



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

AUDIVAN RIBEIRO GARCÊS JÚNIOR

**VARIABILIDADE DA CHUVA E DESASTRES ASSOCIADOS À DINÂMICA
HIDROCLIMÁTICA NO ESTADO DO MARANHÃO**

FORTALEZA

2022

AUDIVAN RIBEIRO GARCÊS JÚNIOR

VARIABILIDADE DA CHUVA E DESASTRES ASSOCIADOS À DINÂMICA
HIDROCLIMÁTICA NO ESTADO DO MARANHÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em geografia. Área de concentração Dinâmica territorial e ambiental.

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Elisa Zanella.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G196v Garcês Júnior, Audivan Ribeiro.
 Variabilidade da Chuva e Desastres associados à Dinâmica Hidroclimática do estado do Maranhão / Audivan Ribeiro Garcês Júnior. – 2022.
 224 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2022.
 Orientação: Prof. Dr. Maria Elisa Zanella.
1. Variabilidade Climática. 2. Pluviosidade. 3. Desastres. 4. Climatologia do Maranhão. I. Título.

CDD 910

AUDIVAN RIBEIRO GARCÊS JÚNIOR

VARIABILIDADE DA CHUVA E DESASTRES ASSOCIADOS À DINÂMICA
HIDROCLIMÁTICA NO ESTADO DO MARANHÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em geografia. Área de concentração Dinâmica territorial e ambiental.

Aprovada em: 25/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Maria Elisa Zanella - Orientadora
(Departamento de Geografia/UFC)

Prof^a Dr^a Meiry Sayuri Sakamoto
(FUNCEME/UECE)

Prof. Dr. Ronaldo Rodrigues Araújo
(Departamento de Geociência/UFMA)

Prof. Dr. Flávio Rodrigues do Nascimento
(Departamento de Geografia/UFC)

Prof. Dr. Manuel Rodrigues de Freitas Filho
(FUNCEME/UECE)

À minha avó, Valdecy Ribeiro (*in
memorian*).

À minha família.

AGRADECIMENTOS

A caminhada até aqui foi sustentada e orientada por muita gente, talvez por isso esta jornada se encerra de forma tão leve e prazerosa. O desejo de cursar um doutorado era algo almejado desde o início da graduação em Geografia na Universidade Federal do Maranhão, felizmente encontrei muitos professores/orientadores que foram inspiração e fizeram com que meu desejo pela pesquisa e também pela docência só aumentasse. Nestes últimos anos através dos eventos, minicursos, oficinas, conversas informais com grandes professores da climatologia tive a oportunidade de me aproximar e me apaixonar por esta temática, aumentando o anseio de contribuir com os estudos de climatologia para o estado do Maranhão.

Assim, agradeço a Deus por ser meu sustento ao longo de todo este processo, das vezes que pedi inspiração e sabedoria e me foi dada. Gratidão à minha família por todo estímulo ao longo de meu processo de formação, de maneira especial à minha avó, Valdecy Ribeiro (*in memoriam*), que sempre me estimulou a seguir a carreira de docente, você jamais será esquecida! Aos meus pais, Cilene Garcês e Audivan Ribeiro, por sempre apoiarem incondicionalmente as minhas decisões e à minha tia, Vanderléa Ribeiro, pela ajuda e incentivo durante toda formação educacional.

Meu muito obrigado a minha esposa, Jacilene Castro, pela compreensão, diálogos, sugestões...por nunca soltar minha mão ao longo do processo de construção deste trabalho. Você é inspiração de dedicação em tudo aquilo que faz. Meu estímulo diário a prosseguir e conquistar tudo aquilo que sonhamos para nós. Te amo!

Gratidão ao meu amigo Paulo Roberto, por todos os diálogos e sugestões que fizestes ao longo deste trabalho. Saiba que este trabalho também foi gerado por você, você sintetiza o verdadeiro significado de amizade. Conte comigo sempre! Gratidão à minha amiga Janilci Serra, por ser motivadora em momentos de desânimo.

Aos meus amigos que me acompanham desde a graduação, Jacenilde Soares, Dinazilda Mendes e Teresa Cristina, por sempre transformarem momentos tensos em alegres e compartilharem suas angústias da vida acadêmica. Aos amigos

Prof. Dr. Marcelino Farias, Vitória Ferreira e Willane Rodrigues do Grupo de Pesquisa em Pedologia e Edafologia da UFMA por todo apoio e trocas de conhecimento realizados ao longo do doutorado.

Aos amigos do Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos, obrigado pela companhia e acolhida ao longo destes anos em Fortaleza, de maneira muito especial, Mairla Gomes, Gabriela Estevão, Antônio Júnior, Jéssica Freitas, Lídia Castro e Larissa Barbosa. Aos colegas de turma, especialmente, Gabriela Estevão, Leandro de Almeida e Luiz Eduardo, pelas sugestões nas apresentações de seminários e companheirismo ao longo do doutorado. Estendo também meu obrigado a todos os colegas, amigos de trabalho e vida, alunos, ex-alunos e orientandos que cruzaram meu caminho durante este período e que pude compartilhar esta experiência.

Este trabalho também é resultado das inúmeras contribuições dadas por professores ao longo de sua construção. Obrigado pelas sugestões dadas na qualificação pela Prof^a. Dr^a. Meiry Sakamoto, Prof^a. Dr^a. Marta Celina, Prof. Dr. João Olímpio, além da minha querida orientadora, Prof^a. Dr^a. Maria Elisa Zanella, que é inspiração de profissional, sua dedicação e seus ensinamentos serão perpetuados no meu exercício profissional, obrigado por tudo! Estendo os agradecimentos ao Prof. Dr. Jander Monteiro pelas conversas e estímulos em prosseguir com a pesquisa.

Gratidão aos funcionários da Secretaria da Pós-graduação em Geografia, Erandi e Edilene, vocês são alicerce para sucesso deste programa. Aos docentes da UFC com que tive contato e aguçaram a buscar a melhoria da pesquisa, de modo especial à Prof^a. Dr^a. Patrícia Lima com quem pude aprender muito da estatística multivariada presente neste trabalho, e aos demais professores da Pós-graduação em Geografia com que tive aulas e conversas, a Prof^a. Dr^a. Marta Celina, Prof^a. Dr^a. Adryane Gorayeb, Prof. Dr. Jader Santos, Prof. Dr. Alexandre Queiroz, Prof. Dr. Edson Vicente (Cacau), Prof. Dr. Jeovah Meireles e a Prof^a. Dr^a. Clélia Lustosa.

Por fim, agradeço aos professores da banca examinadora pela leitura e pelas contribuições para melhoria deste trabalho e à Fundação Cearense de Apoio a Pesquisa (FUNCAP) pelo apoio financeiro dispensado nos primeiros anos da pesquisa e que possibilitou minha estadia em Fortaleza.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é analisar a variabilidade espacial e temporal da pluviosidade e os desastres associados à dinâmica hidroclimática no estado do Maranhão. Como roteiro metodológico, fez-se inicialmente a elaboração do referencial teórico, posteriormente, fez-se a validação de dados de pluviosidade estimados do CHIRPS, utilizando a correlação de Person com dados anuais das estações meteorológicas do INMET no estado, após esta análise utilizou-se as técnicas de estatísticas multivariada de Análise dos Componentes Principais (ACP) para identificar o padrão espacial e temporal da pluviosidade e a Análise de Agrupamento para definir as Regiões Pluviométricas Homogêneas (RPH). A fim de identificar as repercussões relacionados a dinâmica hidroclimática, utilizou-se os decretos publicados no âmbito federal de situação de emergência e estados de calamidade para estiagem, inundação/enchentes, enxurradas e alagamentos, além de realizar o cálculo o Índice de Anomalia de chuvas por município, buscando caracterizar a variabilidade espacial das chuvas e comparar com os reconhecimentos federais de desastres. Como resultado, obteve-se correlações significativas nos dados mensais do CHIRPS. Na Análise dos Componentes Principais foi possível identificar dois padrões espaciais e temporal da pluviosidade no estado, um caracterizando a porção centro-norte do estado, com chuvas concentradas no primeiro semestre do ano, e um segundo que define a porção centro-sul, com regime de chuvas que já inicia nos meses de outubro e novembro. A análise de agrupamento permitiu dividir o estado em cinco Regiões Pluviométricas Homogêneas (RPH), sendo a RPH 1 a que possui os maiores volumes de chuvas, a RPH 4 possui o menor volume de chuvas e a RPH 5 se diferencia das demais por iniciar o período chuvoso no mês de outubro. Na análise da variabilidade pluviosidade (1989 a 2020), os anos de 1989, 2009 e 2020 foram os anos mais chuvosos e que tiveram a maior quantidade de municípios com IAC considerado extremamente chuvoso, enquanto que os anos de 1992 e 2012 foram os mais secos, com maior quantidade de municípios com IAC extremamente seco. Identificou-se ainda que as Temperaturas de Superfície do Mar do Atlântico possuem maior influência na definição do regime de chuvas no estado do Maranhão, e que quando ocorre simultaneamente Dipolo Positivo e El Niño há diminuição considerável das chuvas e conseqüentemente maior quantidade de decretos de

desastres relacionados a estiagem. A maior quantidade de decretos está relacionada a estiagem, seguido de inundação/enchentes. As estiagens estão localizadas, sobretudo em municípios da RPH 3 e 4. Enquanto que as inundações/enchentes se localizam na RPH 2. Por fim, a utilização dos dados estimados do CHIRPS mostrou-se como uma boa opção para análise de pluviosidade na ausência de dados de superfície, as técnicas estatísticas utilizadas permitiram inferir sobre a variabilidade espacial e temporal das chuvas e a análise comparativa do IAC com as repercussões dos eventos hidroclimáticos possibilitou a comprovação da influência da dinâmica climática no espaço geográfico.

Palavras-chave: Variabilidade climática; pluviosidade; desastres; climatologia do Maranhão.

ABSTRACT

The objective of this research is to analyze the spatial and temporal variability of rainfall and the disasters associated with hydroclimatic dynamics in the state of Maranhão. As a methodological guide, the theoretical framework was initially elaborated, later, the validation of estimated rainfall data from the CHIRPS was carried out, using the Person correlation with annual data from INMET meteorological stations in the state, after this analysis was used. if the multivariate statistical techniques of Principal Component Analysis (PCA) to identify the spatial and temporal pattern of rainfall and the Cluster Analysis to define the Homogeneous Rainfall Regions (RPH). In order to identify the repercussions related to hydroclimatic dynamics, the decrees published in the federal scope of emergency situations and states of calamity for drought, inundation/floods, flash floods and flooding were used, in addition to calculating the Rainfall Anomaly Index by municipality, seeking to characterize the spatial variability of rainfall and compare it with the federal recognition of disasters. As a result, significant correlations were obtained in the monthly CHIRPS data. In the Principal Components Analysis, it was possible to identify two spatial and temporal patterns of rainfall in the state, one characterizing the central-northern portion of the state, with rains concentrated in the first half of the year, and a second that defines the central-south portion, with a regime of rains that already starts in the months of October and November. The cluster analysis made it possible to divide the state into five Homogeneous Rainfall Regions (RPH), with RPH 1 having the highest volumes of rainfall, RPH 4 having the lowest volume of rainfall and RPH 5 being different from the others by starting the rainy season in October. In the analysis of rainfall variability (1989 to 2020), the years 1989, 2009 and 2020 were the wettest years and had the highest number of municipalities with IAC considered extremely rainy, while the years 1992 and 2012 were the driest, with a greater number of municipalities with extremely dry IAC. It was also identified that the Atlantic Sea Surface Temperatures have a greater influence on the definition of the rainfall regime in the state of Maranhão, and that when the Positive Dipole and El Niño occur simultaneously, there is a considerable decrease in rainfall and, consequently, a greater number of disaster decrees. related to drought. The largest number of decrees is related to drought, followed by inundation/floods. The droughts are located, especially in municipalities of RPH 3 and 4. While the floods/floods are

located in RPH 2. Finally, the use of estimated data from CHIRPS proved to be a good option for rainfall analysis in the absence of surface data, the statistical techniques used allowed inferring about the spatial and temporal variability of rainfall and the comparative analysis of the IAC with the repercussions of hydroclimatic events made it possible to prove the influence of climate dynamics in geographic space.

