindústria canavieira e com o crescimento da especulação imobiliária, principalmente nos municípios da região do Cariri, as antigas áreas rurais transformaram-se em espaços urbanos, e conseqüentemente os elementos naturais da paisagem tornaram-se fatores secundários e susceptíveis a usos e exploração desordenada (RIBEIRO, 1997).

Sobre os impactos ambientais na área estudada, pode-se afirmar que os desmatamentos e as queimadas foram identificados em quase toda a extensão da mesorregião, uma vez que a vegetação nativa é retirada para ser usada no consumo doméstico; como matriz energética (fabricação de carvão); uso industrial (indústria de gesso); nas cerâmicas (produção de tijolos e telhas), e para ocupação de terras destinadas à agropecuária e expansão urbana.

Na porção da Chapada do Araripe os desmatamentos e as queimadas provocaram problemas ambientais nas áreas de nascentes de rios, apesar de que, historicamente, essas áreas já eram ocupadas para fins de agro extrativismo e, em menor escala, para a agricultura de subsistência, mas que não causavam prejuízos ecológicos. Evidencia-se nas áreas agrícolas que a retirada da cobertura vegetal nativa provocou a compactação do solo, aumentando o escoamento superficial, e conseqüentemente dificultando a infiltração da água que alimenta os aquíferos da região.

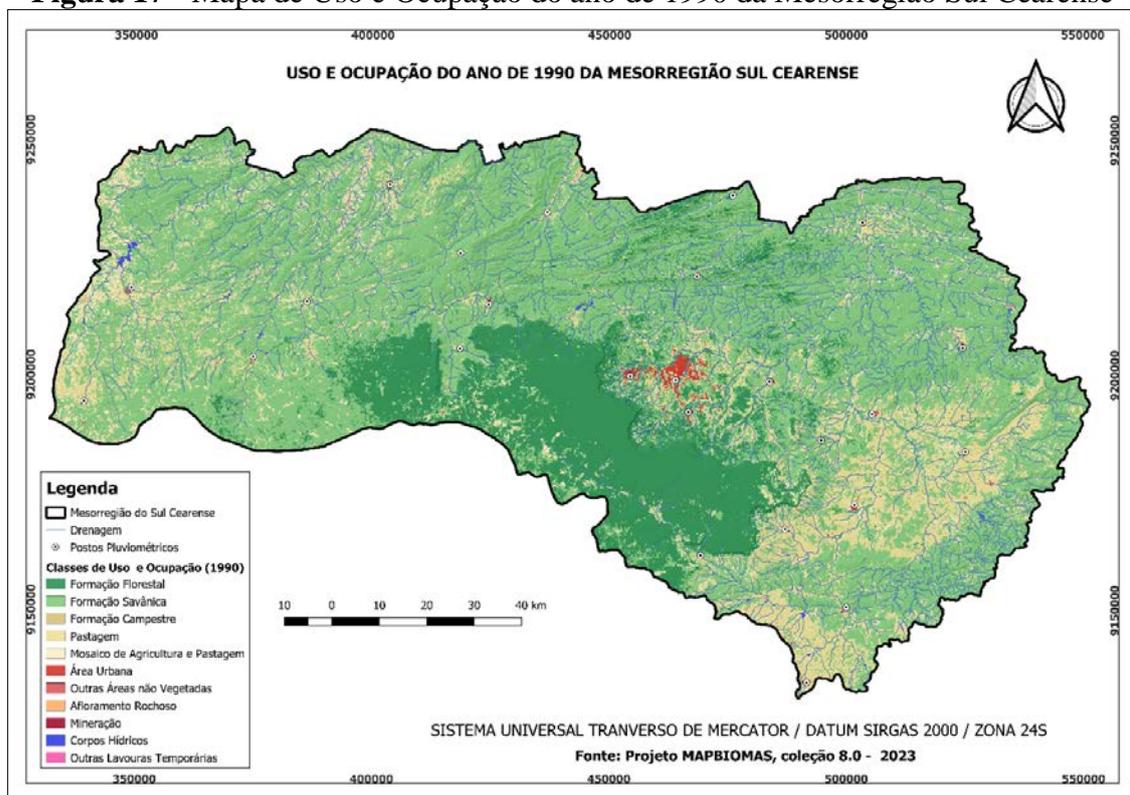
Na encosta oriental da Chapada do Araripe, os desequilíbrios ambientais ocorrem principalmente, quando há eventos climáticos/pluviais intensos, tendo a chuva como elemento principal, associada à topografia, geologia, grau de intemperismo, solo e tipos de uso e ocupação da terra. Vale destacar que, até então, a área da cornija não é ocupada, devido ao seu grau de declividade na escarpa da Chapada do Araripe.

Em algumas áreas a vegetação natural como, por exemplo, o babaçu, a macaúba, entre outras, estão sendo substituídas por culturas de subsistência como feijão e milho, dentre outras, e também para a comercialização, como é o caso das plantações de bananeiras. Ademais, destacam-

se ocupações irregulares de sítios, chácaras, loteamentos, residências, clubes recreativos e balneários que promovem a erradicação da cobertura vegetal natural.

Nas Figuras 17 e 18, destaca-se o processo de evolução dos tipos de uso e ocupação da Mesorregião Sul Cearense, e nele pode-se observar duas classes bem definidas: a pastagem em ambos os mapas é um uso predominante se destacando em quase toda área da MSC; a zona urbana, caracterizada pela predominância de comércios, indústrias e demais tipos de serviços a exemplo escolas, universidades, hospitais e equipamentos e áreas de lazer público e privado ou ocupações irregulares de sítios já mencionadas no parágrafo acima. Identificou-se também, o mosaico de agricultura, mineração, corpos hídricos, afloramento rochoso, área de solo exposto, o referido setor está relacionado às atividades de agro-extrativismo e agropecuária.

**Figura 17 - Mapa de Uso e Ocupação do ano de 1990 da Mesorregião Sul Cearense**

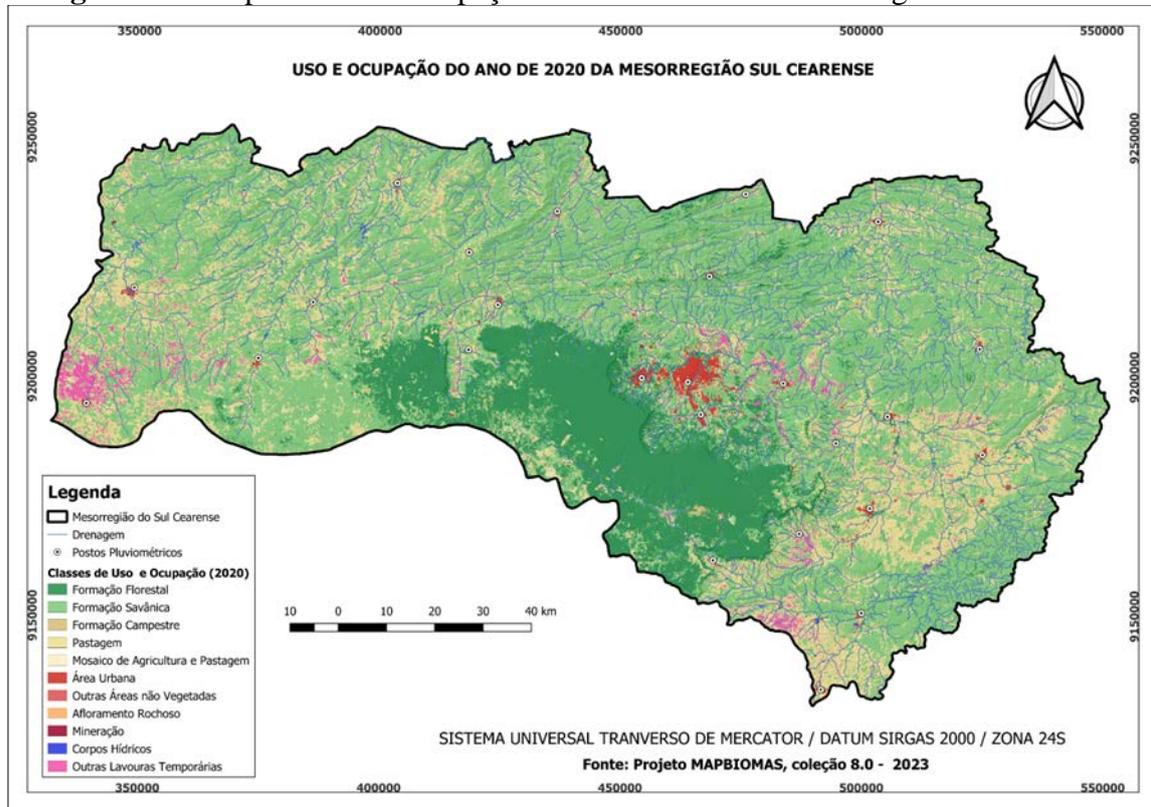


Fonte: MAPBIOMAS (2023). Elaboração: Gomes (2023).

As duas classes, tanto a pastagem como a área urbana, cresceram bastante de 1990 para 2020, nos últimos anos a pastagem vem crescendo em altos níveis. No Brasil, as pastagens constituem-se como uma das principais e mais baratas fontes de alimentação dos rebanhos, em contrapartida as áreas de Florestas Savânicas estão diminuídas em larga escala. Nas áreas urbanas nota-se um grande avanço no ano de 2020, principalmente no chamado triângulo CRAJUBAR, composto pelos municípios do Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, influenciado por grandes áreas

de loteamento, estando associada aos bairros em expansão. Em 2020 tem-se a intensificação da classe outras lavouras temporárias que seria o plantio de feijão, milho entre outros, são plantações de um determinado período do ano.

**Figura 18** - Mapa de Uso e Ocupação do ano de 2020 da Mesorregião Sul Cearense



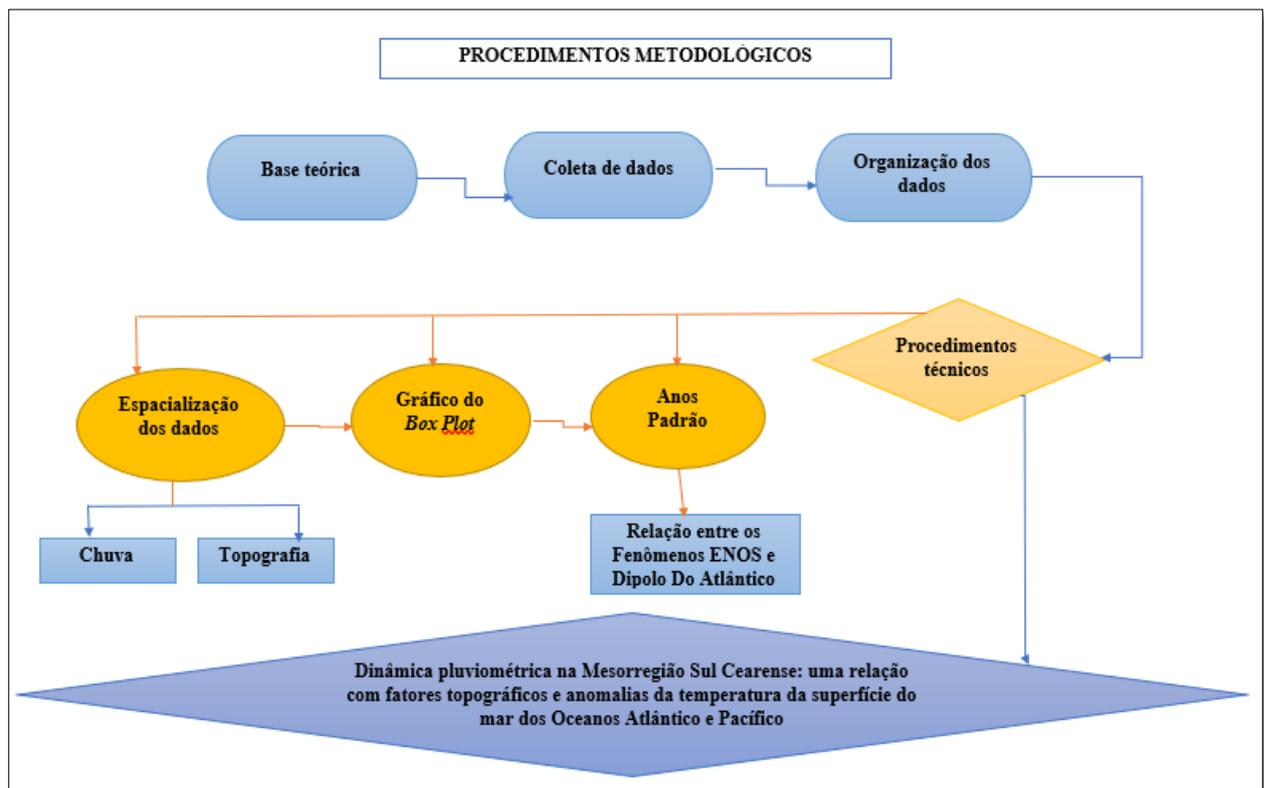
Fonte: MAPBIOMAS (2023). Elaboração: Gomes (2023).

O progressivo aumento da ocupação residencial em bairros periféricos e favelas nos centros urbanos da MRSC, sem a devida estruturação de equipamentos e serviços de saneamento básico, fazem com que a população se utilize de formas alternativas para se desvencilhar dos resíduos produzidos, jogando-os em terrenos baldios, nas margens e leitos dos rios, nas estradas e/ou os queimem em locais impróprios, contaminando, assim, os solos e as águas superficiais e subsuperficiais. Esses impactos ambientais representam fatores determinantes para a ocorrência de enchentes e inundações em algumas áreas da mesorregião, principalmente no setor CRAJUBAR.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa seguiu alguns procedimentos que permitiram chegar aos resultados esperados, dividido em fases que estão detalhadas a seguir: levantamento bibliográfico e caracterização ambiental; aquisição e tratamento dos dados; *box plot* para a determinação de anos-padrão; espacialização pluviométrica e topográfica do domínio da Mesorregião e levantamento de dados sobre os oceanos Pacífico e Atlântico na ocorrência dos anos-padrão (Figura 19).

**Figura 19** - Fluxograma dos procedimentos metodológicos da dissertação



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

### 4.1 BASE TEÓRICA

Na fase inicial ocorreram leituras sobre a temática baseando-se em autores da Climatologia Geográfica, Climatologia Dinâmica e também da Análise Rítmica, como Monteiro (1962 e 1971), Tavares (1976), Nimer (1979), Ribeiro (1982), Zavatini (2000), Zavatini e Boin (2013), Soares (2015), Santana Neto (2015), Wanderley (2020) entre outros.

Sobre a variabilidade e a técnica do *box plot*, cita-se: Galvani e Luchiari (2005), Schneider (2014), Pereira, Moura e Lucena (2020) e Oliveira *et al.* (2020). E nas influências dos oceanos na precipitação do Nordeste brasileiro: Souza e Nobre (1998), Souza *et al.* (1998), Ferreira e Melo (2005), Lucena (2008), Lucena *et al.* (2011), Nóbrega e Santiago (2014), Nóbrega *et al.* (2016), Assis *et al.* (2018) e Pereira (2018).

#### 4.2 AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados pluviométricos foram obtidos gratuitamente nos sites Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), sendo utilizado o programa Hidro 1.4. A partir dos dados dos postos pluviométricos de cada município, estes foram organizados para se estabelecer uma série histórica comum a todos os postos. Porém, alguns postos apresentam muitas falhas, às vezes um mês, dois meses, um ano, e até nove anos, como é o exemplo de Salitre. Devido à falta de dados nos dois sites, o posto de Salitre teve sua série histórica menor com trinta e um anos, enquanto os demais postos a série corresponde a quarenta anos.

Para melhor desenvolvimento da pesquisa utilizou-se o método da ponderação regional que permitiu a obtenção dos dados estimados para preenchimento das falhas das séries temporais (Figura 20). Tomou-se por base as medições de outros postos vizinhos ao posto em análise, e a proximidade entre os mesmos foi visualizada por meio da ferramenta Google Earth Pro. Dos vinte cinco municípios inseridos na MSC foram identificados dez municípios/postos com falhas.

Os postos escolhidos para análise estão inseridos numa região climatológica semelhante ao posto a ser preenchido, o exemplo utilizado aqui levou em consideração três postos na maioria das falhas encontradas nos municípios, conforme a equação abaixo:

$$P_x = \frac{1}{3} \left( \frac{P_x}{P_A} \cdot P_A + \frac{P_x}{P_B} \cdot P_B + \frac{P_x}{P_C} \cdot P_C \right)$$

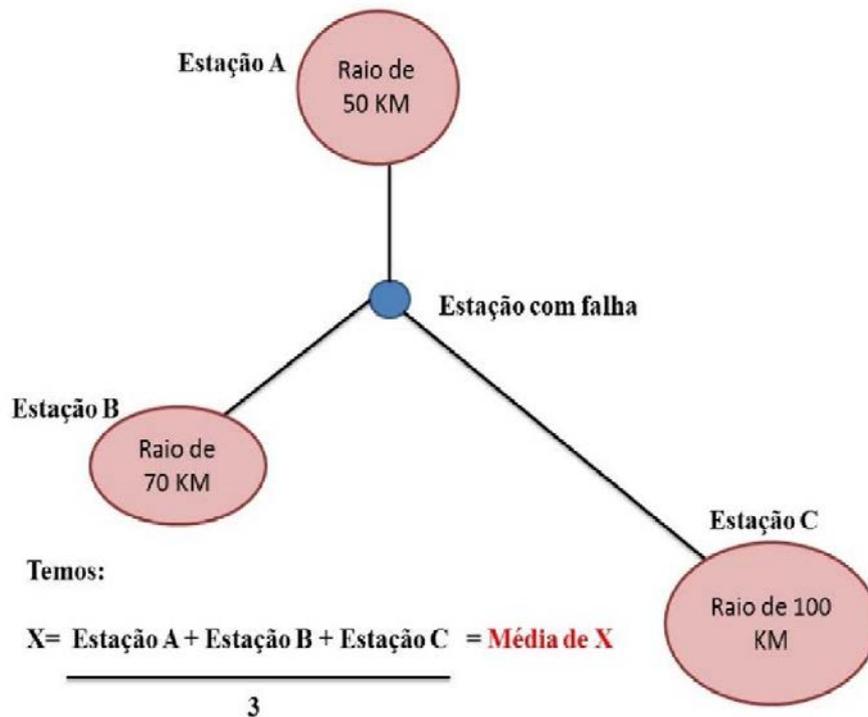
Fonte: Tucci & Silveira (2004)

Onde:

$P_x$  - Precipitação ausente que necessita ser preenchida

$P_A, P_B, P_C$  - Precipitação dos postos vizinhos

**Figura 20** - Procedimento utilizado para o preenchimento de falhas do banco de dados pluviométrico, com base em Tucci e Silveira (2004, p.183)



Fonte: Amador e Silva (2020)

A escolha pelo método de ponderação regional para o preenchimento de falhas se deu por acreditar que esse permite incorporar elementos importantes da análise geográfica e, assim, cita-se a localização e as características do local onde a estação ou posto utilizado se encontra (AMADOR; SILVA, 2020). A partir do método de ponderação regional foi possível encontrar uma estimativa pluviométrica dos postos com falha.

Com os dados tabulados, foi feito o uso da estatística descritiva, sendo possível a coleta, organização e análise dos dados com os seguintes parâmetros: média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, máxima, mínima e amplitude. Segundo Schneider (2014) e Nascimento Júnior (2017), os estudos pautados em análises estatísticas utilizando o método do gráfico do *box plot* permite uma melhor compreensão e classificação dos dados em longas séries temporais.

As cartas sinóticas utilizadas nessas pesquisas foram extraídas do site da Marinha do Brasil, com propósito de mostrar os principais sistemas atmosféricos atuantes na região de estudo. E as imagens de satélites foram obtidas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE com finalidade também de destacar eventualmente algum sistema atmosférico.

## 4.3 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

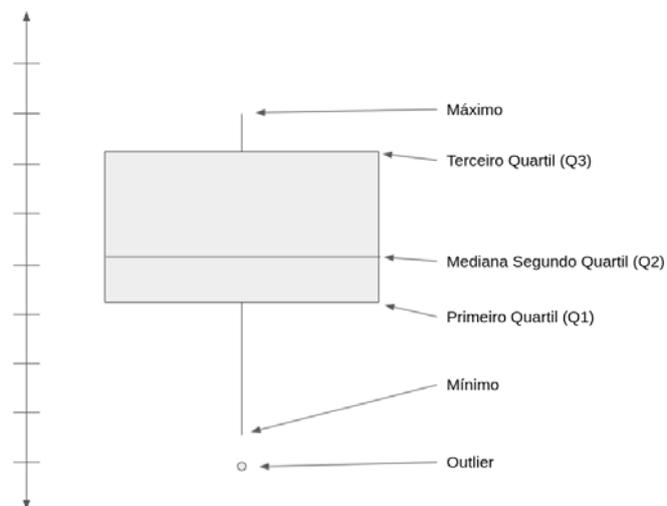
### 4.3.1 *Box Plot* para a determinação de Anos Padrão

Com o propósito de ir além da climatologia estatística e descritiva, que nos fornece os primeiros resultados para uma análise geral da área, se efetuou uma abordagem mais dinâmica da precipitação com a aplicação do *box plot* para se estabelecer os anos-padrão, verificando no decorrer da série o quanto a pluviosidade anual se apresentou à margem do padrão habitual/normal.

Em relação às etapas para elaboração do diagrama de caixa ou gráfico do *box plot*, destaca-se, primeiramente, a organização dos dados em ordem crescente (ou decrescente) com os maiores valores. Essa ordenação é necessária para identificar e descartar os valores extremos (*outliers*). Em seguida identificaram-se os *outliers* (valores atípicos ou extremos num conjunto de dados). Isso é particularmente importante, pois esses valores, apesar de estarem representados no gráfico, não compõem os valores da “caixa” do *box plot*, uma vez que podem contaminar a série de dados.

Em um gráfico do tipo *box plot* (Figura 21) é exibido o resumo dos 5 números, que são: mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e o máximo.

**Figura 21** - Representação dos elementos do gráfico *Box Plot*



Fonte: contextures.com

A construção dos gráficos do *box plot* foi realizada através do *software Action Stat Pro 3.0*, e os cálculos foram realizados a partir do *software Microsoft Excel 2013*. Os dados gerados pelo gráfico são destacados por Galvani e Luchiari (2005) e resumidos no (quadro 1): O valor

máximo (V.máx) é o maior valor encontrado dentro da série. O valor mínimo (V.mín) é o menor valor encontrado. O primeiro quartil está situado entre o (V.mín) e a mediana indicando anos secos. O segundo quartil pode ser chamado de mediana, ou seja, que define a posição central da série, classificado como ano Habitual/Normal.

Já o terceiro quartil está situado entre a mediana e o (V.máx) indicando anos úmidos (no trabalho adotou-se ano chuvoso). Galvani e Luchiari (2005) recomendam um *range* de 5 a 95% da série, no qual os anos em que estiverem entre os 5% menores serão considerados super secos (no trabalho adotou-se ano extremamente seco) e os anos com 5% entre os maiores serão classificados como super úmidos (no trabalho adotou-se ano extremamente chuvoso).

**Quadro 01:** Intervalo de classificação para os anos-padrões

Precipitação Anual (mm)	Classificação
5% Menores da série	Super secos / (Extremamente seco)
5% Maiores da série	Super úmidos / (Extremamente chuvoso)
Entre o (V. mín) e o 1º Quartil	Secos
Entre o 1º e 3º Quartil	Habitual / Normal
Entre o 3º Quartil e o (V. máx)	Úmido / Chuvoso

Fonte: Galvani e Luchiari (2005), adaptado por Gomes (2022).

#### 4.4 ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS

##### 4.4.1 Chuva

A espacialização dos dados pluviométricos foi realizada através do software Qgis 3.16. Para isso foram digitados no programa Excel os dados contendo as colunas: ID, postos, municípios, Coordenadas em graus e a média anual de precipitação de cada posto (Tabela 1). Posteriormente realizou-se a conversão dos dados para o formato “shapefile” de pontos representando um mapa vetorial.

A interpolação dos dados foi realizada utilizando o interpolador IDW (Ponderação pelo Inverso da Distância) para gerar o mapa de dados médios anuais de precipitação. Esse tipo de interpolação atribui pesos ponderados aos pontos amostrais, de modo que a influência de um ponto sobre outro diminui com a distância do novo ponto a ser estimado. Essa espacialização foi realizada para representar a média anual de cada posto e para a estação chuvosa e seca da MSC.

**Tabela 01** - Coordenadas geográficas dos municípios e dados de precipitação dos postos pluviométricos na Mesorregião

ID	Municípios	Postos	S	W	mm
1	Assaré	ASSARE	-6 52 10.66	-39 52 18.74	673,07
2	Barbalha	BARBALHA	- 7 18 26.11	- 39 18 5.93	1047,84
3	Nova Olinda	NOVA OLINDA	-7 5 59.99	-39 40 59.92	827,26
4	Porteiras	PORTEIRAS	- 7 31 59.58	- 39 7 0.53	798,23
5	Santana do Cariri	SANTANA DO CARIRI	-7 11 5.07	-39 44 18.11	881,45
6	Abaiara	ABAIARA	- 7 21 42.96	- 39 2 51.83	916,04
7	Altaneira	ALTANEIRA	-7 0 2.97	-39 44 14.00	836,62
8	Araripe	ARARIPE	- 7 12 1.15	- 40 8 0.45	644,58
9	Aurora	AURORA	- 6 56 33.91	- 38 58 6.61	926,7
10	Barro	BARRO	- 7 11 2.13	- 38 46 38.60	794,34
11	Brejo Santo	BREJO SANTO	- 7 29 7.30	- 38 59 2.36	866,91
12	Campo Sales	CAMPO SALES	- 7 4 1.48	- 40 22 0.17	562,76
13	Caririçu	CARIRIACU	-7 2 47.74	-39 17 7.49	986,43
14	Crato	CRATO	-7 14 17.91	-39 24 46.02	1094,49
15	Farias Brito	FARIAS BRITO	-6 55 23.04	-39 34 17.71	983,02
16	Granjeiro	GRANJEIRO	- 6 53 26.21	- 39 13 1.23	1007,9
17	Jardim	JARDIM	- 7 34 58.86	- 39 16 44.17	685,41
18	Jati	JATI	- 7 40 58.92	- 39 0 0.10	702,18
19	Juazeiro do Norte	JUAZEIRO DO NORTE	- 7 14 45.73	- 39 19 33.61	959,23
20	Mauriti	MAURITI	- 7 23 2.35	- 38 46 20.35	749,82
21	Milagres	MILAGRES	- 7 18 42.10	- 38 57 2.81	889,52
22	Missão Velha	MISSÃO VELHA	- 7 14 55.67	- 39 8 47.94	967,72
23	Penaforte	PENAFORTE	- 7 49 39.51	- 39 4 34.10	582,17
24	Potengi	POTANGI	- 7 5 41.11	- 40 1 49.70	677,39
25	Salitre	SALITRE	- 7 17 8.53	- 40 27 24.99	534,32

Elaboração: Gomes (2022).