Keywords: Climate variability; rainfall; disasters; climatology of Maranhão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Estado do Maranhão.....	28
Figura 2 - Classificação dos desastres.....	40
Figura 3 - Localização das sedes municipais do Maranhão.....	50
Figura 4 - Localização das estações meteorológicas o INMET.....	51
Figura 5 - Mapa de Geologia do estado do Maranhão.....	63
Figura 6 - Hipsometria do estado do Maranhão.....	66
Figura 7 - Classificação do relevo do Maranhão.....	67
Figura 8 - Feições do relevo de planaltos no estado do Maranhão.....	68
Figura 9 - Feições do relevo de planície no estado do Maranhão.....	69
Figura 10 - Feições do relevo de tabuleiro, depressão e patamar no estado do Maranhão.....	70
Figura 11 - Solos do estado do Maranhão.....	71
Figura 12 - Normal Climatológica de Temperatura para o estado do Maranhão.....	74
Figura 13 - Normal Climatológica de Pluviosidade para o estado do Maranhão.....	77
Figura 14 - Normal Climatológica de Umidade relativa do ar para o estado do Maranhão.....	79
Figura 15 - Normal Climatológica de Pressão Atmosférica para o estado do Maranhão.....	80
Figura 16 - Normal Climatológica de Intensidade e Direção do vento para o estado do Maranhão.....	82
Figura 17 - Classificação Climática de Thornthwaite (1948) para o estado do Maranhão.....	83
Figura 18 - Bacias hidrográficas e principais rios do Maranhão.....	85
Figura 19 - Rios do estado do Maranhão.....	86
Figura 20 - Tipos fitofisonômicos da vegetação do Maranhão.....	87
Figura 21 - Principais Correntes de Ocupação do Maranhão.....	89
Figura 22 - Atuação dos centros de ação e massas de ar no Brasil.....	101

Figura 23 - Posição da ZCIT em dois períodos distintos.....	104
Figura 24 - Atuação da ZCIT em dois períodos distintos.....	105
Figura 25 - Condições para formação da ZCAS.....	106
Figura 26 - Nebulosidade associada a ZCAS no território brasileiro em 18/01/2016.....	107
Figura 27 - Atuação do VCAN sobre o Nordeste brasileiro.....	109
Figura 28 - Atuação de CCM sobre o estado do Maranhão.....	110
Figura 29 - Linhas de Instabilidades atuando no litoral do Nordeste.....	111
Figura 30 - DOL atuando sobre o Nordeste brasileiro.....	113
Figura 31 - Esquema da formação das brisas marítimas e terrestres.....	114
Figura 32 - Frente Fria atuando no território brasileiro.....	115
Figura 33 - Regiões do El Niño.....	116
Figura 34 - Anomalias da TSM positivas em dezembro de 2015 no Pacífico Equatorial, condições de El Niño.....	117
Figura 35 - Anomalias da TSM negativas em agosto de 2010 no Pacífico Equatorial, condições de La Niña.....	117
Figura 36 - Esquema da Circulação atmosférica com a formação do El niño.....	118
Figura 37 - Esquema da Circulação atmosférica no Pacífico Equatorial em condições normais.....	119
Figura 38 - Esquema do padrão oceânico e atmosférico sobre a bacia do Oceânico Atlântico brasileiro.....	121
Figura 39 - Áreas definidas pelo projeto “Tempo de Chuvas” para TSM do Atlântico.....	121
Figura 40 - Representação Gráfica das maiores correlações entre dados CHIRPS e INMET.....	124
Figura 41 - Representação Gráfica das menores correlações entre dados CHIRPS e INMET.....	124
Figura 42 - Espacialização das correlações do Fator 1.....	128
Figura 43 - Espacialização das correlações do Fator 2.....	129
Figura 44 - Mapa das Regiões Pluviométricas Homogêneas do estado do Maranhão.....	130
Figura 45 - Distribuição da Pluviosidade Anual (1989-1999).....	137

Figura 46 - Distribuição do IAC entre 1989 e 1999.....	140
Figura 47 - Anomalia da TSM de fevereiro e março de 1992.....	141
Figura 48 - Anomalia da TSM de fevereiro e março de 1989.....	142
Figura 49 - Distribuição da Pluviosidade Anual (2000-2009).....	143
Figura 50 - Distribuição do IAC entre 2000 e 2009.....	145
Figura 51 - Anomalia mensal da TSM de abril e maio de 2002 e 2009....	146
Figura 52 - Distribuição da Pluviosidade Anual (2010-2020).....	148
Figura 53 - Distribuição do IAC entre 2010 e 2020.....	150
Figura 54 - Anomalia mensal da TSM de 2012 e 2020.....	151
Figura 55 - Distribuição espacial das Portarias de Reconhecimento Federal por tipos de desastre e o total por município.....	155
Figura 56 - Tipos de desastres por RPH.....	157
Figura 57 - Distribuição espacial das Portarias de Reconhecimento Federal decorrentes de Estiagens (2003-2020).....	159
Figura 58 - Áreas Susceptíveis à Desertificação.....	161
Figura 59 - Espacialização do Índice de Aridez (Ia) no Estado do Maranhão.....	162
Figura 60 - Distribuição espacial por ano das Portarias Federais de Estiagem.....	163
Figura 61 - Estimativa da posição média pentadal da ZCIT.....	165
Figura 62 - Distribuição espacial das Portarias de Reconhecimento Federal decorrentes de Inundação/enchentes (2003-2020)..	167
Figura 63 - Distribuição espacial por ano das Portarias Federais de Inundação/enchentes.....	168
Figura 64 - Registros do município de Conceição do Lago-Açu.....	169
Figura 65 - Registros fotográficos dos municípios de Pedreiras e Trizidela do Vale.....	170
Figura 66 - Estimativa da posição média pentadal da ZCIT em março de 2009.....	172
Figura 67 - Recortes de imagens do satélite GOES-10 de maio de 2009	172
Figura 68 - Atuação da ZCAS em novembro/2008 e janeiro/2009.....	173
Figura 69 - Atuação de VCAN em dezembro/2018 e janeiro/2009.....	174
Figura 70 - Distribuição espacial das Portarias de Reconhecimento	

	Federal decorrentes de Enxurradas (2003-2020).....	175
Figura 71 -	Distribuição espacial por ano das Portarias Federais de Enxurradas.....	176
Figura 72 -	Registros do município de Marajá do Sena.....	177
Figura 73 -	Atuação da ZCIT e VCAN sobre o Nordeste em 30/03/2018 e notícia publicada em site de notícias.....	178
Figura 74 -	Distribuição espacial das Portarias de Reconhecimento Federal decorrentes de Inundações (2003-2020).....	180
Figura 75 -	Distribuição espacial por ano das Portarias Federais de Inundação.....	181
Figura 76 -	Atuação da ZCIT sobre o norte do Nordeste brasileiro nos dias 10 e 11 de maio de 2014.....	183
Figura 77 -	Atuação da ZCIT sobre o Nordeste em 23/03/2019.....	184

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Objetivos da pesquisa e principais técnicas estatísticas.....	36
Quadro 2 -	Tipos de Desastres e Definição.....	44
Quadro 3 -	Informações sobre dados secundários.....	47
Quadro 4 -	Autovalores e % da variância dos fatores extraídos.....	56
Quadro 5 -	População do estado do Maranhão.....	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	- Totais de registros dos desastres naturais mais recorrentes no Brasil, no período de 1991 a 2012.....	43
Gráfico 2	- Prejuízos com Desastres Naturais nos estados do Nordeste (2016-2017).....	45
Gráfico 3	- Gráfico <i>scree plot</i> obtido no SPSS.....	56
Gráfico 4	- Quantidade de municípios por Censo Demográfico.....	94
Gráfico 5	- Distribuição da Pluviosidade Anual do CHIRPS e INMET em São Luís.....	124
Gráfico 6	- Distribuição da Pluviosidade Anual do CHIRPS e INMET em Zé Doca.....	126
Gráfico 7	- Correlações dos dois fatores comuns rotacionados.....	127
Gráfico 8	- Acumulado de Pluviosidade anual por RPH.....	132
Gráfico 9	- Distribuição Mensal da Pluviosidade da RPH 1.....	132
Gráfico 10	- Distribuição Mensal da Pluviosidade da RPH 2.	133
Gráfico 11	- Distribuição Mensal da Pluviosidade da RPH 3.	134
Gráfico 12	- Distribuição Mensal da Pluviosidade da RPH 4.	135
Gráfico 13	- Distribuição Mensal da Pluviosidade da RPH 5.	135
Gráfico 14	- Distribuição anual de PRSE.	152
Gráfico 15	- Distribuição Temporal por tipos de desastre natural entre 2003 e 2020 – Maranhão.	154
Gráfico 16	- Distribuição das Portarias de Estiagem entre 2003 e 2020...	158
Gráfico 17	- Anomalia da TSM mensal dos anos de 2012 e 2013.....	164
Gráfico 18	- Índice de Niño Oceânico mensal dos anos de 2012 e 2013..	165
Gráfico 19	- Distribuição das Portarias de Inundação/enchentes entre 2003 e 2020.....	166
Gráfico 20	- Anomalia da TSM mensal dos anos de 2008 e 2009.....	171
Gráfico 21	- Índice de Niño Oceânico mensal dos anos de 2008 e 2009..	171
Gráfico 22	- Distribuição das Portarias de Enxurradas entre 2003 e 2020	174
Gráfico 23	- Distribuição da pluviosidade anual do município de Marajá do Sena	177

Gráfico 24 - Índice de Anomalia de Chuva (1989-2020) do município de Marajá do Sena.....	178
Gráfico 25 - Distribuição das Portarias de Inundações entre 2003 e 2020.....	179
Gráfico 26 - Distribuição da pluviosidade anual do município de Paço do Lumiar	182
Gráfico 27 - Distribuição Mensal dos dados do CHIRPS de 2014 e 2019 no município de Paço do Lumiar.....	183
Gráfico 28 - Índice de Anomalia de Chuva (1989-2020) do município de Paço do Lumiar.....	185

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Categorização dos valores do Coeficiente de Correlação de Pearson.....	52
Tabela 2 - Valores da KMO e sua adequação para análise fatorial.....	54
Tabela 3 - Valores das comunalidades de cada variável.....	55
Tabela 4 - Valores das cargas fatorais de cada variável em relação aos componentes.....	49
Tabela 5 - Frequência e classes do total de desastres	60
Tabela 6 - Classificação da pluviosidade segundo do o IAC	61
Tabela 7 - Quantidade de municípios por número de habitantes.....	95
Tabela 8 - Municípios com maior população do estado do Maranhão ...	95
Tabela 9 - Quantidade e Percentual de municípios por RPH	131
Tabela 10 - Quantidade de municípios de acordo com a intensidade do IAC entre 1989 e 1999.....	139
Tabela 11 - Quantidade de municípios de acordo com a intensidade do IAC entre 2000 e 2009.....	144
Tabela 12 - Quantidade de municípios de acordo com a intensidade do IAC entre 2010 e 2020.....	149
Tabela 13 - Frequência e percentual de desastres (Situação de Emergência) no estado do Maranhão, 2003 a 2020.....	153
Tabela 14 - Frequência e Percentual de Portarias de Reconhecimento Federal de desastre por município – Maranhão (2003-2020)	154
Tabela 15 - Frequência e Percentual de Portarias de Reconhecimento Federal de desastre por RPH – Maranhão (2003-2020).....	156
Tabela 16 - Dados do IAC em anos com registros de estiagem.....	164

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Análise de Agrupamento
AB	Alta da Bolívia
ACP	Análise de Componentes Principais
AF	Análise Fatorial
ANA	Agência Nacional de Água
ANA	Agência Nacional de Águas
ANE	Alísios de Nordeste
ASAS	Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul
ASE	Alísios de Sudeste
ATN	Atlântico Norte
ATS	Atlântico Sul
AVADAN	Avaliação de Danos
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CCD	<i>Cold Cloud Duration</i>
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CN	Cavado do Nordeste
CNM	Confederação Nacional dos Municípios
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
COP26	26ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CRED	Research on the Epidemiology of Disasters
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DEATE	Declaração Estadual de Atuação Emergencial
DMATE	Declaração Municipal de Atuação Emergencial
DOL	Distúrbios Ondulatórios de Leste
DT	Descontinuidade Tropical

ECP	Estado de Calamidade Pública
EM	Equador Meteorológico
EM-DAT	<i>Emergency Events Database</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENE	Leste do Nordeste
ENOS	El niño-Oscilação Sul
ET	Equador Térmico
FIDE	Formulário de Informações do Desastre
FIT	Frente Intertropical
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GRADM	Gradiente Inter-hemisférico ou meridional da temperatura de superfície do Mar
IA	Índice de Aridez
IAC	Índice de Anomalia de Chuva
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IDNDR	<i>International Decade for Natural Disaster Reduction</i>
IMESC	Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOS	Índice do Oscilação Sul
IP	Indicativo de Perigo
IRI	<i>International Research Institute for Climate and Society</i>
ISDR	<i>International Strategy for Disaster Reduction</i>
JBN	Jatos de Baixos Níveis
JJA	Junho-Julho-Agosto
KMO	Kaise-Meyer-Olkin
LI	Linhas de Instabilidades
LIC	Linhas de Instabilidades Costeiras
LIP1	Linhas de Instabilidades do tipo 1
LIP2	Linhas de Instabilidades do tipo 2
mEa	Massa Equatorial Atlântica

MEAN	Massa Equatorial do Atlântico Norte
MEAS	Massa Equatorial do Atlântico Sul
mEc	Massa Equatorial Continental
MSA	<i>Measure of Sampling Adequacy</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NOPRED	Notificação Preliminar de Desastres
NUGEO	Núcleo Geoambiental
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
ONI	Índice de Niño Oceânico
PIB	Produto Interno Bruto
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PNUD	<i>Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento</i>
PRODECER	Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento Agrícola dos Cerrados
RBClima	Revista Brasileira de Climatologia Geográfica
RFF	Repercussão de Frente Fria
RPH	Região Pluviométrica Homogênea
S2ID	Sistema Integrado de Informações de Desastres
SBCG	Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica
SE	Situação de Emergência
SEDEC	Secretaria Nacional de Defesa Civil
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SNHT	Teste de Homogeneidade Normal Padrão
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TSM	Temperatura de Superfície do Mar
UCSB	<i>University of California, Santa Barbara</i>
UGI	União Geográfica Internacional
UNCCD	Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade
ZIC	Zona Intertropical de Convergência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
2	AS BASES DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA PARA OS ESTUDOS DE VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA.....	31
2.1	Análises estatísticas em Climatologia Geográfica.....	34
2.2	Índice de Anomalia de Chuva (IAC).....	38
3	A ANÁLISE GEOGRÁFICA DOS DESASTRES.....	40
4	METODOLOGIA.....	46
4.1	Procedimentos Técnicos	46
4.1.1	<i>Revisão de Literatura e dados secundários.....</i>	46
4.1.2	<i>Obtenção e tratamento dos Dados da Imagens do satélite CHIRPS - Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations.....</i>	49
4.1.3	<i>Correlação entre os dados do INMET e CHIRPS.....</i>	50
4.1.4	<i>Análise multivariada com os dados CHIRPS.....</i>	53
4.1.5	<i>Obtenção e análise dos dados de Desastres.....</i>	59
4.1.6	<i>Cálculo e análise do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC).....</i>	60
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	62
5.1	Aspectos Geoambientais do estado do Maranhão.....	62
5.1.1	<i>Aspectos Geológicos</i>	62
5.1.2	<i>Aspectos Geomorfológicos.....</i>	65
5.1.3	<i>Aspectos Pedológicos.....</i>	70
5.1.4	<i>Aspectos Climáticos.....</i>	73
5.1.5	<i>Aspectos Hidrográficos.....</i>	84
5.1.6	<i>Aspectos Vegetacionais</i>	86
5.2	Processo de Ocupação e Urbanização do Maranhão.....	88
5.2.1	<i>Processo de urbanização dos municípios maranhenses.....</i>	93
5.2.2	<i>Panorama das características sociais e econômicas do Maranhão.....</i>	96

6	SISTEMAS ATMOSFÉRICOS E MECANISMOS FÍSICOS QUE ATUAM PARA A VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA DO ESTADO DO MARANHÃO.....	98
6.1	Centros de ação e as massas de ar do Nordeste.....	100
6.1.1	<i>Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS).....</i>	101
6.1.2	<i>Anticiclone dos Açores</i>	102
6.1.3	<i>Doldrums.....</i>	103
6.2	Sistemas atmosféricos que influenciam na pluviosidade no Maranhão.....	103
6.2.1	<i>Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....</i>	103
6.2.2	<i>Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....</i>	105
6.2.3	<i>Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).....</i>	107
6.2.4	<i>Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM).....</i>	109
6.2.5	<i>Linhas de Instabilidades (LI).....</i>	100
6.2.6	<i>Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL).....</i>	112
6.2.7	<i>Brisas marítimas e terrestres.....</i>	113
6.2.8	<i>Frentes Frias.....</i>	114
6.2.9	<i>El Niño-Oscilação Sul (ENOS).....</i>	115
6.2.10	<i>Temperatura de Superfície do Mar (TSM) do Atlântico.....</i>	120
7	VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PLUVIOSIDADE DO ESTADO DO MARANHÃO.....	123
7.1	Validação de Dados de Pluviosidade Estimados do CHIRPS para o Estado do Maranhão	123
7.2	Análise espaço-temporal da Pluviosidade no estado do Maranhão.....	126
7.3	As Regiões Pluviométricas Homogêneas (RPH) do estado do Maranhão.....	129
8	VARIABILIDADE DA PLUVIOSIDADE NO ESTADO DO MARANHÃO ENTRE 1989-2020.....	136
9	DESASTRES ASSOCIADOS À DINÂMICA CLIMÁTICA NO ESTADO DO MARANHÃO.....	152
9.1	Análise dos desastres climáticos: Estiagem.....	158

9.2	Análise dos desastres hidrológicos: inundação/enchentes, enxurradas e alagamentos.....	166
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	186
	REFERÊNCIAS.....	190
	APÊNDICE A – MATRIZ ANTI-IMAGEM DE CORRELAÇÃO.....	210
	APÊNDICE B – DENDOGRAMA.....	211
	APÊNDICE C – MUNICÍPIOS DAS RPHs.....	212
	ANEXO A – COBRADE.....	215

1 INTRODUÇÃO

As pesquisas em climatologia têm ganhado cada vez espaço na sociedade e na mídia, bem como vem ampliando horizontes das discussões na ciência à medida que os debates acerca das mudanças climáticas e aquecimento global tornam foco dos debates políticos a nível mundial. Os grandes encontros internacionais multilaterais sobre meio ambiente como a 26^a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2021 (COP26) realizado no Escócia, tem discutido as medidas de enfrentamento e adaptações aos impactos causados pelas alterações no ambiente. Ressaltando que estes impactos estão cada vez mais intensos e, sobretudo, atingindo as áreas densamente povoadas como as cidades.

Evidentemente que este debate é objeto de estudo e contribuições da ciência geográfica, à medida que está no âmago da relação sociedade e natureza. Neste sentido, buscando até de certo modo discutir as causas e impactos desta relação no campo da climatologia, emerge a necessidade de uma análise que ultrapasse o campo descritivo, quantitativo, mas que compreenda as repercussões na sociedade e ainda assim estabeleça a relação entre a gênese do fenômeno e seus impactos. A Climatologia Geográfica surge neste contexto, reconhecendo a importância do caráter quantitativo da análise do clima e do tempo, porém em sua essência, traz à luz do paradigma do ritmo climático e da sucessão dos tipos de tempo, a compreensão do espaço geográfico a partir da interação entre o fenômeno climático e seus impactos (SANT'ANNA NETO, 1998, 2001, 2015).

No Brasil, atribui-se ao Prof. Dr. Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro a fundamentação, e por que não criação, de um percurso teórico e metodológico que sedimenta a Climatologia Geográfica. Seu pensamento baseado nas ideias de Max Sorre considera a gênese dos fenômenos climáticos e muito mais que isso busca superar a totalidade dos tipos de tempo considerando apenas as médias, analisando padrões extremos e habituais, a variabilidade climática, e como o próprio Monteiro denominou, o ritmo climático (MONTEIRO, 1971a; SANT'ANNA NETO, 2015). Este tipo de análise permitiu também a criação da Teoria Clima Urbano, proposta por Monteiro em 1975 em

sua tese de doutorado, e se torna um marco na pesquisa aplicada em climatologia no Brasil.

Pautados nesse arcabouço teórico e metodológico, os estudos aplicados em Climatologia Geográfica passaram a ser realizados em diferentes cidades brasileiras, com diferentes abordagens, porém seguindo o norte dado pelos trabalhos pioneiros de Monteiro. Destacando-se os trabalhos relacionados à variabilidade climática, analisando um fenômeno climático à perspectiva espacial e temporal, como destaca Nascimento Júnior (2017), admite-se nesta temática o processo da análise geográfica do clima, considerando a variabilidade como um componente do clima. Dubreuil *et al.* (2010) acrescenta que a variabilidade climática deve buscar a relação entre intensidade e frequência entre os elementos e condições do clima.

Embora a análise qualitativa tenha ganhado mais espaço na Climatologia Geográfica, a análise quantitativa ainda é muito importante, sobretudo a análise estatística. Sant'Anna Neto (2008) a considera fundamental no estudo da variabilidade, pois resulta na identificação da ciclicidade e periodicidade do elemento climático analisado. E nesse contexto, tornando importante a análise espacial e temporal a partir da compreensão das alterações periódicas e variações cíclicas no tempo histórico.

Nascimento Júnior (2017) destaca alguns aspectos importantes nos estudos sobre variabilidade climática, tais como a identificação da gênese a partir das características oceânico atmosféricas, teleconexões, eventos extremos, estudos interanuais, mensais, trimestrais e outros, utilizando formas de análise como técnicas estatísticas convencionais, estatística multivariada, com um recorte temporal que satisfaça o objetivo da análise, sobretudo no caso da variabilidade, séries longas de no mínimo 30 anos.