#### 4.4.2 Topografia

A espacialização topográfica se deu a partir da elaboração dos mapas de altitude, declividade e regiões geomorfológicas no *software Qgis 3.16*. Utilizou-se uma cena que contenha dados de elevação do SRTM, os arquivos de declividade foram baixados do site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA e os dados de altitude foram baixados do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – TOPODATA. Posteriormente elaborou-se a combinação entre o relevo sombreado e a hipsometria. No mapa de declividade, o primeiro passo é calcular a declividade do terreno, a EMBRAPA (Tabela 2) propõe seis tipos de classes: Plano, Suave

Ondulado, Ondulado, Forte-Ondulado, Montanhoso e Escarpado, possibilitando uma visão mais detalhada do terreno.

**Tabela 02** - Classes de declividade propostas pela EMBRAPA, 1979/2005

Classes de Declividade	Limites Percentuais (%)
Plano	0 – 3
Suave-ondulado	3 - 8
Ondulado	8 - 20
Forte-ondulado	20 - 45
Montanhoso	45 -75
Escarpado	>75

Fonte: EMBRAPA. Elaboração: Gomes (2022).

Para o mapa das regiões geomorfológicas da área de estudo, utilizou-se as bases cartográficas do IBGE (2018). As Regiões Geomorfológicas representam compartimentos inseridos nos conjuntos litomorfoestruturais que, sob ação dos fatores climáticos pretéritos e atuais, lhes conferem características genéticas comuns, agrupando feições semelhantes, associadas às formações superficiais e fitofisionomias (IBGE,2018).

Em relação à caracterização geoambiental de forma geral da área de estudo, consultou-se trabalhos já efetuados como Souza (2000), Carvalho *et al.* (2007), Cavalcanti *et al.* (2009) e Sá *et al.* (2014), entre outros. Foi possível também buscar dados e informações em alguns órgãos, como por exemplo: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME e Instituto de Pesquisa, Estratégia Econômica do Ceará – IPECE e MapBiomias Brasil.

#### 4.5 DADOS SOBRE OS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO

No intuito de se compreender a variabilidade pluviométrica na Mesorregião Sul Cearense, foram analisadas as condições oceânicas de cada ano no que se refere à atuação de eventos de El Niño, La Niña no Oceano Pacífico e o Gradiente meridional inter-hemisférico de TSM do Atlântico - Dipolo do Atlântico.

As informações de intensidade do El Niño e da La Niña para o período estudado foram obtidas no site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE que dividem os fenômenos em termos de intensidade: Forte, Moderado e Fraco e no site do NOAA (National Oceanic e Atmospheric Administration), que divulga o Índice de Intensidade do Niño (ONI) e da La Niña por trimestre desde 1954.

Os períodos quentes são destacados pela cor (vermelho) e frios (azul) com base em um limite de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  para o Índice Niño Oceânico (ONI) [média contínua de 3 meses de anomalias ERSST.v5 SST na região Niño 3,4 ( $5^\circ\text{N}$ - $5^\circ\text{S}$ ,  $120^\circ$ - $170^\circ\text{W}$ )], com base em períodos base de 30 anos centrados atualizados a cada 5 anos. Para fins históricos, os períodos de SSTs abaixo e acima do normal são coloridos em azul e vermelho quando o limite é atingido por um mínimo de 5 temporadas consecutivas sobrepostas (NOAA, 2023). O ONI é uma medida do El Niño-Oscilação Sul, e outros índices podem confirmar se características consistentes com um fenômeno acoplado oceano-atmosfera acompanharam esses períodos (NOAA, 2023).

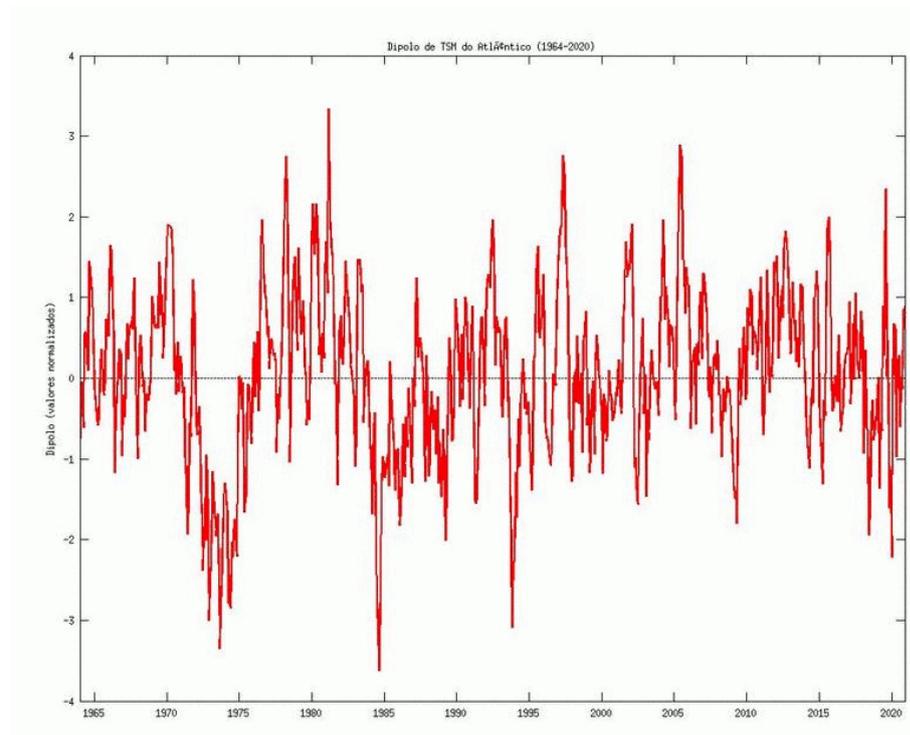
No site da FUNCEME e em bibliografias existentes Lucena (2008 e 2011), consultou-se os anos de ocorrência do Dipolo do Atlântico. O dipolo da TSM do Atlântico Tropical apresenta correlações fortemente negativas com as precipitações da região Nordeste a depender da sua estação chuvosa. O dipolo de TSM do Atlântico tropical constitui então um bom indicador da qualidade da estação chuvosa nessa região, especialmente em anos de condições neutras sobre o Pacífico.

Para identificar o dipolo, pode-se calcular um índice como sugerido por Servain (1991), que consiste na diferença entre as médias da TSM da área compreendida entre  $20^\circ\text{W}$ - $60^\circ\text{W}$ ,  $5^\circ\text{N}$ - $28^\circ\text{N}$ , menos a média da área  $5^\circ\text{E}$ - $35^\circ\text{W}$ ,  $5^\circ\text{N}$ - $20^\circ\text{S}$ . Os resultados encontrados por Servain (1991) mostraram que o sinal da TSM inter-hemisférico é marcante no AT, onde tem uma estreita relação, ou condiciona o posicionamento da ZCIT. Porém, as ATSM em parte são causadas pela variabilidade das altas subtropicais tanto em posição como em intensidade (LUCENA, 2008).

Na Figura 22 apresenta-se o índice do dipolo para o período compreendido entre 1964 a 2020. Pode-se observar que a característica principal desse modo é uma variação lenta em escala decadal. O dipolo da TSM é principalmente positivo para os períodos antes de 1970, 1976-1983, e depois de 1990, mas prevaleceram negativos durante 1971-1975 e 1984-1989. A partir da década de 80 observa-se que o dipolo apresenta um sinal interanual (alta frequência) com uma tendência positiva do índice e algumas oscilações negativas (LUCENA, 2008).

Vários estudos observacionais vêm sendo realizados com o intuito de analisar essa variabilidade na TSM. Carton *et al.* (1996) mostraram que o principal mecanismo responsável pelas modificações na TSM do AT é a mudança na evaporação. Eles verificaram que padrões de variabilidade decadal de TSM são principalmente controlados pelas mudanças na velocidade do vento à superfície.

**Figura 22** - Índice mensal do dipolo da TSM do Atlântico para o período de 1964-2020 calculados a partir de dados da TSM provenientes de navios de comércio e oceanográficos e bóias para as bacias norte e sul do Atlântico



Fonte: FUNCEME (2023)

Com base nos dados acima e suas relações compreende-se como essas teleconexões funcionam e se os índices estudados podem interferir inibindo ou aumentando a intensidade das chuvas na área de estudo. Os dados sobre Oceano Pacífico e Atlântico serão relacionados aos anos-padrão selecionados.

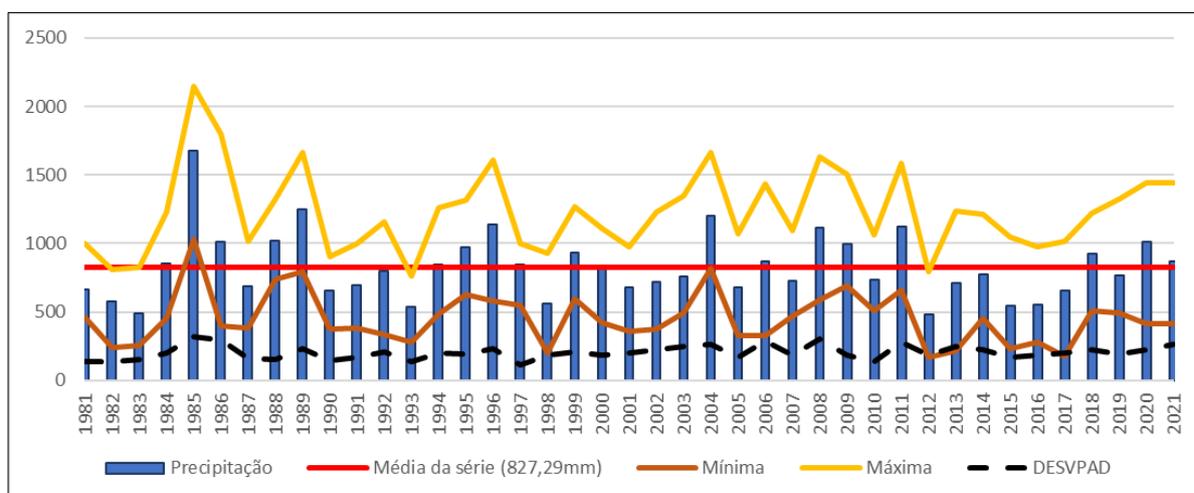
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico discute-se a relação das TSM sobre os oceanos nos anos-padrão no comportamento/dinâmica das chuvas na Mesorregião. Foram abordados os seguintes itens: variabilidade pluviométrica interanual e mensal da Mesorregião do Sul Cearense e análise da relação entre os fenômenos El Niño, La Niña e Dipolo do Atlântico Tropical com a pluviosidade da Mesorregião do Sul Cearense entre os anos de 1981–2021.

### 5.1 VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA INTERANUAL E MENSAL DA MESORREGIÃO DO SUL CEARENSE

A MSC está situada na região Nordeste do Brasil, inserida no domínio do clima semiárido, apresentando características típicas deste tipo climático, sendo elas: temperaturas elevadas, baixa amplitude térmica anual, chuvas escassas e mal distribuídas, ou seja, concentradas em poucos meses. Anualmente, o volume acumulado de chuvas na MSC (Figura 23) é de, no mínimo, 479 mm; a média pluviométrica anual é de 827 mm, com máximas que chegam a 1679 mm, máxima mais adequada para as localidades que abrangem o relevo sedimentar da área de estudo. Em alguns anos o percentual mínimo foi abaixo da média, como 2012 com 171,3 mm e 2017 com 177 mm, em relação às máximas, que ocorreram nos anos de 1985 com 2147,5 mm e 1986 com 1799,6 mm.

**Figura 23** - Variabilidade anual da precipitação para a Mesorregião Sul Cearense



Fonte: Dados da FUNCEME e ANA (2021). Organização: Gomes (2022).

Em dezembro a média é de 65,02, e janeiro a média é de 131,23 mm, meses que respondem pela pré-estação chuvosa do estado, quando os municípios recebem o aumento da

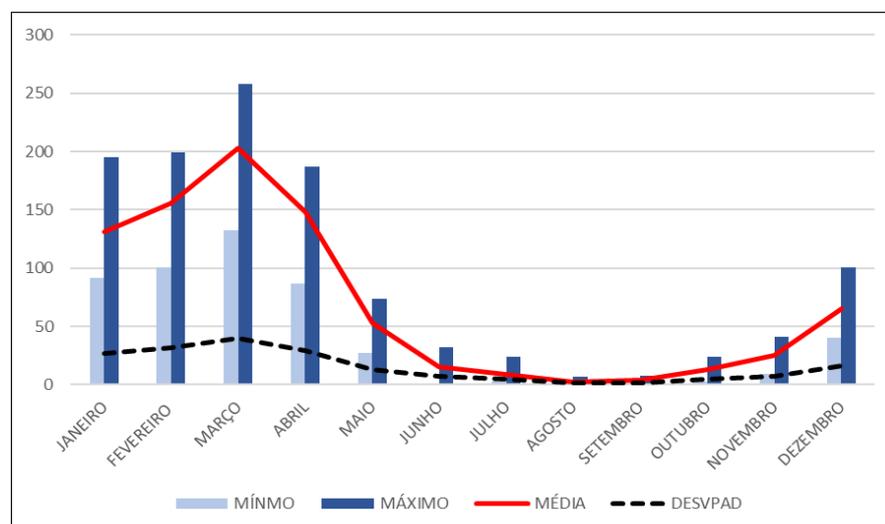
precipitação influenciados por outros sistemas, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), mas que também podem atuar em fevereiro, conjuntamente com a ZCIT. A partir de maio, a média é de 63,57 mm, quando os valores pluviométricos começam a diminuir na Mesorregião Sul Cearense com o afastamento da ZCIT, sendo agosto o mês mais seco, com média de 1,97 mm.

A partir de dezembro, as chuvas começam a retornar, especialmente nos postos do Crato, Caririaçu, Granjeiro, Barbalha, Juazeiro do Norte e Brejo Santo, causadas por sistemas atmosféricos que atuam nessa parte centro-sul da MSC, em conjunto com fator orográfico. A região sul do Ceará possui o diferencial da sua pluviosidade por ser considerada elevada, apesar de estar inserida no coração do Nordeste, onde a seca pode durar de sete a oito meses, ou mais (NIMER, 1979).

Os índices de chuvas da MSC concentram-se em quatro meses janeiro-fevereiro-março-abril. O mês de março é o mais chuvoso, com média de 203,21 mm, sendo influenciado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), importante sistema atmosférico para o estado do Ceará que, combinado a outros fatores, contribui para anos extremo chuvosos ou chuvosos no estado.

A Figura 24, abaixo, mostra os dados médios mensais, máximos e mínimos da MSC: o mês de março apresenta-se como o mês com a maior máxima 257 mm e fevereiro em segundo com 198 mm. As mínimas se destacam no mês de setembro com 0 mm e agosto com 0,2 mm, e nota-se que o percentual de chuvas desses meses é escasso, pelos motivos já mencionados nos parágrafos anteriores. Apesar de agosto ser considerado o mês mais seco, setembro é o mês com temperaturas muito elevadas e chuvas falhadas ou ausentes.

**Figura 24** - Ciclo anual da precipitação do período de 1981 a 2021 para a Mesorregião Sul Cearense

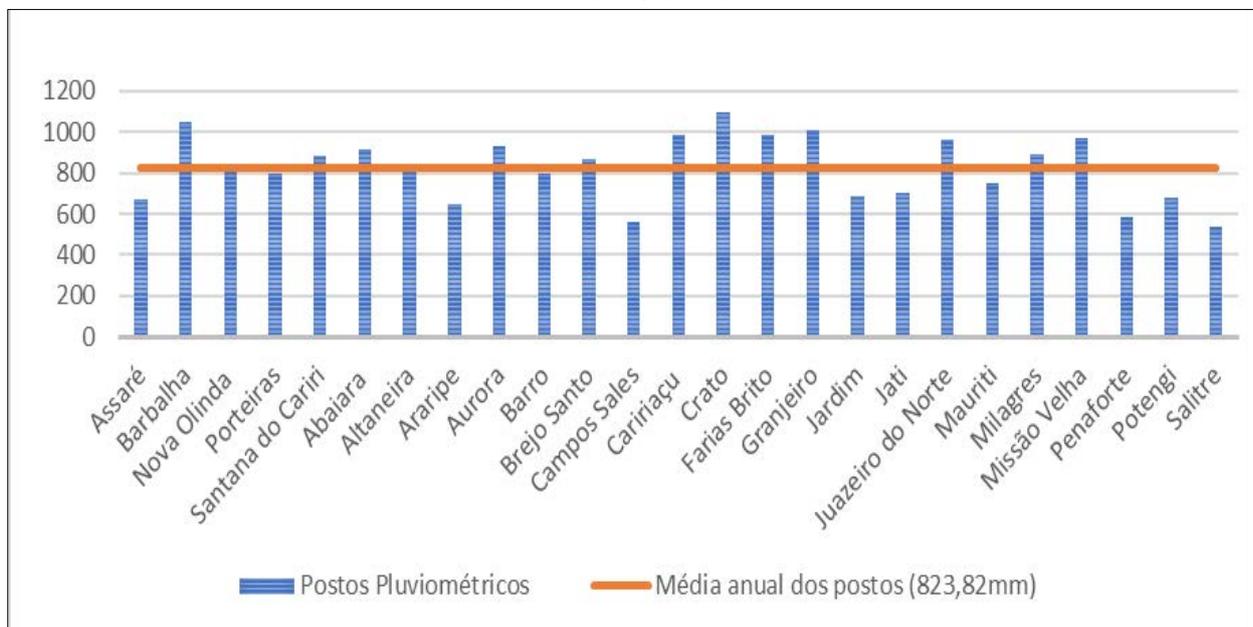


Fonte: Dados da FUNCEME e ANA (2021). Organização: Gomes (2022)

A Figura 25, abaixo, representou os totais pluviométricos de cada posto da área de estudo: no posto com menor média tem-se Salitre com 534,32 mm e Campo Sales com 562,76 mm a oeste e Penaforte com 582,17 mm a leste. Esses municípios encontram-se posicionados em uma vertente mais à sotavento da Chapada do Araripe, e é área de influência da depressão sertaneja, onde as precipitações são mais reduzidas.

Já os municípios que se encontram a barlavento da Chapada do Araripe, apresentam precipitação significativas e acima da média (823 mm) como é o caso do posto Crato (1094 mm), Barbalha (1047 mm) e Granjeiro (1007 mm). Dessa maneira, podemos perceber que as características topográficas de determinado lugar (relevo, altitude, declividade) são capazes de influenciar de modo significativo na distribuição pluvial de uma região.

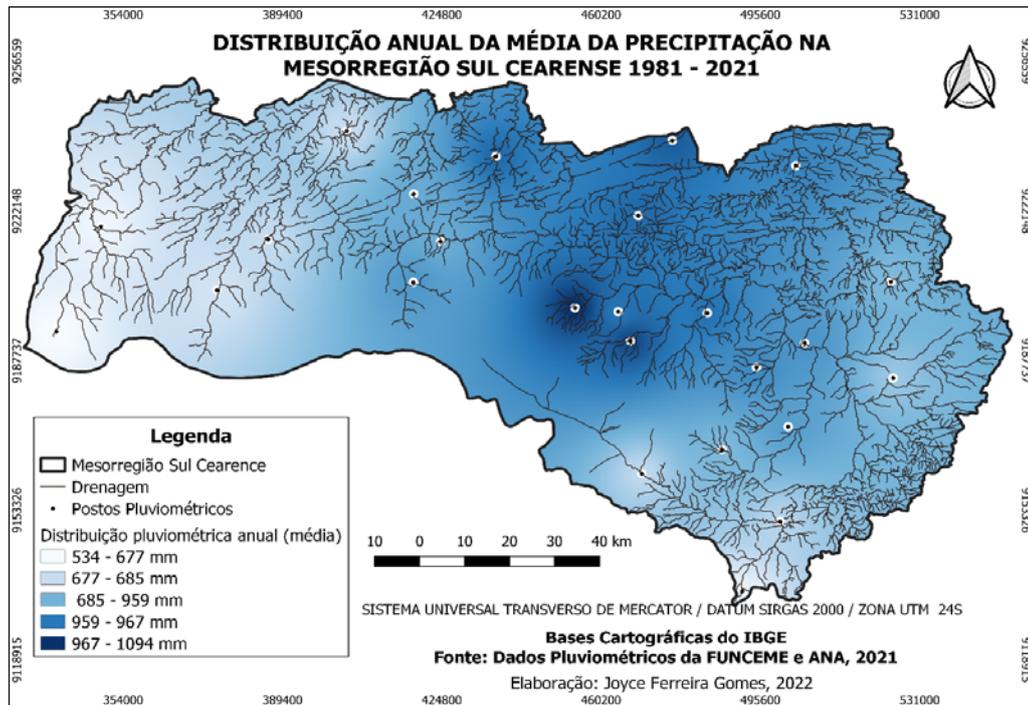
**Figura 25** - Média anual da precipitação para cada postos pluviométricos da Mesorregião Sul Cearense 1981-2021



Fonte: Dados da FUNCEME e ANA (2021). Organização: Gomes (2022)

A Figura 26 ilustra a distribuição anual da média da precipitação na Mesorregião Sul do Ceará. Percebe-se uma concentração maior de precipitação nos municípios próximos à chapada, por estarem localizados na direção dos ventos úmidos (Alísios de Sudeste). Os postos situados mais distantes da chapada, e que adentram a depressão sertaneja, registram índices pluviais médios menores.

**Figura 26** - Distribuição anual da precipitação média para a Mesorregião Sul Cearense 1981–2021



Fonte: Dados da FUNCEME e ANA (2021). Elaboração: Gomes (2022)

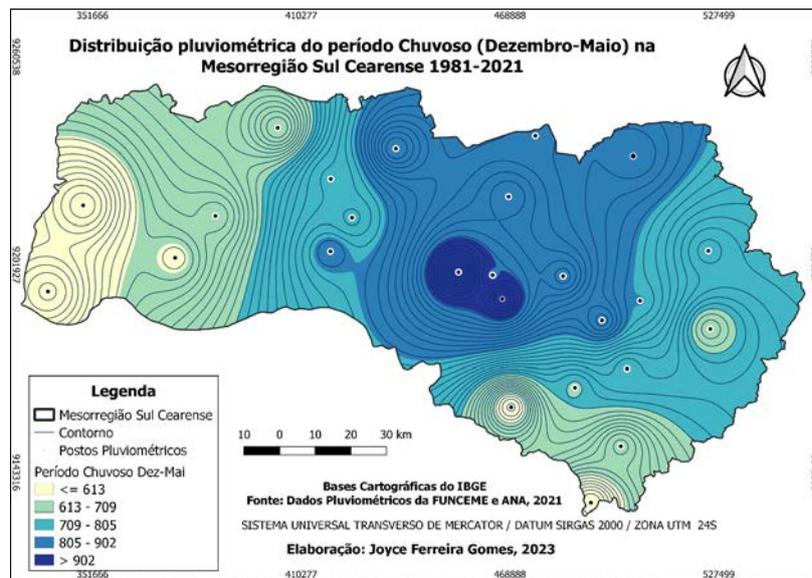
No mapa das regiões Geomorfológicas e hipsométrico da mesorregião sul cearense (Figura 5 e 7), observou-se as diferenças altimétricas de cada posto. O relevo da Chapada do Araripe, com altitude em torno de 900 a 1000 metros, favorece uma divisão da precipitação no encontro dos estados do Ceará, Piauí, Pernambuco e Paraíba, pois com a chegada dos ventos úmidos do litoral, faz da encosta sudeste-leste da chapada uma área de barlavento, permitindo uma maior precipitação nas proximidades (RIBEIRO, 2014), e tem-se como exemplo os totais pluviométricos dos postos de Crato e Barbalha. O município de Jardim, tem sua localização em altitude de 760 metros da chapada, mas por estar posicionado em uma encosta à sotavento, possui uma pluviosidade menor, de 685 mm, em relação aos demais postos próximos à chapada.

No Domínio dos Escudos e Maciço antigos há a presença de rochas cristalinas tendo como forma de relevo predominante a depressão sertaneja e altitude em torno dos 200 metros, o que confere características distintas em relação à drenagem e, devido à localização dos postos pluviométricos mais afastados da influência da Chapada do Araripe, as precipitações tendem a cair, a exemplo dos postos de Salitre, Campo Sales e Penaforte.

Nota-se que área em estudo, devido a sua posição latitudinal, não apresenta suas estações definidas (verão, outono, inverno e primavera) para o ciclo anual sazonal para o Hemisfério Sul, vivenciado apenas dois períodos de climatologias distintas: um chuvoso e outro seco, o chuvoso que se estende do verão-outono e um seco que se estende do inverno-primavera. A presença da

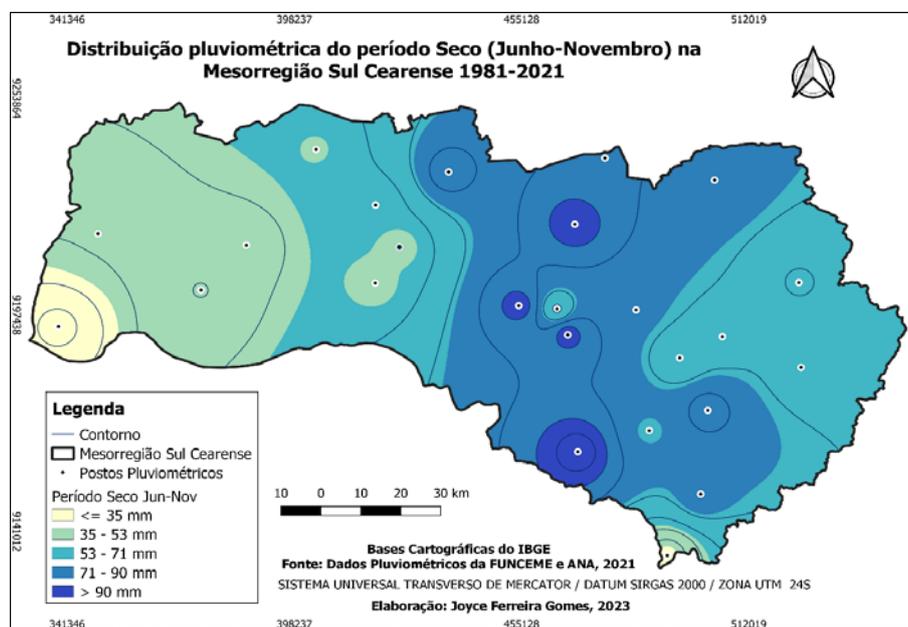
seca no inverno-primavera e ausência no verão decorre do fato desta área ser atingida pelas correntes de circulação perturbadas de norte, leste e oeste, responsáveis por instabilidades do tempo no interior da região Nordeste do Brasil (NIMER, 1979). Outro fator é a situação latitudinal, fator climático que caracteriza a sazonalidade do NEB (BARROS e ZAVATTINI, 2009), pontos já descritos em parágrafos anteriores, compondo duas estações nas faixas equatorial e tropical: estação chuvosa (figura 27) e estação seca (Figura 28).