No Brasil, país extenso porém predominantemente de clima tropical, a pluviosidade é o elemento com maior variabilidade sendo então um dos elementos do clima mais estudados. Pesquisas sobre regime de chuvas, volume pluviométrico, eventos intensos de precipitação, secas e estiagens são algumas das temáticas abordadas. Isso se deve ao fato da pluviosidade ser um elemento com grande variabilidade espacial e temporal e de grande repercussão no espaço, tanto por sua abundância quanto pela sua ausência. Além disso, tem-se a estreita ligação com a agricultura e com a manutenção

do abastecimento de água. Assim, é de suma importância compreender a variabilidade do regime de chuvas para nortear de maneira mais eficiente e eficaz o planejamento urbano, assim como o planejamento agrícola das áreas de análise.

Um dos grandes empecilhos para as análises de variabilidade climática e sobretudo, nas análises que busquem identificar as alterações climáticas ao longo dos anos é a ausência de uma série de dados meteorológicos consistentes e com uma distribuição espacial satisfatória. Atualmente os dados geoespaciais tem sido uma alternativa para resolução deste problema, como a utilização de dados estimados por satélite, porém são informações que precisam ser validadas para que possam ser instrumento de análises.

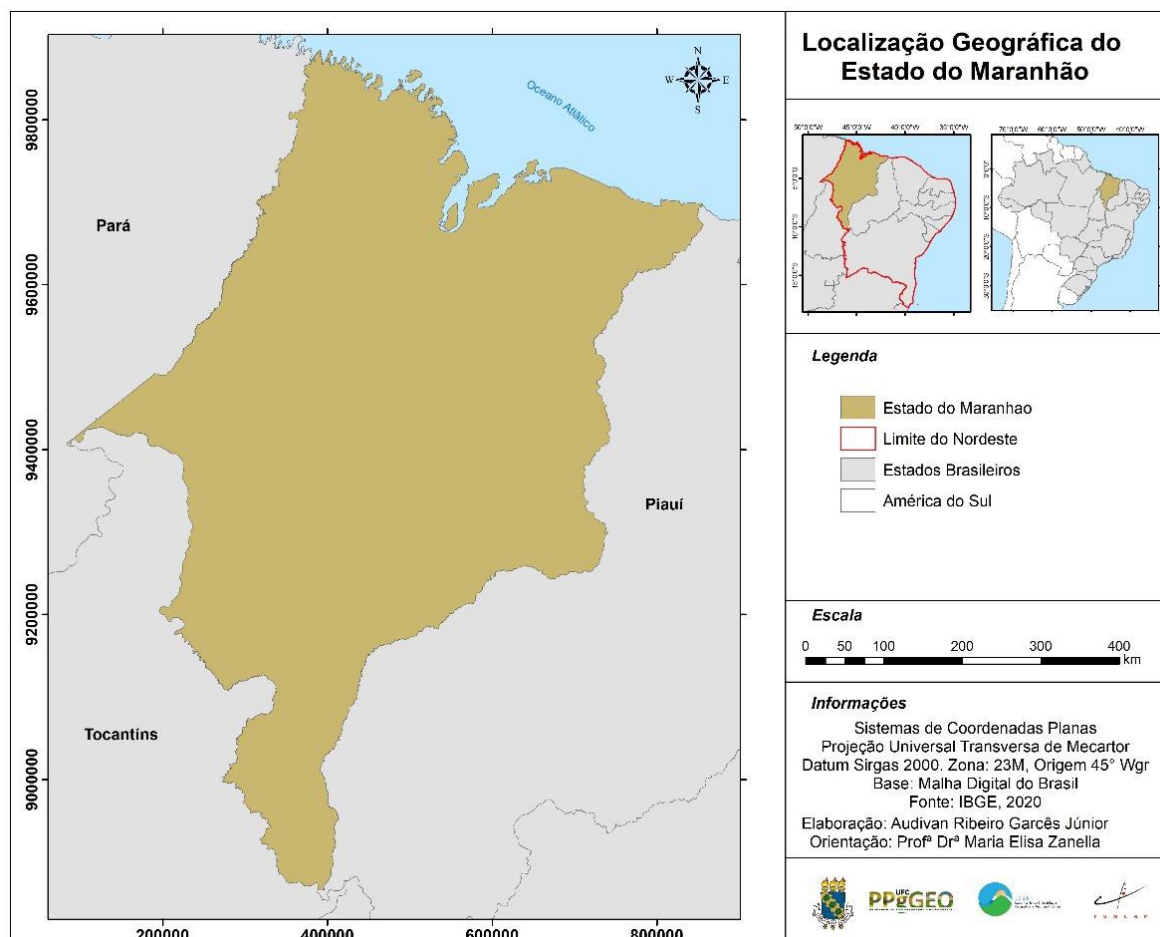
De modo geral, o entendimento da variabilidade climática possibilita também a compreensão dos impactos inerentes às condições atmosféricas, tais repercussões se dão na forma de perdas econômicas, humanas e sociais, resultantes de secas e estiagens, de fenômenos hidrológicos como enchentes, inundações, enxurradas, movimentos de massas, furacões, tempestades, enfim, dos denominados desastres. Embora ainda haja uma exaustiva discussão sobre a utilização do termo desastre, este deve ser compreendido a partir da exposição, vulnerabilidade e resiliência da sociedade bem como parte das discussões sobre a problemática ambiental atual (MENDONÇA, 2005; TOMINAGA, 2009).

O estado do Maranhão insere-se neste contexto à medida que se observamos registros dos mais diversos tipos de desastres como estiagens, enxurradas, inundações e alagamento. Segundo o Atlas de Desastres Naturais (CEPED, 2013), entre os anos de 1991 e 2012 foram registrados como estado de calamidade pública ou emergência, 154 municípios com situações de enxurradas, 180 municípios com registros de inundações e 8 com alagamentos. Apesar de serem predominantes estes tipos de desastres, o Maranhão também possui registros de eventos associados a escassez de recursos hídricos, sendo que para o mesmo período foram registrados 167 municípios com problemas de estiagem e seca. Estes são eventos menos intensos que os registrados em grande parte do Nordeste, no entanto afetam

áreas produtivas e comprometem os reservatórios de água, trazendo risco à saúde humana.

Ressalta-se que o Maranhão possui características naturais de um ambiente de transição, que propicia a interação de elementos que caracterizam tanto a região Amazônica quanto as áreas do Semiárido Nordeste e do Cerrado brasileiro. Desta forma, tanto o excesso quanto a escassez de água são elementos presentes no Maranhão (FIGURA 1). Aliado a isso, evidencia-se que grande parte das cidades maranhenses possuem seus sítios urbanos às margens de rios, dado seu processo de ocupação e colonização, o que condiciona os municípios maranhenses à risco de desastres, sobretudo enchentes, alagamentos e enxurradas.

Figura 1 - Localização do Estado do Maranhão



Fonte: IBGE (2020). Elaborado pelo autor.

Considerando tal problemática foram elaboradas algumas perguntas norteadoras para esta pesquisa: Qual o padrão da distribuição espacial e

temporal da pluviosidade no estado do Maranhão? Existe relação entre a variabilidade anual das chuvas e a materialização de desastres no estado? Existe um padrão espacial dos tipos de desastres? Quais os fatores que influenciam na variabilidade da pluviosidade no estado?

Para responder tais questionamentos esta pesquisa objetiva analisar a variabilidade espacial e temporal da pluviosidade e os desastres associados no estado do Maranhão. Para alcançar tal objetivo, foram definidos alguns objetivos específicos, são eles:

- Validar os dados de pluviosidade estimados pelo CHIRPS em relação aos dados das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no Maranhão;
- Identificar o padrão espacial e temporal da pluviosidade no estado do Maranhão;
- Definir as regiões pluviométricas homogêneas no estado;
- Avaliar a variabilidade espacial e temporal da pluviosidade entre 1989 e 2020 para o Maranhão;
- Analisar a distribuição temporal e espacial dos reconhecimentos federais de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública para o estado do Maranhão entre 2003 e 2020;
- Identificar a relação entre a variabilidade anual da pluviosidade e a ocorrência de desastres no Maranhão.

Diante de tal problemática e objeto de pesquisa apresentado nesta tese, a hipótese deste trabalho pauta-se que a variabilidade pluviométrica no estado do Maranhão é resultante da interação de diferentes fatores, como as Temperaturas de Superfície do Mar do Atlântico e Pacífico e da atuação dos sistemas atmosféricos produtores de chuvas, bem como se dá espacialmente de forma diferenciada no estado. Conseqüentemente estas características resultarão na materialização de repercussões no espaço geográfico maranhense na forma de desastres, seja pela ausência ou excesso de pluviosidade.

A fim de verificar tal hipótese faz-se uso nesta pesquisa de uma abordagem socioambiental, que apresente elementos alicerçados na

Climatologia Geográfica, utilizando-se de técnicas de estatísticas multivariada e geotecnologias como meios para atingir os objetivos.

A estrutura da tese está composta de uma Introdução, seguida da fundamentação teórica que possui dois capítulos, onde no primeiro capítulo aborda-se as bases da climatologia geográfica sobretudo no Brasil relacionada aos estudos sobre a variabilidade pluviométrica, bem como destaca-se o uso de técnicas estatísticas nas pesquisas desta temática e no outro capítulo se faz um aporte teórico de alguns estudos que abordaram a análise geográfica dos desastres.

No capítulo três é apresentada a metodologia da pesquisa, descrevendo seu aporte metodológico, assim como os procedimentos técnicos utilizados na geração e análises dos resultados.

No capítulo quatro, fez-se a caracterização da área de estudo, dando ênfase nas características climáticas do estado do Maranhão. Logo em seguida, optou-se por criar um capítulo sobre os sistemas atmosféricos e mecanismos físicos que influenciam na dinâmica das chuvas no Nordeste, enfatizando no estado do Maranhão.

A última parte da tese, que trata dos resultados, se apresenta em três capítulos. O primeiro destes apresenta os resultados da validação dos dados estimados por satélite, apresenta ainda as Regiões Pluviométricas Homogêneas do estado, além da análise do padrão espacial e temporal da pluviosidade no estado do Maranhão. No segundo capítulo dos resultados aborda-se a variabilidade da pluviosidade entre os anos de 1989 e 2020, utilizando a espacialização de dados do CHIRPS e os Índices de Anomalia de Chuvas. Ainda neste capítulo são feitas análises dos anos de destaque, considerando a gênese dos fenômenos que influenciaram o padrão estabelecido.

No último capítulo dos resultados é feita a abordagem sobre as repercussões dos eventos climáticos no espaço maranhense, através dos registros de portarias de reconhecimento federal de desastre entre 2003 e 2020. Na análise destacam-se alguns municípios, caracterizando os fenômenos que desencadearam os desastres, como as TSMs do Atlântico e Pacífico e a atuação de sistemas atmosféricos. Por fim, são apresentadas as considerações finais do trabalho.

2 AS BASES DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA PARA OS ESTUDOS DE VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA

Os estudos sobre a atmosfera e sobre os climas vem ganhando cada vez mais destaque dentro da ciência geográfica, no entanto este processo foi construído ao longo de décadas e sobretudo embasando-se a partir de pressupostos teóricos que lhe atribuisse característica de um estudo geográfico e não meramente estudo sobre aspectos das condições atmosféricas.