**Figura 27** - Distribuição pluviométrica do período chuvoso na Mesorregião Sul Cearense 1981–2021



Fonte: Dados da FUNCEME e ANA (2021). Elaboração: Gomes (2022)

**Figura 28** - Distribuição pluviométrica do período seco na Mesorregião Sul Cearense 1981–2021



Fonte: Dados da FUNCEME e ANA (2021). Elaboração: Gomes (2022)

A partir da análise, pôde-se contar que de fato a concentração das chuvas se dá principalmente nos meses de dezembro-junho (período chuvoso) com precipitações que ultrapassam os 1000 mm, tendo total relação com os sistemas de circulação atmosférica perturbada e as condições favoráveis dos oceanos atlântico e pacífico. No período seco as chuvas são inferiores a 100 mm e quando há precipitação nesses meses geralmente encontra-se em um único dia ou mês. Nota-se também que tanto no período chuvoso e seco as chuvas se concentram nos postos que estão na área barlavento da Chapada do Araripe.

A partir do período chuvoso destaca-se abaixo alguns eventos de chuvas extremas na MSC, associados aos sistemas atmosféricos atuantes principalmente no verão e no outono compreendendo a estação chuvosa.

A partir das análises feitas acima percebe-se a relação entre precipitação, topografia e sistema atmosféricos atuantes na área de estudo. Nos meses de atuação de alguns sistemas o índice pluvial é bem acima do esperado e, a depender da situação latitudinal, a intensidade do sistema pode ser maior ou menor. No recorte espacial desta pesquisa têm-se duas situações já mencionadas, uma delas é a condição barlavento que favorece a chegada dos ventos úmidos, e aumenta as precipitações em alguns municípios da MSC. Já condição sotavento os ventos são soprados para o oposto impedindo a chegada das frentes frias com maior intensidade, provocando problemas recorrentes de secas.

## 5.2 RELAÇÃO ENTRE OS FENÔMENOS ENOS E DIPOLO DO ATLÂNTICO TROPICAL COM A PLUVIOSIDADE DA MESORREGIÃO DO SUL CEARENSE

A identificação dos anos-padrão, anos considerados “normais ou habituais”, “secos” ou “chuvosos” em termos de precipitação e a relação entre os fenômenos de El Niño, La Niña e Dipolo do Atlântico Tropical com a distribuição da pluviosidade na Mesorregião do Sul Cearense entre os anos de 1981 – 2021, será discutida nesse item.

Com a aplicação do *box-plot* para cada posto, foi possível estabelecer a classificação dos anos-padrão. O padrão mais recorrente foi a categoria “Normal” com 19 anos para cada posto, com exceção de Mauriti, com 18 anos, Nova Olinda com 20 anos, e Salitre, com 17 anos. No caso de Salitre, a série histórica deste posto foi menor, sendo de 31 anos por conta da ausência de dados pluviométricos disponíveis.

O padrão “Extremamente Chuvoso” e “Extremamente Seco” apareceram em dois anos em cada posto, correspondendo ao range de 5% da série. A categoria “Chuvoso” apresentou um total de 9 anos para cada posto, com exceção de Nova Olinda com 8 anos e Salitre com 7 anos. A

categoria “Seco” foi responsável por 9 anos da série histórica de cada posto, com exceção do posto Salitre, com 7 anos e Mauriti com 10 anos. O quadro 03 sintetiza as informações por ano e por posto dos padrões encontrados na área estudada.

A partir da aplicação do *box plot* por postos pluviométricos (Tabela 3) constatou-se como categoria “Seco” o posto Salitre, com o menor total pluviométrico da série histórica; e na categoria “Normal” os postos Altaneira e Nova Olinda, por apresentarem um índice pluvial próximo da média histórica. E, na categoria “Chuvoso”, tem-se o posto Crato, sendo considerado um dos municípios que mais chovem na região do Cariri, influenciado também pela sua condição geomorfológica.

**Tabela 03** - Classificação/Padrão dos postos da Mesorregião Sul Cearense 1981-2021

<b>Postos</b>	<b>Média</b>	<b>Categoria</b>
<b>Assaré</b>	673,0731707	Seco
<b>Salitre</b>	534,321875	Seco
<b>Campos Sales</b>	562,7682927	Seco
<b>Penaforte</b>	582,1731707	Seco
<b>Araripe</b>	644,5829268	Seco
<b>Potengi</b>	677,3902439	Seco
<b>Jardim</b>	685,415	Normal
<b>Jati</b>	702,1829268	Normal
<b>Mauriti</b>	749,8268293	Normal
<b>Barro</b>	794,3414634	Normal
<b>Porteiras</b>	798,2365854	Normal
<b>Nova Olinda</b>	827,2609756	Normal
<b>Altaneira</b>	836,6243902	Normal
<b>Brejo Santo</b>	866,9170732	Normal
<b>Santana do Cariri</b>	881,4560976	Normal
<b>Milagres</b>	889,5268293	Normal
<b>Abaiara</b>	916,0463415	Normal
<b>Aurora</b>	926,702439	Normal
<b>Juazeiro do Norte</b>	959,2365854	Normal
<b>Missão Velha</b>	967,7243902	Chuvoso
<b>Farias Brito</b>	983,0292683	Chuvoso
<b>Caririaçu</b>	986,4317073	Chuvoso
<b>Granjeiro</b>	1007,907317	Chuvoso
<b>Barbalha</b>	1047,843902	Chuvoso
<b>Crato</b>	1094,490244	Chuvoso

Organização: Gomes (2023)

Realizou-se aplicação do *box plot* na quadra mensal (Tabela 4) da Mesorregião Sul Cearense, tendo como mês “Extremamente Chuvoso” / “Chuvoso” março, com o total pluviométrico de 203 mm. O mês em questão é considerado o mais chuvoso do Estado Ceará, pois o mesmo recebe influência de vários sistemas e fenômenos atmosféricos já mencionados no item anterior. Os meses que se encontram no padrão normal é dezembro com a média mensal 65,02mm e janeiro com 131,23mm, E por fim, o mês considerado “Extremo Seco” / “Seco” é agosto com 1,97 mm, a partir de junho termina o período chuvoso MSC.

**Tabela 04** - Classificação/Padrão dos meses da Mesorregião Sul Cearense 1981-2021

Meses	Categoria	Média Mensal	Média Geral
AGOSTO	Seco	1,97	68,6
SETEMBRO	Seco	3,73	68,6
JULHO	Seco	8,9	68,6
OUTUBRO	Normal	12,89	68,6
JUNHO	Normal	15,46	68,6
NOVEMBRO	Normal	25,16	68,6
MAIO	Normal	52,67	68,6
DEZEMBRO	Normal	65,02	68,6
JANEIRO	Normal	131,23	68,6
ABRIL	Chuvoso	148,31	68,6
FEVEREIRO	Chuvoso	155,54	68,6
MARÇO	Chuvoso	203,21	68,6

Organização: Gomes (2023)

A pesquisa considerou os 25 postos inseridos na área de estudo, e como a distribuição da precipitação também apresenta uma variabilidade no espaço, estabeleceu-se alguns critérios para a seleção dos anos-padrão de cada ano. O primeiro foi a maior quantidade de postos pluviométricos incluídos em cada classe, e depois, caso tenha ocorrido mais anos com a mesma quantidade de postos, optou-se pelo total de precipitação para cada posto. Se for um ano chuvoso, o ano com maior precipitação anual, ou se for um seco, um ano com menor precipitação.

No Quadro 2 estabeleceu-se cores para ajudar a diferenciar as tipologias dos anos-padrão. Os anos classificados como “Extremamente seco” foram representados com a coloração vermelha; a cor azul marinho aparece para os anos “Extremamente chuvoso”; os anos considerados “Normais” estão em destaque na cor cinza; os anos em vermelho mais claro são os considerados “Seco”; e os anos “Chuvosos” com azul mais claro.



2009	N	C	C	C	C	N	N	N	N	C	N	C	N	N	C	C	N	C	C	C	N	N	C	C	C
2010	S	N	S	N	N	S	N	N	N	S	N	C	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
2011	C	C	N	C	C	N	EXC	C	C	C	C	C	C	EXC	C	C	C	C	C	C	N	C	C	N	N
2012	N	EXS	EXS	S	N	EXS	N	S	S	EXS	S	S	S	EXS	N	S	EXS	EXS	EXS	S	EXS	S	S	EXS	EXS
2013	S	C	N	N	N	S	N	EXS	N	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S
2014	N	C	N	N	N	N	N	N	C	N	N	N	S	N	C	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2015	EXS	N	S	S	S	EXS	S	EXS	EXS	S	S	N	S	S	S	EXS	N	S	S	S	S	EXS	S	S	N
2016	S	S	EXS	N	EXS	N	S	S	S	N	EXS	EXS	S	S	EXS	N	S	S	S	S	S	N	N	N	N
2017	C	N	S	S	S	N	N	N	N	N	S	S	N	S	S	S	EXS	S	S	N	N	S	N	S	S
2018	N	C	N	N	C	C	N	N	C	C	C	N	C	N	C	N	N	N	N	C	C	N	N	C	N
2019	S	S	N	N	C	N	N	C	N	S	N	C	EXS	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	C
2020	C	N	C	N	N	C	C	S	C	C	C	N	N	C	N	C	C	C	C	C	C	N	C	C	C
2021	N	N	N	C	S	C	N	C	N	N	N	N	N	C	N	N	S	EXC	N	N	C	C	N	N	N

Organização: Gomes (2023)

Legenda:

ANOS	CATEGORIAS
Seco	S
Normal	N
Chuvoso	C
Extremamente Chuvoso	EXC
Extremamente Seco	EXS

### **Categoria Extremamente Seco**

Os anos que mais se enquadraram neste padrão foram 1983 e 2012, correspondendo ao range de 5% da série. Nesses anos outros padrões apareceram como o “Normal”, 1983 em 2 postos e “Seco” em 15 postos, já em 2012 o “Normal” apareceu em 04 postos e “Seco” em 10 postos, mas em todos os postos as precipitações ocorreram bastante reduzidas. Os anos de 1993, 1998, 2015, 2016 também apresentaram dados bem abaixo da média histórica. O total anual de precipitação observada dos postos registrada para 1983 foi de 490,58 mm, 1993 com 534,348 mm, 1998 com 557,328 mm, 2012 de 479,804 mm, 2015 com 543,78 mm e 2016 com 555,504 mm sendo os anos de 1983 e 2012 classificados como “Extremamente Seco”.

### **Categoria Extremamente chuvoso**

Esta classe abrangeu o ano de 1985 para todos os postos, com exceção de Salitre, posto que apresentou ausência de dados neste ano. Dentro da série histórica é o ano com maior volume de chuva registrada no Estado do Ceará. Outros anos também apresentaram um grande número de postos, como é o caso de 1989 com 11 postos, mas nenhum outro ano supera o 1985. A média de 1985 registrada para a MSC ficou em torno de 1679,33 mm. Portanto, o ano 1985 é o mais representativo neste padrão, e logo em seguida 1989.

### **Categoria Normal**

Este padrão é o mais recorrente da série histórica, sendo que 21 anos se encontram na categoria normal. Os anos que mais se enquadraram foram 1994, 2000 e 2014, o ano 2000 com 22 postos e 1994 e 2014 ambos com 21 postos. Os anos de 2007 e 2010 seguem em segunda posição com 18 postos. Desses anos o de 1994 apresentou um total anual de 853 mm, 2000 com 833,08 mm, 2007 com 728,35 mm, 2010 com 732,43 mm e 2014 com 770 mm. Portanto, os anos que mais se enquadraram nessa categoria foram os anos de 1994, 2000 e 2014, por apresentarem uma maior quantidade de postos nesta categoria, e por possuírem a média anual bem próxima da média da série histórica.

### **Categoria Seco**

Esta categoria o ano que mais apresentou um maior número de postos foi 1993 com 17 postos dos 25 analisados. Os anos de 1982, 1983 e 2015 também se enquadram nesta posição com 15 postos e 1998 com 14 postos. Porém, o ano 1983 representa o padrão “Extremamente Seco”. O total de chuvas observada em 1982 foi de 574,03 mm, 1993 com 534,348 mm, 1998 com 557,328 mm e 2015 com 543,78 mm são anos que estão bem abaixo da média histórica.

## **Categoria Chuvoso**

Neste padrão o ano mais representativo com o maior número de postos foi 2004 com 20 postos. Outros anos também apresentam uma alta quantidade de postos, 1996 com 19 postos, 2008 com 16 postos, 2011 com 18 postos e 2020 com 17 postos. A média anual registrada em 1996 foi de 1135,49 mm, 2004 com 1203,7 mm, 2008 com 1114,52 mm e 2011 com 1123,8 mm. Diante deste cenário, elegeu-se 2004 como representativo do padrão “Chuvoso” por apresentar uma maior quantidade de postos e média pluviométrica observada.

Essa variabilidade das chuvas encontradas na área de estudo pode-se relacionar em grande parte com as condições oceânicas do Pacífico e do Atlântico. Ao longo da série identificou-se El Niño de categoria “Forte” (1982/1983, 1993, 1997/1998, 2015/2016), e outros eventos na categoria “Frac” ou “Moderada”. De um modo geral em anos com El Niño “Forte” tem-se grande repercussão para o regime de chuvas na região, sendo estas abaixo da média, gerando anos “Seco” ou “Extremamente Seco”. O ano de 1983 como El Niño “Forte”, apenas 03 postos apresentaram a categoria “Normal” (Abaiara, Mauriti e Salitre), o restante, apresentaram o padrão Seco (15) ou Extremamente Seco (07). Em 1983 os postos com menor total pluviométrico foram Potengi com apenas 256,5 mm e Assaré com 272,8 mm (sendo a média destes dois postos em torno dos 600 mm).

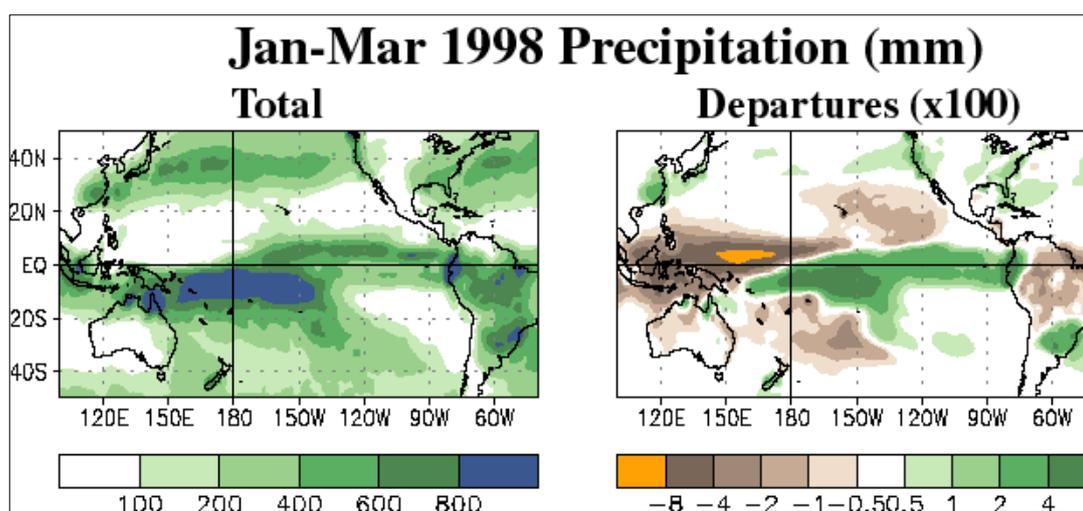
O fenômeno El Niño pode levar a mudanças em grande escala nas pressões do nível do mar, temperaturas da superfície do mar, precipitação e ventos, não apenas nos trópicos, mas em muitas outras regiões do mundo (NOOA, 2023). Um estado de El Niño ocorre quando as temperaturas da superfície do mar do Pacífico equatorial central e oriental são substancialmente mais quentes do que o normal causando períodos de grandes secas na região estudada.

Outro El Niño Forte se deu entre os anos de 1997 e 1998. No ano 1997 não foi tão evidente, pois a maioria dos postos apresentaram 16 na categoria “Normal”, e de acordo com o ONI quadro 02 no início do ano, o evento estava classificado como “Neutro”, porém, o fenômeno foi se intensificando em meados do trimestre Maio-Junho-Julho (quando as chuvas já diminuem na área de estudo), e repercutiu no ano seguinte. No início de 1998, o El Niño já se configurava na categoria “Forte”. A maioria dos postos (14) ficaram na categoria “Seco”. O posto com menor precipitação anual para 1998 foi Potengi com 197,3 mm.

Na Figura 29, do lado esquerdo, os totais de precipitação sazonal durante as fortes condições de El Niño de janeiro a março de 1998 são mostrados no Oceano Pacífico, nos Estados Unidos e na América do Sul. A maior precipitação em unidades de milímetros (mm) é mostrada pelas cores verde e azul mais escuras, e a menor precipitação é mostrada pelas cores verdes mais

claras (NOOA, 2023). Do lado direito, são mostradas as variações sazonais das chuvas de janeiro a março de 1998 em relação à média, as áreas com chuvas bem acima da média são mostradas por cores verdes mais escuras, e as áreas com chuvas bem abaixo da média são mostradas pelas cores marrom e amarelo mais escuras (NOOA, 2023). Verifica-se que os totais de precipitação sazonal foram em torno de 400 mm ao sul do equador ao longo da Linha Internacional de Data. Já as precipitações consideráveis ocorreram mais ao norte sobre o centro e leste do Pacífico Norte e no oeste e sudeste dos Estados Unidos favorecendo chuvas na região. A partir disso, percebe-se que em anos El Niño forte as chuvas são bem escassas em algumas regiões (área de estudo), já em outras os totais pluviométricos são acima do esperado.

**Figura 29 - Padrões de Chuvas Relacionados ao El Niño sobre o Oceano Pacífico**



Fonte: NOAA (2023).

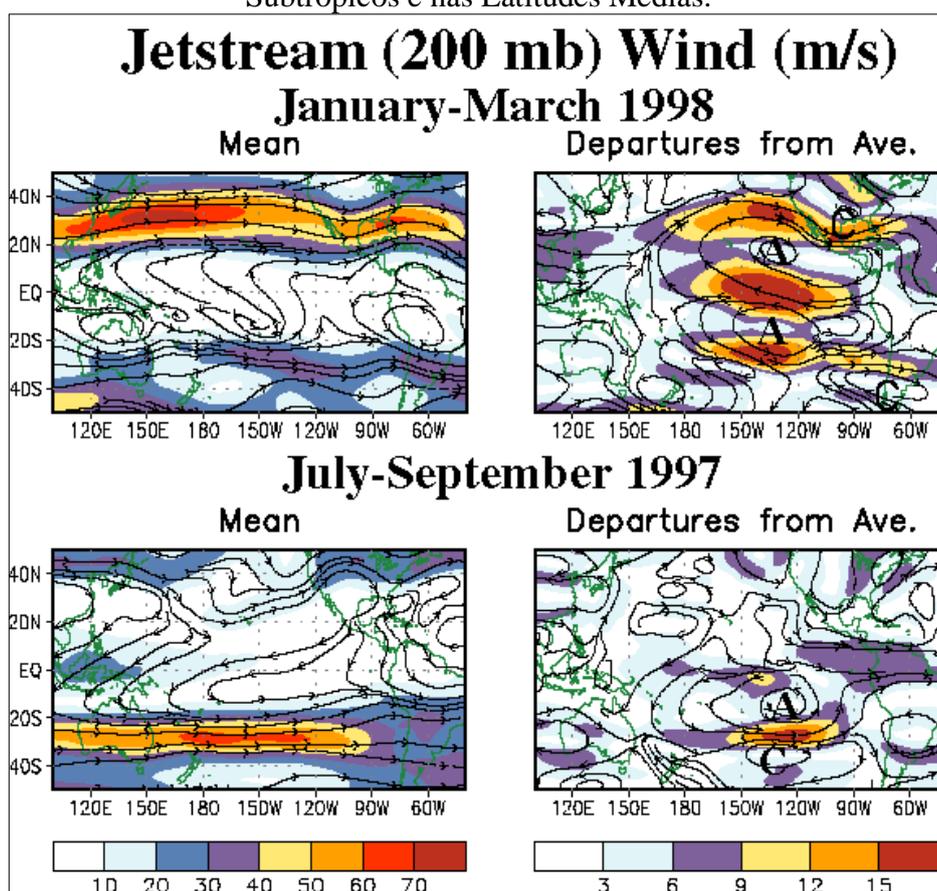
Na figura 30, abaixo, durante os episódios de El Niño entre os anos de 1997 e 1998, uma anomalia de circulação anticiclônica (A's) de nível superior em grande escala é evidente em ambos os hemisférios nas latitudes subtropicais do Pacífico oriental. Esse dipolo de anomalia anticiclônica apresenta ventos de oeste aprimorados ao longo de seus flancos polares nas latitudes médias de ambos os hemisférios e ventos anômalos de leste em todo o Pacífico equatorial oriental (NOOA, 2023). Nos subtropicais e nas latitudes médias, essas anomalias refletem a extensão para leste da cordilheira subtropical observada acima, bem como a extensão para leste das correntes de jato de inverno bem a leste da linha de datação. Nos Trópicos, eles são consistentes com uma força reduzida da Circulação de Walker equatorial típica de episódios de El Niño.

Os anos de 2015/2016, com a ocorrência El Niño “Forte”, também influenciaram nas chuvas da MSC, pois os postos apresentaram média anual abaixo do esperado, sendo o ano de

2015, um dos que obteve a maior quantidade de postos na categoria “Seco” com 15, e o restante distribuído na categoria “Extremamente Seco” 06 e apenas 04 na “Normal”. Em 2015, Araripe registrou apenas 233,6 mm (média anual 645,06 mm).

A La Niña na categoria “Forte” registra nos anos de 1988/1989, 1999/2000, 2007/2008 e 2011. A La Niña do tipo “Moderada” a “Fraca” também propiciou chuvas em torno da média ou acima desta nos anos 1985, 1996, 2018, 2020. O ano padrão de 2011 como “Chuvoso” apresentou La Niña no início do ano, logo depois também apresentou um Dipolo Negativo, contribuindo significativamente nas chuvas.

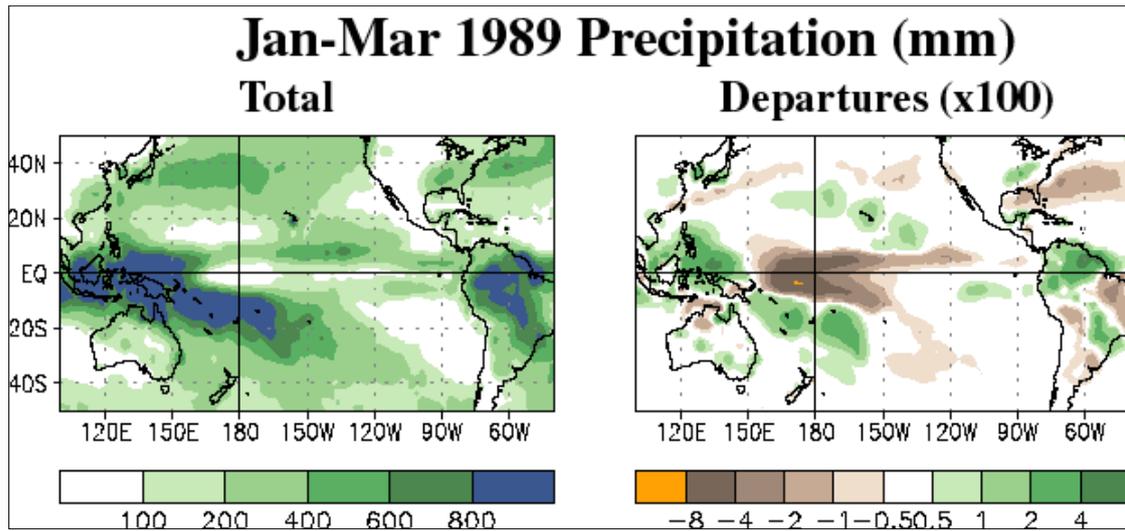
**Figura 30 - Mudanças relacionadas ao El Niño na Circulação Atmosférica nos Subtrópicos e nas Latitudes Médias.**



Fonte: NOAA (2023)

Na Figura 31, visualiza-se os totais de chuvas sazonais no Oceano Pacífico, nos Estados Unidos e na América do Sul durante janeiro-março de 1989, quando fortes condições de La Niña estavam presentes. A maior precipitação é mostrada pelas cores verde e azul mais escuras, e a menor precipitação é mostrada pelas cores verdes mais claras (NOAA, 2023).

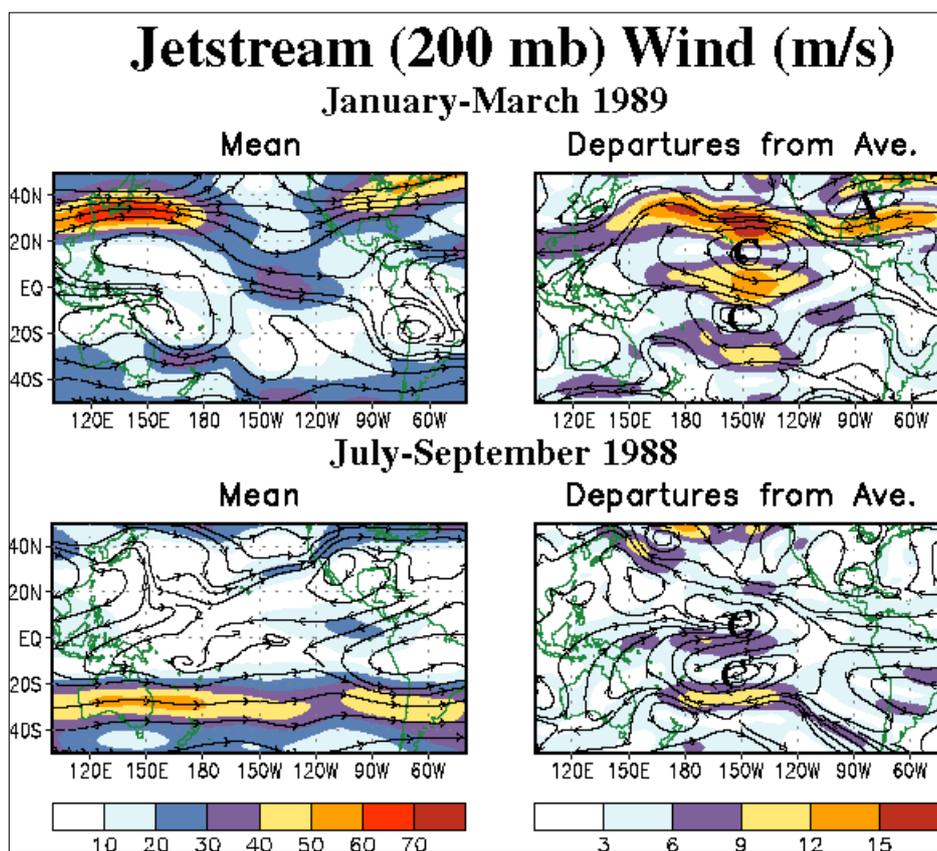
**Figura 31** - Padrões de Chuvas Relacionados à La Niña sobre o Oceano Pacífico



Fonte: NOAA (2023)

Durante os episódios de La Niña de janeiro/março de 1989 (Figura 31), há uma ausência de atividade convectiva na metade leste do Pacífico equatorial e uma retração geral para oeste da convecção tropical profunda e aquecimento troposférico profundo em direção ao Pacífico ocidental. Esse padrão de aquecimento anômalo atua para retrain as cordilheiras subtropicais em ambos os hemisférios a oeste da linha de data e para reduzir a diferença de temperatura norte-sul a leste da linha de data nos subtrópicos de ambos os hemisférios (NOAA, 2023). Essas condições são geralmente mais proeminentes durante o inverno do respectivo hemisfério, quando contribuem para uma retração para oeste da corrente de jato de latitude média em direção ao Pacífico ocidental. No geral, essas condições refletem um aumento do contraste leste-oeste tanto na temperatura quanto nos ventos na bacia do Pacífico.