No Brasil, boa parte destas contribuições teóricas foram iniciadas pelas obras e reflexões do Prof. Dr. Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, que alicerçado pelas análises de Max Sorre insere um novo paradigma no fazer teórico e metodológico dos estudos da climatologia no Brasil, sendo precursor da denominada Climatologia Geográfica (ZAVATTINI, 1998; SANT'ANNA NETO, 2015). Monteiro (1962) enfatizou que a interpretação de fatos isolados da atmosfera para compreender a dinâmica atmosférica não seria suficiente para definição climática regional, desta forma, sendo necessário considerar a ação combinada dos elementos do clima na sucessão habitual, assim introduziu o ritmo climático como um novo paradigma na climatologia.

O ritmo climático, para Monteiro (1976, p. 30) poderia ser traduzido no “encadeamento, sucessivo e contínuo, dos estados atmosféricos e suas articulações no sentido de retorno aos mesmos estados”, alicerçado no complexo climático ou meio climático proposto por Sorre (1951), onde suas ideias contrapunha-se as definições clássicas na climatologia em que se dava grande importância aos valores médios e considerava-se o tempo a partir dos estados isoladamente. Tem-se então, a possibilidade de considerar nas análises climáticas a compressão na escala diária da variação dos elementos atmosféricos em um determinado local, a denominada de técnica de análise rítmica¹, a visualização e compressão dos valores extremos como parte de uma condição climática de um local, a utilização de anos-padrão como amostras dos tipos de tempo (BARROS; ZAVATTINI, 2009).

¹ Segundo Monteiro (1976, p. 30) a análise rítmica “é a representação gráfica do ritmo climático, representado por longas faixas de representação diária concomitante de todos os atributos atmosféricos mensuráveis (e possíveis de obter) sobre um lugar, acompanhados da informação sobre o sistema meteorológico atuante em cada dia”.

Considerando estas novas abordagens, Monteiro (1971) contribuiu para a construção de uma Climatologia Geográfica à luz da Climatologia Sintética e da Meteorologia Dinâmica, que além de incorporar novas técnicas, como a utilização de cartas sinóticas, ciclos evolutivos de massas de ar, desprezo das médias, considera critérios qualitativos, como as repercussões destas variações climáticas na superfície terrestre e na sociedade, como contribui Sant'Anna Neto (2015):

A concepção geográfica do clima na organização do espaço deve ser vista, fundamentalmente, como geradora de tipos de tempo cujas características são absolutamente dinâmicas, complexas e muito sensíveis a qualquer alteração imposta, influenciando cada parte do planeta, em função da interação entre as diferentes esferas do globo e da ação do homem (SANT'ANNA NETO, 2015, p. 52).

Desta forma, a Climatologia Geográfica deve buscar estabelecer uma análise da relação sociedade e natureza que integre as características da superfície terrestre a partir de uma compreensão da organização do espaço geográfico, sendo este um importante foco para a análise das repercussões climáticas. Barros e Zavattini (2009, p. 260) salientam que embora esta concepção esteja muito mais pautada numa abordagem sintética, a abordagem analítico-separativa também a complementa, porém, os autores destacam que “vislumbrar e compreender o verdadeiro quadro climático significa, também, saber equilibrá-las nas investigações a que se propõe realizar”. Observando que é necessário atentar-se para uso de técnicas estatísticas que não mascarem os dados e informações com a qual se quer trabalhar.

Neste sentido, cada vez mais tem-se dado destaque nos trabalhos de climatologia no Brasil à variabilidade climática, pois sua compreensão possibilita o entendimento do comportamento e caracterização dos elementos climáticos de uma área, bem como o planejamento de atividades econômicas como a agricultura, planejamento urbano, uso dos recursos hídricos e outros (BALDO, 2006). Dentre os elementos climáticos de maior variabilidade tem-se a pluviosidade. Barros e Zavattini (2009) destacam que os estudos sobre este elemento do clima possuem a capacidade de identificar as variações rítmicas do clima, já que predominam no Brasil climas do tipo tropical e subtropical.

O estudo da variabilidade das chuvas fornece informações para uma análise da distribuição espacial e temporal da precipitação, identificando as

condições para definir um ano chuvoso ou seco a partir de conjuntos de dados sobre a chuva (ROSSATO, 2011). Baratto (2017, p. 15) considera que a precipitação pluvial “é um dos elementos climáticos que possui maior impacto no espaço geográfico”, pois segundo a autora afetam diretamente vários setores da sociedade.

Zandonadi e Pascoalino (2012) destacam que o conhecimento sobre a distribuição espacial das chuvas constitui-se elementar na tomada de decisões para políticas públicas, como exemplo, para o abastecimento de água, construção de barragens para geração de energia elétrica, sendo possível conhecer e estabelecer relações entre oferta e demanda por água e suas interações com fatores climáticos regionais e até mesmo globais, como no caso das teleconexões estabelecidas com a dinâmica de temperatura das superfícies dos oceanos.

A distribuição temporal também é importante, pois, como já mencionado, permite caracterizar as condições climáticas que se estabeleceram para definir um determinado volume de chuvas em um mês, período ou ano, pois como Galvani e Lima (2012) mencionam, a sazonalidade das chuvas também influencia no planejamento de atividades econômicas de uma região, como o plantio de uma cultura em determinado período do ano. Sobre isto, Soares (2007) destaca que o regime de chuvas possui influência direta no balanço hídrico, afetando outras variáveis como a temperatura e disponibilidade hídrica, umidade relativa do ar, radiação solar que juntas possibilitam o crescimento e desenvolvimento da cultura.

Piccinini *et al.* (1993) ressalta que a distribuição espaço-temporal da pluviosidade traduz as características regionais influenciando na tomada de decisões buscando, por exemplo, minimizar impactos oriundos da irregularidade das chuvas. Monteiro (2016) em seu trabalho para o estado do Ceará destaca que a intensidade, a duração das chuvas ou a ausência dela, pode ter um efeito danoso no espaço geográfico, ocasionando inundações, enchentes, enxurradas, secas e estiagens.

Desta forma, nota-se a importância dos estudos de climatologia sobre a variabilidade pluviométrica, não só para identificar a sua distribuição espacial e temporal, mas inserir a dimensão social à sua análise, assim os estudos geográficos sobre a variabilidade climática assumem uma dimensão

qualitativa (SANT'ANNA NETO, 2008). Mas é inegável que a análise estatística possui relevância para o tratamento de dados climáticos, sendo necessário observar o objetivo da pesquisa e levar em consideração os novos paradigmas da climatologia geográfica.

2.1 Análises estatísticas em Climatologia Geográfica

A análise do clima pela geografia ganhou novos rumos com as propostas mencionadas acima, no mesmo passo que as discussões sobre as alterações no clima do Planeta pela ação antrópica ganharam notoriedade em grandes conferências globais sobre o meio ambiente e na mídia em geral. Assim, estudos sobre a variabilidade climática, definida como o estudo da “ciclicidade do clima, dos padrões atmosféricos e a periodicidade do fenômeno climático” (NASCIMENTO JÚNIOR, 2017, p. 96), passaram a ser mais aprofundados e difundidos para compreender o comportamento, e permite compreender se está inserido no contexto das mudanças/alterações climáticas ou se trata de uma característica daquele tipo de clima de uma área, assim a dimensão temporal torna-se bastante relevante para análise da variabilidade de um elemento climático (MONTEIRO, 1971b; NASCIMENTO JÚNIOR, 2016).

Neste sentido esta é um dos desafios de quem se propõe analisar a variabilidade dos elementos climáticos, haja vista que, como destaca Mendonça e Danni-Oliveira (2007) as séries para análise temporal precisam de dados meteorológicos de preferência superiores a 30 anos. Na realidade brasileira em que se tem uma má distribuição espacial de estações meteorológicas, bem como séries históricas curtas e com muitas falhas, algumas alternativas têm sido utilizadas na climatologia e meteorologia para suprir esta necessidade, como a utilização de dados espaciais obtidos por observações remotas, criação de algoritmos interpolares e modelos estatísticos matemáticas (BAYISSA *et al.*, 2017, COSTA *et al.*, 2019).

Nos estudos sobre a precipitação pluviométrica a utilização de alguns produtos tem alcançado bons resultados, os principais deles são: *WorldClim 30 arcosegundos* (WorldClim), *Climate Prediction Center Morphing Technique* (CMORPH), *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) e o *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS).

Castelhana, Pinheiro e Feltrim (2017) utilizaram dados do CMORPH, TRMM e CHIRPS para avaliar os dados sob Curitiba (PR) e obtiveram correlação significativa entre os dados do CHIRPS e de superfície na escala mensal. Com o CMORPH e o TRMM as correlações foram menores.

Sobreiro, Streher e Silva (2017) utilizando dados *WordClim*, TRMM e CHIRPS para uma região na Serra do Espinhaço em Minas Gerais, identificaram que os dados do TRMM também apresentaram boa correção com dados de superfície, porém possuindo baixa resolução. Já os dados do *WordClim* apesar de se mostrar confiável, o algoritmo de interpolação baseado “apenas em dados de estação de solo e topografia é mais dependente da densidade da rede pluviométrica”. Os autores ressaltam que os produtos do CHIRPS foram a melhor opção para utilização de dados na área estudada e possuem atualizações recentes.

Costa *et al.* (2019) comparando dados CHIRPS com 183 estações meteorológicas do INMET nas regiões brasileiras, encontrou coeficiente de determinação de 97% para o Brasil e para a região Nordeste, estabelecendo como confiáveis para utilização dos dados entre 1998 e 2010, período do estudo.

Outro desafio na análise de dados climáticos na Climatologia Geográfica se dá pela necessidade de utilização de técnicas estatísticas para o tratamento destas informações. Embora tenham sido incorporadas dimensões qualitativas na análise do clima, como a repercussão de fenômeno climático no espaço geográfico, a análise estatística ainda é bem relevante, entretanto, como já destaca Silvestre (2016), na formação dos geógrafos há uma deficiência no ensino de técnicas estatísticas e matemáticas, isso deve-se à ausência de disciplinas ou de grade curricular de contemple este conhecimento aplicado à geografia.

A definição da técnica estatística a ser utilizada dependerá do objetivo do trabalho, e vai desde cálculos simples que podem ser feitos em planilhas do excel até modelos mais robustos que necessitam da utilização de software específico. Silvestre (2016) apresenta detalhadamente diversas técnicas estatísticas que podem ser utilizadas nas análises de Climatologia Geográfica a partir de artigos publicados no Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica (SBCG) e na Revista Brasileira de Climatologia Geográfica

(RBClima). Resumidamente o quadro 1 apresenta os objetivos da análise e as técnicas que podem ser empregadas:

Quadro 1 – Objetivos da pesquisa e principais técnicas estatísticas

Objetivo da pesquisa	Técnica estatística
Preenchimento de falhas de dados	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Método de Ponderação Regional ✓ Regressão Linear Simples ✓ Regressão Linear Múltipla ✓ <i>Método da Ponderação regional com base em Regressões Lineares</i>
Análise exploratória de dados	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estatística descritiva: medidas de posição central (média, mediana, moda, quantil), medidas de dispersão (desvio padrão, variância, amplitude total ou intervalo total) desvio médios e outros, medidas de assimetria e curtose
Escolha de anos-padrão	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Fórmula de Sturges</i> ✓ <i>Boxplot</i> ✓ <i>Desvio-padrão em relação à média</i> ✓ <i>Análise de Agrupamentos</i>
Análise de tendências, rupturas e consistência	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Teste de Mann-Kendall para Tendência</i> ✓ <i>Proposta Teste de Daniel para Tendências</i> ✓ <i>Teste de Homogeneidade Normal Padrão (SNHT) para Ruptura</i> ✓ <i>Teste de Homogeneidade de Thom</i>
Interpolação de dados no espaço	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Geoestatística (Krigagem ordinária, validação cruzada. Krigagem de dados de precipitação)</i>
Regiões homogêneas e classificação climática	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Análise de Componente Principais (ACP)</i> ✓ <i>Análise Fatorial (AF)</i> ✓ <i>Análise de Agrupamento (AA)</i>

Fonte: Silvestre (2016), organizado pelo autor.

Destas técnicas citadas acima, algumas são utilizadas neste trabalho, dentre elas a análise multivariada para a definição das Regiões Pluviométricas Homogêneas e Interpolação de dados de chuva, além do Índice de Anomalia de Chuva que possibilita a identificação e caracterização da variabilidade das chuvas.

A definição de Regiões Pluviométricas Homogêneas na climatologia permite uma melhor caracterização espacial e temporal das chuvas, além de possibilitar uma melhor tomada de decisão, como por exemplo para a gestão de recursos hídricos. A utilização de técnicas estatísticas multivariadas é comum neste tipo de análise. Figueiredo Filho *et al.* (2016) define a análise

multivariada como sendo os procedimentos estatísticos que possibilitam avaliar diferentes características de uma amostra (população). De maneira geral, este tipo de análise permite explorar informações e relações entre variáveis que formam um banco de dados, bem como simplificar ou reduzir estrutura de dados, classificar objetos, observar a interdependência e relação de causalidade entre as variáveis.

A escolha da técnica a ser utilizada dependerá do objetivo da pesquisa, as técnicas mais utilizadas são: Análise Fatorial (AF), Análise dos Componentes Principais (ACP), Análise de Agrupamento (AA), Análise de Regressão Múltipla, Análise Discriminante e outras.

No trabalho de Malfatti, Cardoso e Hamburger (2018) para a Bacia Hidrográfica do rio Paraná foi aplicada a técnica de agrupamento (*cluster*) para identificar as regiões homogêneas de chuvas, bem como a interpolação por Krigagem para a espacialização dos dados das chuvas. Os autores consideraram confiáveis os resultados obtidos.

Alves *et al.* (2021) buscou identificar as regiões pluviométricas homogêneas para a Bacia do Médio São Francisco utilizando a análise de agrupamento ou de Cluster, a partir do método de Ward, identificando três regiões homogêneas para a área. Este mesmo método já havia sido utilizado por outros autores, no Piauí por Guedes, Macedo e Sousa (2012), em Minas Gerais por Melo Júnior *et al.* (2006) e por Souza *et al.* (2012) em Mato Grosso do Sul.

No Maranhão foi feita uma proposta de regiões pluviométricas por Menezes, Dantas e Sousa (2007) utilizando a Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento pelo método de Ward, identificando 4 regiões. No trabalho realizado por Menezes (2009) utilizando dados de pluviosidade de 76 postos da Agência Nacional de Águas (ANA) entre 1985 e 2004, encontrou 10 regiões homogêneas utilizando as mesmas técnicas dos autores anteriores. Já Nascimento *et al.* (2015) com banco de dados de 84 postos pluviométricos do INMET e ANA de 1985 a 2014 encontrou 5 regiões homogêneas, utilizando a Análise dos Componentes Principais e Análise de Agrupamento. A diferença entre os resultados destes trabalhos deu-se pela característica dos dados, Menezes, Dantas e Sousa (2007), por exemplo, padronizaram os dados de precipitação mensal para o período analisado.

Na análise espacial dos dados destaca-se a interpolação por Krigagem. Esta técnica foi originalmente utilizada na África do Sul por Daniel Gerhardus Krige e Herbert S. Sichel e posteriormente foi melhorada e passou-se a ser denominada de Geoestatística (SILVESTRE, 2016). Yamamoto e Ladim (2013, p. 55) destacam que a interpolação pelo método da Krigagem “fazem uso da função variograma, que não é simplesmente uma função da distância entre pontos, mas depende da existência ou não do efeito pepita, da amplitude e da presença de anisotropia”. O processo de Krigagem estima os valores de variáveis que estão distribuídas no espaço e calcula a partir de valores próximos, que são considerados interdependentes pelo semivariograma (LANDIM, 2003). O método de Krigagem possibilita uma boa representação de fenômenos geográficos contínuos, como a chuva e a temperatura (FLORES, 2000; MELLO; OLIVEIRA, 2016).

2.2 Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

Proposto por Rooy (1965), o Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) contribui para monitorar os anos de seca e chuva excessiva. É calculado a partir de uma série histórica e possibilita a comparação do regime pluviométrico de um local, bem como a caracterização da variabilidade espacial e temporal da precipitação.

Os trabalhos que utilizaram o IAC em sua metodologia possuem diversos objetivos. Sanches, Verdum e Fisch (2014) analisaram a variabilidade das precipitações anuais no município de Alegrete – RS entre os anos de 1928 a 2009 utilizando o IAC. Noronha, Hora e Silva (2016) realizaram uma pesquisa com objetivo de analisar a intensidade da anomalia temporal do regime de chuva na Microbacia de Santa Maria/Cambiocó, no estado do Rio de Janeiro. Moraes e Nery (2014) analisaram a interferência dos eventos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) na quantidade e na distribuição de chuvas, utilizando ainda o IAC para verificar a variabilidade temporal da chuva na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Paraíba do Sul.

No Nordeste Brasileiro, Silva *et al.* (2017) analisaram as precipitações anuais entre 1975 e 2016 em Petrolina – PE, indicando o grau de

severidade e duração dos períodos secos e chuvosos. Alves *et al.* (2016) calcularam o IAC para diferentes mesorregiões do estado de Pernambuco evidenciando os anos de secas e chuvosos bem como averiguaram os impactos do clima global sobre a distribuição pluviométrica local. Nóbrega, Santiago e Soares (2016) utilizando o IAC buscaram identificar relações entre a variabilidade temporal da precipitação em Pernambuco e as tendências das temperaturas da superfície do mar nos oceanos Atlântico Norte, Atlântico Sul, Pacífico Leste e Pacífico Central. Ribeiro (2016) utilizou o IAC para avaliar a variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Pajeú no Sertão Pernambucano. Silva *et al.* (2018) relacionaram o IAC com a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e ENOS na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú nos estados de Pernambuco e Alagoas.

Para o estado do Maranhão, Santos e Rodrigues (2016) avaliaram o IAC para a cidade de Imperatriz entre os anos de 1961-1990 e 1991-2011, e encontraram como resultado que o IAC variou significativamente entre períodos positivos e negativos.

De maneira geral, a utilização do IAC é uma das metodologias utilizadas para identificar e caracterizar a variabilidade pluviométrica de uma área, sobretudo quando seus resultados são analisados de forma a compreender a gênese do padrão estabelecido e as repercussões que ocorrem no espaço.

3 A ANÁLISE GEOGRÁFICA DOS DESASTRES

A utilização do termo desastre natural ainda tem sido objeto de inúmeras discussões na ciência, sobretudo por que muitas vezes o termo é utilizado de forma confusa e tendenciosa, o que dá margem para o entendimento de que desastre natural está associado apenas a ação da força da natureza contra a sociedade e esta concepção é muitas vezes utilizada pela mídia nas coberturas sobre desastres que possuem grandes proporções como os incêndios florestais, tsunamis, erupções vulcânicas, enchentes e outros (MONTEIRO; ZANELLA, 2016).

Nesta pesquisa entende-se desastre natural como um fenômeno oriundo da força natural que atua sobre os seres humanos, porém como resultante da relação entre um fenômeno perigoso e as condições socioeconômicas e ambientais vulneráveis de determinada população (ROMERO; MASKREY, 1993; CRUZ, 2003; MENDONÇA, 2011). Assim, um fenômeno natural passa a ser considerado desastre apenas quando este afeta uma população ou área povoada, e causa ainda mais impacto se afeta uma população que habita espaços com fragilidades no contexto físico-natural, bem como com maior vulnerabilidade social, possuindo menor poder de resposta em relação ao fenômeno e seus impactos (MONTEIRO, 2016).

Sobre esta perspectiva alguns pesquisadores e estudiosos da área já utilizam o termo desastre socionatural, com o intuito de desnaturalizar os fenômenos e dar ênfase às condições econômicas e sociais da população afetada (UGARTE CAVIEDES, 2015; HERRMANN, 2016; MONTEIRO; ZANELLA, 2019).

Castro (2004) no Glossário de Defesa Civil que é utilizado pela Secretaria Nacional de Defesa Civil, define desastres naturais como “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais” (CASTRO, 2004, p. 52). Nesta pesquisa, opta-se por utilizar apenas o termo desastre para referir-se a estes impactos.

No Brasil, a Lei nº 12.608 de 2012 que estabelece o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPEC) e a Política Nacional de

Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), foi um marco legal para a gestão de riscos, aspectos estruturantes, implantação e operacionalização da Defesa Civil nos seus diferentes níveis. Além disso, criou o Formulário de Informações do Desastre (FIDE), substituindo a Avaliação de Danos (AVADAN) e o Notificação Preliminar de Desastres (NOPRED), a Declaração Municipal de Atuação Emergencial (DMATE), e a Declaração Estadual de Atuação Emergencial (DEATE), criando ainda o Sistema Integrado de Informações de Desastres (S2ID), centralizando todos os registros de desastres naturais no Brasil. Estas modificações foram realizadas visando adequar-se às normas internacionais de gestão de risco (BRASIL, 2012b, 2012c; CEPED, 2013).

A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) (ANEXO A) também foram padronizadas acompanhando a classificação internacional, definindo 82 tipos de desastres entre as categorias natural (Geológico, hidrológico, meteorológico, climático e biológico), e tecnológico (Relacionados a Substâncias radioativas, a Produtos Perigosos, a incêndios urbanos, a obras civis e a transporte de passageiros e cargas não perigosas) (CEPED, 2013).

Os desastres podem ser classificados de acordo com sua intensidade e origem. A Instrução Normativa nº 2 de 20 de dezembro de 2016, define a intensidade dos desastres naturais em três níveis: nível I (pequena intensidade), nível II (média intensidade) e nível III (grande intensidade). Desta forma as intensidades dos desastres são descritas como:

§ 1º São desastres de nível I aqueles em que há somente danos humanos consideráveis e que a situação de normalidade pode ser restabelecida com os recursos mobilizados em nível local ou complementados com o aporte de recursos estaduais e federais.

§ 2º São desastres de nível II aqueles em que os danos e prejuízos são suportáveis e superáveis pelos governos locais e a situação de normalidade pode ser restabelecida com os recursos mobilizado sem nível local ou complementados com o aporte de recursos estaduais e federais;

§ 3º São desastres de nível III aqueles em que os danos e prejuízos não são superáveis e suportáveis pelos governos locais e o restabelecimento da situação de normalidade depende da mobilização e da ação coordenada das três esferas de atuação do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e, em alguns casos, de ajuda internacional.

§ 4º Os desastres de nível I e II ensejam a decretação de situação de emergência, enquanto os desastres de nível III a de estado de calamidade pública.