**Figura 32** - Mudanças relacionadas ao La Nina na Circulação Atmosférica nos Subtrópicos e nas Latitudes Médias.



Fonte: NOAA (2023).

Em relação ao Dipolo do Atlântico (Figura 22), na sua fase negativa do Dipolo, favorece as chuvas na Mesorregião Sul Cearense, especialmente, quando ocorre juntamente com uma La Niña do tipo “Forte”. A fase Negativa do Dipolo cita-se: 1984, 1985, 1987, 1989, 1994/1995, 2008, 2009, 2011, 2019. O ano de 1985 foi “Extremamente Chuvoso”, e o que contribuiu foi a atuação do Dipolo Negativo juntamente com uma La Niña, na categoria mais enfraquecida. O ano 1989 foi “Extremamente Chuvoso”, coincidindo com La Nina “Forte” e o Dipolo na sua fase Negativa.

Outro ponto é que as condições oceânicas do Atlântico podem mudar de um mês para outro, fato ocorrido em 2011, que em janeiro demonstrava um Dipolo Positivo, mas em fevereiro o dipolo já se configurava como “Negativo”, e mesmo com um enfraquecimento da La Niña posteriormente, o ano de 2011 foi bastante chuvoso, com 17 postos na categoria “Chuvoso”.

A fase positiva destaca-se nos anos 1982, 1990, 1997/1998, 2002, 2005, 2010, 2012, 2013. Observa-se que em 1998 tanto o El Niño, como o Dipolo Positivo, favoreceu o ano seco com chuvas mais escassas. Em 2012, apesar de uma La Niña moderada no início do ano segundo o ONI, o Dipolo Positivo fez com que a quadra chuvosa do ano fosse bastante seca. Em 2012 também

teve início um grande período de seca no estado do Ceará, assim como no semiárido nordestino, que durou até meados de 2017. O posto que obteve a menor precipitação em 2012 foi Salitre com 85 mm (média anual de 789,34).

Contudo, a dinâmica climática predominante na mesorregião não depende apenas do Oceano Pacífico, o cenário é mais favorável quando as águas do Atlântico Sul estão mais quentes e o Atlântico Norte mais frias que o normal, e as do Pacífico estão mais frias (períodos de La Niña).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dinâmica pluviométrica da Mesorregião Sul Cearense foi estabelecida a partir da técnica do *Box Plot* aplicada a série histórica 1981-2021. A técnica estatística do *Box Plot* é interessante sob vários aspectos, uma vez que permite identificar padrões de anos secos e chuvosos e aqueles próximos à média incluindo os extremos a partir de critérios relacionados ao estabelecimento das medianas evitando a contaminação pelos valores extremos. No entanto, essa técnica pode ser potencializada quando utilizada em conjunto com outras ferramentas e/ou informações, nesta pesquisa estabeleceu-se uma relação com os anos-padrões.

Os resultados obtidos pelo *box-plot* mostrou-se eficaz para o estabelecimento dos anos-padrões na área de estudo, correspondendo à realidade da Mesorregião Sul Cearense, tendo em vista a variabilidade da precipitação. Todavia os dados gerados a partir da técnica do *Box Plot* podem auxiliar no planejamento das atividades humanas que dependem direta ou indiretamente das chuvas, como a agricultura e a produção de energia, constituindo-se em uma importante ferramenta no estudo da variabilidade das chuvas.

Os anos-padrão, criteriosamente selecionados pelo método de Tavares (1976), representaram com fidelidade as condições climáticas, destacando-se que por meio deste, foi possível compreender o dinamismo regional das chuvas para MSC, com base em uma análise particular dos 25 postos pluviométricos realizada pela interpretação dos dendrogramas, que associados a produção de mapas e as condições dos oceanos, permitiram uma noção regional do comportamento da precipitação no território sul cearense.

A distribuição sazonal das precipitações demonstra que o regime pluviométrico está concentrado em 6 meses do ano: dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio, tendo o mês de março como o mês “Extremamente Chuvoso”, sua precipitação ultrapassa a média esperada para série histórica chegando a mais 200 mm. Na maioria das vezes esse alto índice pluvial está relacionado com atuação da ZCIT, a mesma apresenta-se como principal sistema atmosférico responsável pela precipitação para o Ceará.

A mesorregião apresenta alguns tipos climáticos devido a vários fatores que acabam por delimitar tipos paisagísticos, entre eles aspectos morfológicos. As áreas de chapadas apresentam altitudes elevadas, sendo consideradas áreas de exceção climática por apresentarem um total pluviométrico superior à média trazida pela série histórica. No decorrer da pesquisa nota-se que a dinâmica pluvial da MSC sofre influência nitidamente de dois tipos de relevo (Figura 5). Alguns postos apresentaram médias superiores 827 mm (figura 26), como é o caso do posto Crato (1094 mm) e Barbalha (1047 mm), municípios que se encontram a barlavento da Chapada do Araripe e

são considerados os dois mais chuvosos na área de estudo. Os postos situados mais distantes da chapada, e que adentram a depressão sertaneja, as precipitações, são mais escassas, e o posto pluviométrico com menor média é o de Salitre com 534,32mm. Esse município encontra-se a oeste da MSC, posicionado em uma vertente mais à sotavento da direção da umidade dos ventos.

Os oceanos exerceram influência para a distribuição das chuvas, especialmente nos anos em que os fenômenos são mais intensificados. Muitos trabalhos (Ferreira e Melo, 2005; Lucena, 2008 e 2011, por exemplo) mostram a influência do Oceano Atlântico Tropical na distribuição das chuvas nas regiões tropicais do continente Sul-Americano, principalmente sobre o setor Nordeste do Brasil.

Esses trabalhos mostram que o El Niño, quando acontece conjuntamente com o dipolo positivo do Atlântico (Dipolo do Atlântico: diferença entre a anomalia da Temperatura da Superfície do Mar-TSM na Bacia do Oceano Atlântico Norte e Oceano Atlântico Sul), que é desfavorável às chuvas, causam anos secos ou extremamente secos no NEB. Um exemplo na área de estudo são os anos de 1981, 1982, 1983, 2012, considerado “Secos” ou “Extremamente Secos”, coincidindo com El Niño “Forte” e o Dipolo na sua fase Positiva.

O fenômeno La Niña (resfriamento anômalo das águas do oceano Pacífico), associado ao dipolo negativo do Atlântico (favorável às chuvas), é normalmente responsável por anos considerados normais, chuvosos ou extremamente chuvosos na região. Um exemplo para o recorte espacial da pesquisa são os anos de 1985 e 1989 considerados “Extremamente Chuvoso”, coincidindo com La Nina “Forte” e o Dipolo na sua fase Negativa.

Ainda, quando as águas do Pacífico estão em condições normais e o dipolo do Atlântico negativo (positivo), a probabilidade de se ter um ano normal ou chuvoso (seco) também é alta. A categoria mais recorrente para MSC foi a categoria “Normal” com 19 anos para cada posto, com exceção de Mauriti, com 18 anos, Nova Olinda com 20 anos, e Salitre, com 17 anos.

É evidente que chuvas na MSC estão concentradas no primeiro semestre do ano, influenciadas principalmente pelos sistemas atmosféricos regionais. A irregularidade anual de chuvas na MSC se torna um fator evidente, comprovado pelos desvios anuais observados, causados em decorrência das condições oceânicas.

Portanto, propõe-se desenvolver para Mesorregião Sul Cearense um estudo fundamentado na análise rítmica proposta por Monteiro (1973) apegado a um forte viés geográfico, que visa além de uma representação espacial do fenômeno pluvial, busca entender a interação oceano-contidente-atmosfera, responsáveis pela dinâmica climática local, regional e global. Espera-se que este trabalho tenha contribuído para o conhecimento na escala de análise geográfica regional e subsidiar futuros trabalhos.

## REFERÊNCIAS

AALTO, J; RIIHIMÄKI, H; MEINER, E; et al. Revealing topoclimatic heterogeneity using meteorological station data. **International Journal of Climatology**, vol. 37, 2017.

ALBUQUERQUE, LS, NÓBREGA, RS, MOREIRA, WAB, MENEZES, RSCA (2019). Relação entre o Relevo e o Clima como Proposição de Caracterização da Fisiologia da Paisagem em Pernambuco, Brasil. *Geo UERJ*, 34, pág. 1-24.

ALVES, J. M. B.; DINIZ, M. C. S. UM ESTUDO PRELIMINAR DE POSSÍVEIS EFEITOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO NORDESTE DO BRASIL. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 2, p. 11-18, 2009.

AMADOR, M. C; SILVA, C. A. O preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação: o método de ponderação regional associado ao HIDRO-PLU e o HIDROWEB. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Seção Três Lagoas - V. 1, Nº 31, 2020.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; GUEDES, R. L.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. A Influência da Temperatura da Superfície do Mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Variabilidade de Precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 19(3): 337-344, 2004.

ANDREOLI, R.V., OLIVEIRA, S.S., KAYANO, M.T., VIEGAS, J., SOUZA, R. A. F., & CANDIDO, L. A. The influence of different El Niño types on the South American rainfall. *Int. J. Climatology*, 3, 1374-1390, 2017. doi: 10.1002/joc.4783.

ARAGÃO, J.O.R. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil, **Bulletin. Institute Français Études Andines**, Paris, v.3, p.839-844, 1998b.

ARAÚJO, F. S. de, MARTINS, F. R. e SHEPHERD, G. J. Variações estruturais e florísticas do carrasco no planalto da Ibiapaba, estado do Ceará. **Revista Brasileira de Biologia** [online]. 1999, v. 59, n. 4 [Acessado 20 março 2022], pp. 663-678. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0034-71081999000400015>>. Epub 05 Abr 2001. ISSN 0034-7108. <https://doi.org/10.1590/S0034-71081999000400015>.

BARROS, J. **A chuva no Distrito Federal: o regime e as excepcionalidades do ritmo**. 2003. 221 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro/SP. 2003.

BARROS, J. R.; ZAVATTINI, J. A. BASES CONCEITUAIS EM CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA (the conceptual bases in geographical climatology). **Mercator**, Fortaleza, v. 8, n. 16, p. 255 a 261, oct. 2009. ISSN 1984-2201. Available at: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/289>>. Date accessed: 21 oct. 2021.

BOIN, M. N. **Chuvvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada**. 2000. 264f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000. Brasília, DF: INMET, 2009. Páginas: 119 p.

BRANDÃO, R. L. de; FREITAS, L. C. B. **Geodiversidade do estado do Ceará**. CPRM, Fortaleza, 2014.

CAI, W. H.; YANG, Y. Z.; YANG, J.; et al. Topographic variation in the climatic change response of a larch forest in Northeastern China. **Landscape Ecology**, vol. 33, 2018.

CARVALHO, M. B. S.; SOUZA, M. J. N.; SANTOS, M.; ALMEIDA, M. A. G.; FREITAS FILHO, M. R. de. 2007. **Compartimentação geoambiental da mesorregião do sul cearense**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 3797-3803, 2007. Disponível: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.02.18.55/doc/3797-3803.pdf>. Acessado: 08 de março de 2020.

CARTON, J.A.; CAO, X.; GIESE, B.S.; da SILVA, A.M. Decadal and interannual SST variability in the tropical Atlantic Ocean. **Journal Physical Oceanography**, 26, 1165 - 1175, 1996.

CAVALCANTI, A. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, F. H. B. B.; OLIVEIRA, S. B. P.; TAVARES, S. C. C. de H.; CARVALHO, M. S. B. S.; SILVA, D. F.; SILVEIRA, H. L. F.; BARRETO, R. N. C. **Potencial de terras para irrigação da mesorregião do sul cearense: para compatibilizar com a disponibilidade dos recursos hídricos**. Embrapa Solos, Recife, 2009.

CONTI, J. B. Circulação secundária e efeito orográfico na gênese das chuvas na região nordeste Paulista. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1975. série **Teses e Monografias, n° 18; Série Teses e Monografias** - Instituto de Geografia. Universidade de São Paulo, n° 18.

CORRÊA, R. L. Região e organização espacial. 2ª edição. São Paulo: **Ática**, 1987.

COSTA, J. A. O FENÔMENO EL NIÑO E AS SECAS NO NORDESTE DO BRASIL. **Revista Científica do IFAL**, v. 1, n. 4, jan./jul. 2012.

DINIZ, M. T. M.; SOUZA, R. M. e. Interações atmosfera-terra-oceano e suas repercussões na precipitação média registrada no leste da Região Nordeste do Brasil. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 13, n. 3, p. 244–262, 2019. DOI: 10.5216/ag.v13i3.53280. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/ateliê/article/view/53280>. Acesso em: 6 janeiro. 2023.