Art. 3º. Os desastres de nível II são caracterizados pela ocorrência de ao menos dois danos, sendo um deles obrigatoriamente danos

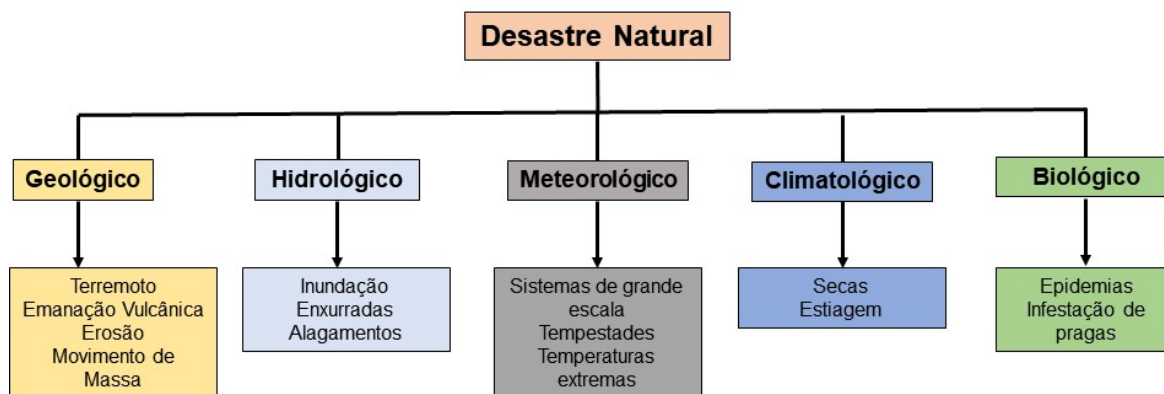
humanos que importem no prejuízo econômico público ou no prejuízo econômico privado que afetem a capacidade do poder público local em responder e gerenciar a crise instalada;

Art. 4º. Os desastres de nível III são caracterizados pela concomitância na existência de óbitos, isolamento de população, interrupção de serviços essenciais, interdição ou destruição de unidades habitacionais, danificação ou destruição de instalações públicas prestadoras de serviços essenciais e obras de infraestrutura pública (BRASIL, 2016).

Para a Defesa Civil entende-se por Situação de Emergência quando há alteração intensa e grave das condições de normalidade da área em razão de um desastre, comprometendo **parcialmente** sua capacidade de resposta, enquanto que Estado de Calamidade Pública se refere quando há o comprometimento **substancialmente** da capacidade de resposta do município, estado ou região, ou seja, a intensidade dos eventos e suas consequências são de suma importância para o processo de emissão de decretos (BRASIL, 2012a).

A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) divide os desastres quanto a origem em 5 grupos, são eles: geológico, hidrológico, meteorológico, climático e biológico, estes, por conseguinte são divididos em subgrupos (FIGURA 2).

Figura 2 – Classificação dos desastres



Fonte: COBRADE, elaborado pelo autor.

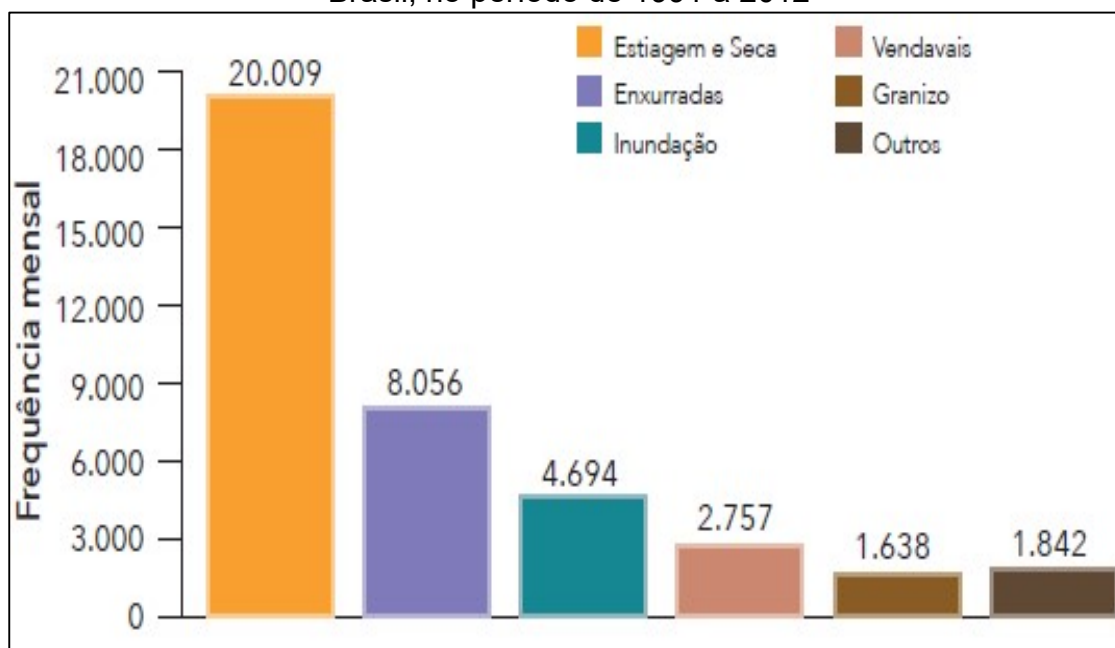
Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED, 2013), que levam em conta todas as notificações de decretos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) feito pela Defesa Civil, mostram que entre 1991 e 2012 tiveram 38.996 documentos oficiais de registros de Desastres, destes a estiagem e secas foram os que afetaram a

maior quantidade pessoas, representando 51% do total, seguido das enxurradas (20%) e inundações (12%). As enxurradas ocasionaram o maior número de vítimas fatais entre 1991 e 2012, com cerca de 58,15% do total de mortes. Como destaca Marcelino (2008):

A maioria dos desastres no Brasil (mais de 80%) está associada às instabilidades atmosféricas severas, que são responsáveis pelo desencadeamento de inundações, vendavais, tornados, granizos e escorregamentos. Com exceção das inundações graduais, esses fenômenos são súbitos e violentos, responsáveis por grande mortandade e destruição. Em virtude da velocidade, não há tempo para as pessoas procurarem abrigos ou salvarem parte dos bens existentes em suas casas (MARCELINO, 2008, p.17).

Os dados analisados entre 1991 e 2012 mostram que 20.009 registros estavam relacionados à estiagem e secas. Tais eventos, além de sua grande extensão territorial, produzem efeitos diretos na economia no país. Em seguida foram registrados 8.056 do tipo enxurradas e 4.694 de inundações (CEPED, 2013) (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 - Totais de registros dos desastres naturais mais recorrentes no Brasil, no período de 1991 a 2012



Fonte: CEPED, 2013.

Desta forma, neste trabalho são destacados os principais desastres registrados no Brasil: inundações, alagamentos, enxurradas, estiagem e secas. O quadro abaixo mostra as principais definições destes tipos de situações de desastres elaboradas por Castro (2004) (QUADRO 2):

Quadro 2 - Tipos de Desastres e Definição

Situação de desastre	Definição
Inundação	Transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas. Em função da magnitude, as inundações são classificadas como: excepcionais, de grande magnitude, normais ou regulares e de pequena magnitude. Em função do padrão evolutivo, são classificadas como: enchentes ou inundações graduais, enxurradas ou inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas.
Alagamentos	Água acumulada no leito das ruas e no perímetro urbano por fortes precipitações pluviométricas, em cidades com sistemas de drenagem deficientes.
Enxurradas	São eventos provocados por chuvas intensas e estão associadas as formas de relevo mais acidentados, produzem assim súbitas elevações dos caudais, bem como são caracterizados pela alta velocidade de escoamento e baixa previsibilidade (BRASIL, 2003). Nos sítios urbanos as enxurradas podem ser produzidos pela reduzida rugosidade dos materiais da superfície (asfalto, calçados), gerando um fluxo intenso.
Estiagem	Período prolongado de baixa pluviosidade ou sua ausência, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição.
Secas	1. Ausência prolongada, deficiência acentuada ou fraca distribuição de precipitação. Do ponto de vista meteorológico, a seca é uma estiagem prolongada, caracterizada por provocar uma redução sustentada das reservas hídricas existentes (seca meteorológica) 2. Período de tempo seco, suficientemente prolongado, para que a falta de precipitação provoque grave desequilíbrio hidrológico, inclusive afetando a disponibilidade para o consumo (seca hidrológica). 3. Numa visão socioeconômica, a seca depende muito mais das vulnerabilidades dos grupos sociais afetados que das condições climáticas (seca socioeconômica).

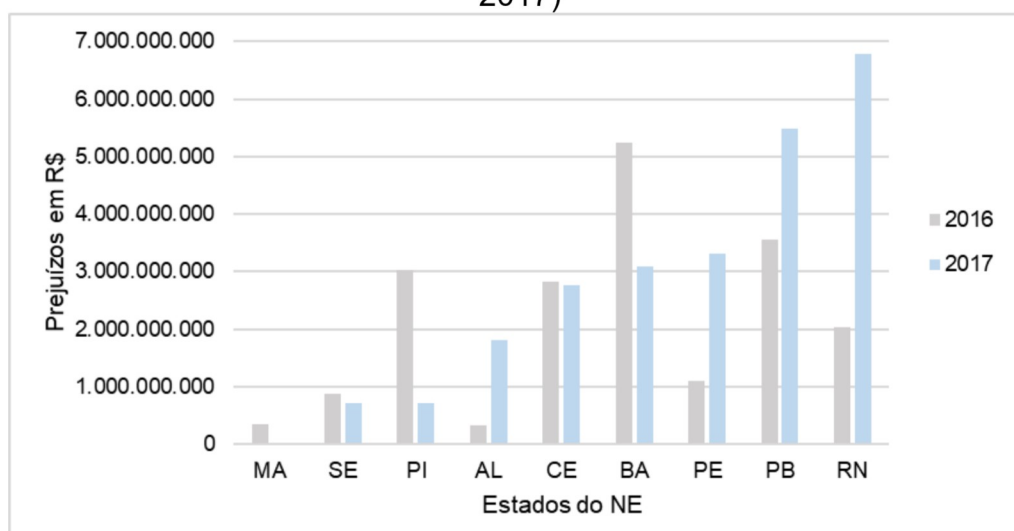
Fonte: Castro, 2004.

No Brasil, segundo a Confederação Nacional dos Municípios (CNM) estima-se que os prejuízos causados por desastres naturais entre 2012 e 2017 foram de R\$ 244,9 bilhões, com cerca de 53,6 milhões de pessoas afetadas. Ainda segundo a CNM, a região Nordeste foi a que teve mais prejuízos, sobretudo motivada pela seca, prejuízos em torno de R\$ 105,6 bilhões (CNM, 2018).

Embora a região Nordeste destaque-se com o elevado número de registros de desastres, o estado do Maranhão apresenta, quando comparado com os outros estados da região, prejuízos e número de reconhecimentos relacionados a escassez hídrica (estiagem e seca) mais baixos.

No trabalho de Olímpio (2017) observou-se que os reconhecimentos de situações de desastres relacionados à estiagem passaram a ser registrados apenas em 2010 e também não há nenhum registro de seca entre 2003 e 2014. Quanto aos prejuízos, o gráfico abaixo elaborado com dados da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) é possível notar a diferença do estado do Maranhão com outros estados da região Nordeste nos anos de 2016 e 2017 (GRÁFICO 2).

Gráfico 2 – Prejuízos com Desastres Naturais nos estados do Nordeste (2016-2017)



Fonte: SEDEC, 2018, elaborado pelo autor.