ELY, Deise Fabiana. **Teoria e método da climatologia geográfica brasileira: uma abordagem sobre seus discursos e práticas**. 2006. 208 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente.

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**, Curitiba/PR, v.1, n° 1. p.15-28, 2005.

FREITAS, R. Regiões metropolitanas: Uma abordagem conceitual. **Revista Humanae**. v.1, n. 3, p. 44-53, Dez. 2009.

FUNCEME, **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos**. Base de dados pluviométricos. Fortaleza: Disponível em <[www.funceme.br](http://www.funceme.br)>. Acesso em 09 de janeiro de 2022.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos – Mesorregião do sul cearense**. Fortaleza, 2012. Disponível em: [http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/LEVANTAMENTO\\_DE\\_RECONHECIMENTO\\_DOS\\_SOLOS.pdf](http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/LEVANTAMENTO_DE_RECONHECIMENTO_DOS_SOLOS.pdf). Acesso em: 03 abr. 2022.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos**. Fortaleza, 2018. Disponível em <[http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/16-Mapa\\_CE\\_Solos\\_A2.pdf](http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/16-Mapa_CE_Solos_A2.pdf)>. Acesso em: 03 mar. 2022.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Unidades Fitoecológicas**. Fortaleza, 2018. Disponível em <[http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/15-Mapa\\_CE\\_Fitoecologico\\_A2.pdf](http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/15-Mapa_CE_Fitoecologico_A2.pdf)>. Acesso em: 03 mar. 2022.

GAN, M. A; KOUSKY, V. E. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**; 1986, v1, 19-28.

GENG, H.; PAN, B.; HUANG, B.; CAO, B.; GAO, H. The spatial of precipitation and topography in the Qilian Shan Mountains, northeastern Tibetan Plateau. **Geomorphology**. V.297, p.43-54, 2017.

GRIMM, A.M. Variabilidade interanual do Clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; DA SILVA, M.G.A.J.; SILVA DIAS, M.A.F. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

HOPPE, I. L.; WOLMANN, C. A. Análise da Precipitação Pluviométrica e a Presença de Nevoeiros no Entorno Próximo do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Dona Francisca em Agudo/RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 22, nº 14, p. 133-148, 2018.

IBGE. **Divisão do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

IBGE. **Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/apps/regioes\\_geograficas/](https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/) . Acesso em: 09 mar. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **MAPEAMENTO DE RECURSO NATURAIS DO BRASIL**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/geomorfologia/vetores/escala\\_250\\_mil/DOCUMENTACAO\\_TECNICA\\_MRN.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/vetores/escala_250_mil/DOCUMENTACAO_TECNICA_MRN.pdf). Acesso em: 09 de agosto de 2023.

IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em Mapas**. Fortaleza, 2020. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/> Acesso em: 31 mar. 2022.

IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Mapa Exploratório de Solos**. Fortaleza, 2020. Disponível em: <[http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/pdf/solos\\_2020.pdf](http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/pdf/solos_2020.pdf)>Acesso em: 31 mar. 2022.

JOHNSON, F.; HUTCHINSON, C.; BEESLEY, C.; GREEN, J. **Journal of Hydrology**. V.533, p.439-451, 2015.

- KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in the Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, Boston, v.108, n.4, p. 488 – 498. 1980.
- LIMA, A. P; AMORIM, M. C. C. T. Análise de episódios de alagamentos e inundações urbanas na cidade de São Carlos a partir de notícias de jornal. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, p. 182-204, 2014.
- LUCENA, D. B. **Impacto dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima do Nordeste do Brasil**. 2008. 225 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB. 2008.
- LUCENA, D.B; GOMES FILHO, M. F.; SERVAIN, J. Avaliação do impacto de eventos climáticos extremos nos oceanos pacífico e atlântico sobre a estação chuvosa no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 297 312, June 2011.
- MACHADO, L. A; ASSIS, W. L. Proposta metodológica de mapeamento de unidades topoclimáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 186-204, 2017.
- MAGALHÃES, B. G; ZANELLA, M. E. COMPORTAMENTO CLIMÁTICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA. **Mercator** - Revista de Geografia da UFC, vol. 10, núm. 23, septiembre-diciembre, pp. 129-145, 2011. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273621468011>.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina dos textos, 2007.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n.1, p. 1-10, 2002.
- MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas do estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de atlas**. São Paulo: IGEOG, 1973.
- MONTEIRO, C. A. F. Análise Rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. São Paulo/SP: Universidade de São Paulo/Instituto de Geografia, 1971. 21 p. (**Série Climatologia n°1**).
- MONTEIRO, C. A. F. Da Necessidade de um Caráter Genético à Classificação Climática: Algumas considerações metodológicas a propósito do estudo do Brasil Meridional. **Revista Geográfica**. Rio de Janeiro/RJ, v. 31, n. 57, p. 29-44, 1962.
- MORO, F. M. *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rod/v66n3/2175-7860-rod-66-03-00717.pdf> . Acesso em: 03 abr. 2022.
- MOURA, G. B. A.; ARAGÃO, J. O. R.; LACERDA, F. F.; PASSAVANTE, J. Z. O. Relação entre a precipitação no setor Leste do Nordeste do Brasil e a Temperatura da Superfície nos Oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.247-251, 2000.
- NIMER, E. Clima. In: BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil**: Região Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro/RJ: IBGE, 1979. p. 421.

NOAA. Cold & Warm Episodes by Season. 2022. Disponível em: Climate Prediction Center - ONI (noaa.gov). Acesso em 11 de agosto de 2022.

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**, [S.l.], v. 18, out. 2016. ISSN 2237-8642. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/43657>>. Acesso em: 07 maio 2023. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v18i0.43657>.

PÉDELABORDE, P. **Introduction à l'étude scientifique du climat**. Paris: SEDES, 1970. 246p.

PEDRAS, L. R. V. A paisagem em Alexander von Humboldt o modo descritivo dos quadros da natureza. **REVISTA USP**, São Paulo, n.46, p. 97-114, junho/agosto 2000.

PEREIRA, M. D. B. **Dinâmica climática e as chuvas na região da Zona da Mata, Nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia) -Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa/PB, 2018.

PEREIRA, T. Influência do relevo na precipitação das regiões hidrográficas do litoral norte de alagoas. **GEOUSP-espaço e tempo**, n.33, p.239-253, 2013.

PRATA, E. M. B; TEIXEIRA, A. de P; JOLY, C. A; et al. The role of climate on floristic composition in a latitudinal gradient in the Brazilian Atlantic Forest. **Plant Ecology and Evolution**, vol. 151, no. 3, 2018.

REBOITA, M.S., AMBRIZZI, T., CRESPO, N.M., DUTRA, L.M.M., FERREIRA, G.W.d.S., REHBEIN, A., DRUMOND, A., da ROCHA, R.P. and SOUZA, C.A. (2021), Impacts of teleconnection patterns on South America climate. **Ann. N.Y. Acad. Sci.** DOI: 10.1111/nyas.14592

RIBEIRO, S. C. Caracterização geoambiental da Sub-bacia do rio Salgado na mesorregião do sul cearense – Parte I – Clima e Arcabouço Geológico. **GEOCONEXÕES**, 2017, v.1. p.4-16. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/6290/pdf> . Acesso em: 09 abr.2022.

RIBEIRO, S. C. **Dinâmica da paisagem: relação entre os elementos naturais e o uso do solo no município do Crato/CE (1960-1997)**. Rio Grande do Norte: UFRN, 1997 (Especialização em Geografia do Nordeste).

RIBEIRO, S. C. **Etnogeomorfologia sertaneja: proposta de classificação das paisagens da sub-bacia do rio Salgado/CE com base no conhecimento tradicional sobre relevo e seus processos**. Crato: RDS gráfica e editora, 2014.

RIBEIRO, C. M. O Desenvolvimento da Climatologia Dinâmica no Brasil. **Revista Geografia e Ensino**, Belo Horizonte/MG, v. 1, n.2, p. 48-59, Set. 1982.

SANT'ANNA NETO, J. L. **As Matrizes da Construção da Climatologia Geográfica Brasileira**. In: MONTEIRO, C. A. F.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA. F. A.; ZAVATTINI, J. A.(Org.). **A Construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. Campinas/SP: Editora Alinea, p. 7 – 60. 2015.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da climatologia Geográfica à Geografia do Clima, Gênese, Paradigma e Aplicações do clima como Fenômeno geográfico. *Revista AMPEGE*, Dourados/MS, n.º.4, p. 61 - 88, 2008.

SERVAIN, J. Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. *Journal of Geophysical Research*, 96, 15.137 – 15.146, 1991.

SILVA, J. M. O; GOMES, J. F. **ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA NA SUB-BACIA DO RIO SALGADO/CE E A IDENTIFICAÇÃO DE ANOS-PADRÃO**. XIV Simpósio Brasileiro De Climatologia Geográfica, João Pessoa, v. 1. p. 3598 - 3612, 2021.

SILVA, M. R; MOURA, F. P. de; JARDIM, C. H. O diagrama de caixa (Box Plot) aplicado à análise da distribuição temporal das chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.10, n.01, p. 23-40, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170003>.

SOARES, L.P. **Caracterização climática do Estado do Ceará com base nos agentes da circulação regional produtores dos tipos de tempo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/17688> . Acesso em: 28 mar. 2022.

SORRE, M. **Objeto e método da climatologia**. Revista do Departamento de Geografia–USP, São Paulo/SP, n.18, p. 89-94, 2006.

SOUZA, C. A. de; REBOITA, M. S. Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão na América do Sul. *Terrae Didactica*, Campinas, SP, v. 17, n. 00, p. e02109, 2021. DOI: 10.20396/td.v17i00.8663474

SOUZA, C. F. **Dinâmica climática e as chuvas no Nordeste Brasileiro no eixo Barra do Corda/MA – Natal/RN (relações com o fenômeno El Niño)**. 1998. Tese (Doutorado em Geografia (Geografia Física)) - Universidade de São Paulo.

SOUZA, E.B; ALVES, J.M.B. Estudo diagnóstico de um complexo convectivo de mesoescala observado no norte do Nordeste brasileiro. IN: **Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia**. Brasília, DF. 1998.

SOUZA, J.O.P.; ALMEIDA, J.D.M.; CORREA, A.C.B. Caracterização e espacialização em bacia hidrográfica com relevo complexo: Sertão Central pernambucano – bacia do Riacho do Saco. *Revista de Geografia (UFPE)*, v.32, n.2, p.106-126, 2015.

SOUZA, M. J. N. Compartimentação Topográfica do Estado do Ceará. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 9, 1979.

SOUZA, M.J.N. Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do estado do Ceará. *Revista de Geologia*, Fortaleza, v. 1, p. 73-91, 1988.

SOUZA, E. B. de; NOBRE, P. Uma revisão sobre o Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico tropical. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 13, n. 1, p. 31-44, 1998.

TARIFA, J. R. Sucessão de tipos de tempo e variação do balanço hídrico no extremo oeste paulista (ensaio metodológico aplicado ao ano agrícola de 1968/1969). São Paulo: Instituto de Geografia da USP, 1973. (**Série Teses e Monografias, 8**).

TAVARES, A. C. Critérios de escolha de anos padrões para análise rítmica. **Geografia**, n.1, v.1, Rio Claro, abril 1976, p.79-87.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. Bulletin of the American Meteorology Society, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997. Disponível em: <https://www.cgd.ucar.edu/staff/trenbert/trenberth.papers/defnBAMS.pdf>. Acesso: 20 de agosto de 2021.

TUCCI, C. E.M; SILVEIRA, A. L.L. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 3ª Ed. 2004, 943 p. vol. 1, nº 3, Recife: 2009. p.44-53.

VITTE, A. C.; SILVEIRA, R. W. D. Natureza em Alexander von Humboldt: entre a ontologia e o empirismo. **Mercator** - volume 9, número 20, 2010: set./dez.

WANDERLEY, L. S. A. **Proposta de classificação climática da Região Nordeste do Brasil baseada na abordagem sinótica dos tipos de tempo**. 2020. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

WANDERLEY, L. S. de A.; NÓBREGA, R. S. Desenvolvimento de um sistema de classificação climática com base na metodologia dos tipos sinóticos de tempo para a Região Nordeste do Brasil. **GEOUSP Espaço e Tempo** (Online), [S. l.], v. 26, n. 1, p. e-175243, 2022. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2022.175243. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/175243>. Acesso em: 8 maio. 2023.

WOOLMAN, C. A; SIMIONI, J. P. D. Caracterização e variabilidade interanual da precipitação pluviométrica na Estação Ecológica do Taim, Rio Grande do Sul, no período de 1996 a 2009. **Revista Eletrônica Georaguaia**. Barra do Garças - MT. V 6, n.1, p 1 a 18.

ZANELLA, M. E. Caracterização Climática e os recursos hídricos do Estado do Ceará. In: José Borzacchiello da Silva; Eustógio Wanderlei Dantas; Tércia Cavalcante. (Org.). **Geografia do Ceará: um novo olhar geográfico**. 2aed.Fortaleza: Ed. Demócrito Rocha, 2007, v. 169, p. 188-.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n.36, Volume Especial, p. 126-142, 2014.

ZAVATTINI, J. A. **A Climatologia Geográfica Brasileira, o Enfoque Dinâmico e a Noção de Ritmo Climático**. GEOGRAFIA, Rio Claro/SP, v. 23, n. 3, p. 5 - 24, Dez. 1998.

ZAVATTINI, J. A. O Paradigma da Análise Rítmica e a Climatologia Geográfica Brasileira. **GEOGRAFIA**, Rio Claro/SP, v. 25, n. 3, p. 25 - 43, Dez. 2000.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia Geográfica: teoria e prática de pesquisa**. Campinas: Alínea, p. 152. 2013.