Estima-se que os valores no Maranhão ficaram em torno de R\$ 345.567.976 em 2016 e R\$ 6.992.030 em 2017. Embora este cenário seja um pouco mais favorável ao estado, Olímpio (2017) quando da construção do indicador de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais dos municípios do Nordeste considerando variáveis socioeconômicas, identificou que parte considerável do estado do Maranhão possui vulnerabilidade muito alta. Segundo o autor esta característica retrata “os reduzidos níveis de resistência e capacidade de adaptação das unidades municipais aos fenômenos da seca, bem como a outros processos potencialmente geradores de desequilíbrios” (OLÍMPIO, 2017, p. 216).

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa é norteada a partir da Abordagem Socioambiental proposto por Mendonça (2001, 2002, 2004, 2009, 2010). A Abordagem Socioambiental busca transcender as diferenças que ao longo da construção do pensamento geográfico foram atribuídas à Geografia Física e Geografia Humana, numa tentativa de superar essa dicotomia a partir da interação entre os elementos e fatores que interagem com as duas concepções, trazendo então a relação entre a sociedade e a natureza como elemento essencial para a produção do espaço geográfico, objeto de estudo da Geografia.

Mendonça (2004) enfatizando a Abordagem Socioambiental destaca que os problemas e questões enfocados na perspectiva ambiental são, sobretudo, de ordem social, dada que a noção de problema é uma abstração exclusivamente humana, porém parece ficar mais evidente que os riscos e impactos de fenômenos tidos como naturais tenham maior repercussão sobre a população mais pobre do planeta.

Desta forma, a concepção apresentada introduziu uma nova linha de discussão no contexto das análises de desastres na Geografia, trazendo à luz a perspectiva da compreensão dos mesmos através das incertezas e instabilidade dos processos sociais e naturais do espaço geográfico (MENDONÇA, 2011).

4.1 Procedimentos Técnicos

4.1.1 *Revisão de Literatura e dados secundários*

Na primeira etapa da pesquisa foi feita a revisão bibliográfica dos conceitos abordados, tais como variabilidade pluviométrica, uso de imagens de satélite para obtenção de dados de pluviosidade, caracterização ambiental e sistemas atmosféricos atuantes no estado do Maranhão e outros, a fim de construir a fundamentação teórica do trabalho, bem como foi feita a busca por outras publicações e relatórios com a temática no Brasil e Mundo.

Na construção da caracterização ambiental do estado do Maranhão fez-se a elaboração de diversos mapas no QGis 3.16.10 a partir de

informações e malhas digitais já disponibilizadas em diferentes entidades que são destacadas abaixo (QUADRO 3):

Quadro 3 – Informações sobre dados secundários

Mapa	Informação	Fonte do dado
Geologia	Províncias estruturais do Brasil	IBGE, 2019
Hipsometria	Imagem SRTM (2002)	NASA, 2002
Geomorfologia	Compartimentos do relevo	IBGE, 2019
Hidrografia	Bacias e sistemas hidrográficos do Maranhão	NUGEO/UEMA, 2015
Solos	Distribuição Geográfica dos solos	EMBRAPA (2017)
Clima	Temperatura máxima, média compensada e mínima (°C)	Normais climatológicas do INMET (1981-2010)
	Umidade relativa do ar (%)	
	Pressão Atmosférica ao nível de Barômetro (hPa)	
	Classificação climática de Thorntwaite (1948)	NUGEO/LABMET, 2002
	Pluviosidade	CHIRPS anual (1989-2019) e mensal (1989-2020), USGS (2021)
	Intensidade e direção do vento anual	Meteoblue (2021) ²
Anomalias de TSM dos Oceanos	Anomalias de TSM do Atlântico	Dipolo Servain do Atlântico (FUNCEME)
	Anomalias de TSM do Pacífico	NOAA/NCEP
	Anomalia mensal da temperatura da superfície do mar (imagens)	NOAA/NCEP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para elaboração de todos os mapas utilizou-se a malha digital do estado do Maranhão disponibilizada pelo IBGE (2020)³. A construção do mapa de hipsometria seguiu os seguintes procedimentos: correção e remoção das depressões e topos inexistentes nas imagens de radar do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) utilizando neste processamento a ferramenta *fillskins* no QGIS, posteriormente sendo feita reclassificação a partir das

² Dados disponíveis no site: <https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/>. Acesso aos dados se seu para fins não-comerciais (BY-NC).

³ Disponível para download em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>

ferramentas raster, análise de terreno, relevo/declividade conforme utilizado por Sobrinho *et al.* (2010).

Os dados de TSM do Atlântico foram obtidos a partir da base de dados disponibilizado no site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) (http://www.funceme.br/?page_id=2723). Trata-se dos dados mensais do Dipolo Servain do Atlântico, considerando os índices maiores que como Dipolo Positivo e menos que – como Dipolo Negativo (LIMA FILHO, 2016). Já para as anomalias do Pacífico, buscou-se os dados no site do *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* e no *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)* que disponibiliza a média de 3 meses do Índice de Niño Oceânico (ONI) para as anomalias da região Niño 3.4. As imagens das anomalias mensais de TSM foram obtidas no site do *International Research Institute for Climate and Society (IRI)*⁴.

Os gráficos dos dados de clima foram elaborados utilizando planilhas de dados do Excel a partir de dados disponibilizados pelo INMET das normais climatológicas de 1981-2010, exceto intensidade e direção de vento que são disponibilizados no site meteoblue.com, além disso, optou-se por fazer a interpolação utilizando os dados das normais climatológicas das estações meteorológicas convencionais do INMET no Maranhão a partir da técnica de Krigagem, que trata-se de uma técnica capaz de associar a variabilidade da estimativa com base na distância entre um par de pontos utilizando-se de um semivariograma (GALLARDO, 2006). A interpolação da chuva foi feita com a normal climatológica anual entre 1989-2019 dos 217 municípios obtida a partir de dados do CHIRPS, após tratamento destas informações.

Os contornos foram extraídos após o processo de interpolação e utilizou-se os seguintes valores de equidistâncias: isoietas (150mm), isotermas das temperaturas média (0,1°C) e das temperaturas máximas e mínimas (0,5°C), isotacas (0,5m.s⁻¹), isóbaras (5hPa) e isoígras para umidade (5%).

⁴ Imagens disponibilizadas no site: http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Ocean_Temp/

4.1.2 Obtenção e tratamento dos Dados do CHIRPS - Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations

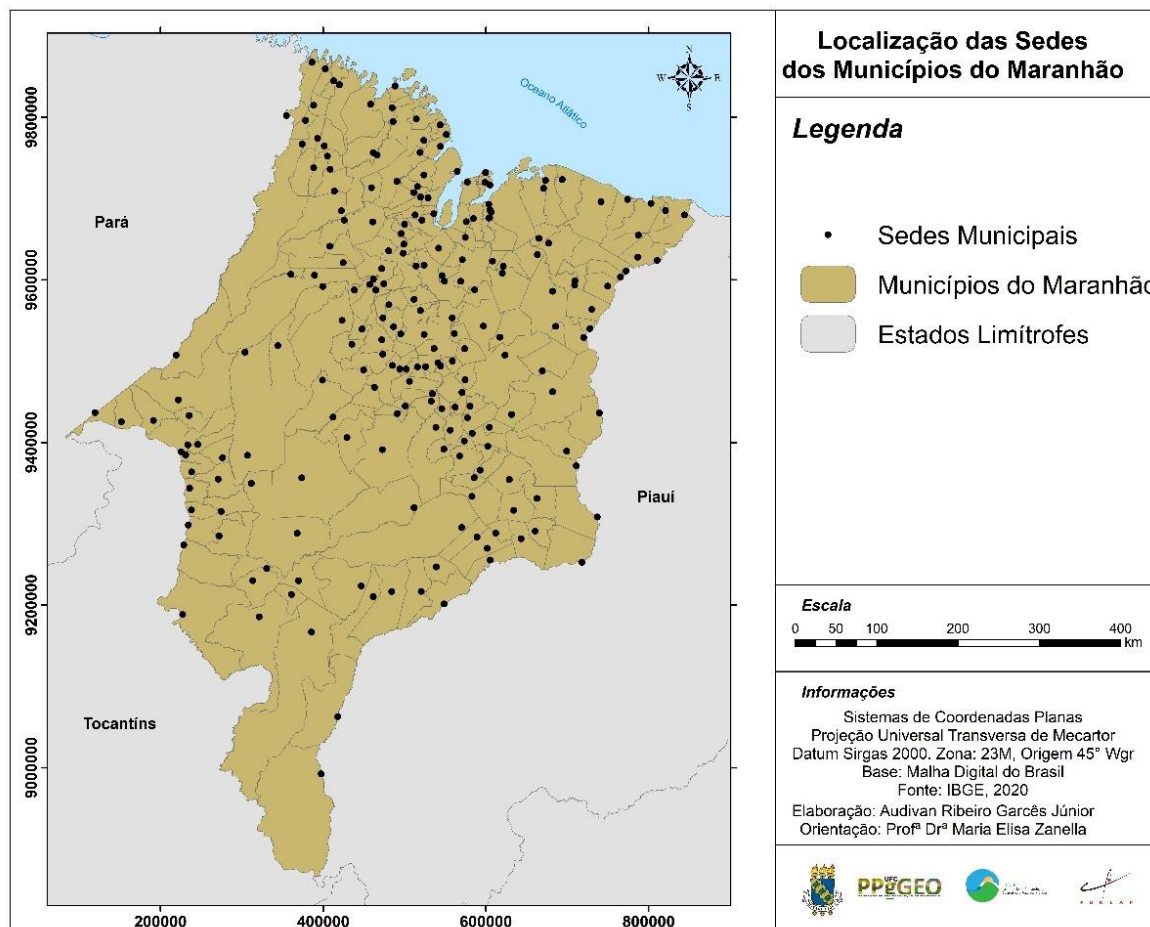
Trata-se de um conjunto de dados de precipitação desenvolvido pela *United States Geological Survey (USGS)* e pelo *Climate Hazards Group at the University of California, Santa Barbara (UCSB)*. As imagens do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations – CHIRPS* são uma opção para utilização de dados precipitação pluviométrica em áreas onde há má distribuição de estações meteorológicas com dados superficiais, até por que as estimativas geradas são combinações de dados de satélite com dados de superfícies na escala diária a partir da técnica *Cold Cloud Duration (CCD)* (COSTA *et al.*, 2019).

Os dados possuem uma cobertura espacial entre as latitudes de 50°S e 50°N com resolução espacial de 0,05°, ou seja, aproximadamente 5 km em áreas próximas ao equador. Os dados são disponibilizados no site <https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/> nas escalas temporais diária, pentadal, mensal e anual desde 1981 até os dias atuais e podem ser obtidas a partir das imagens no formato .tif.

Para este trabalho foram baixadas as imagens mensais entre os anos de 1989 e 2020 e para a escala anual estavam disponíveis as imagens entre 1989 e 2019. Após este procedimento as imagens foram importadas para o software QGIS 3.16.10 onde foram extraídos os dados utilizando a ferramenta *point sample* que realiza a extração de valores de cada pixel a partir do arquivo vetorial do tipo ponto, este arquivo trata-se das sedes dos 217 municípios do estado do Maranhão disponibilizado pelo IBGE (IBGE, 2020) (FIGURA 3).

Ressalta-se que para obter o acumulado anual de 2020, já que a imagem não estava disponível, fez-se a soma dos dados mensais de 2020 que já estavam disponíveis e posteriormente a interpolação destes dados utilizando a técnica geoestatística de Krigagem.

Figura 3 – Localização das sedes municipais do Maranhão



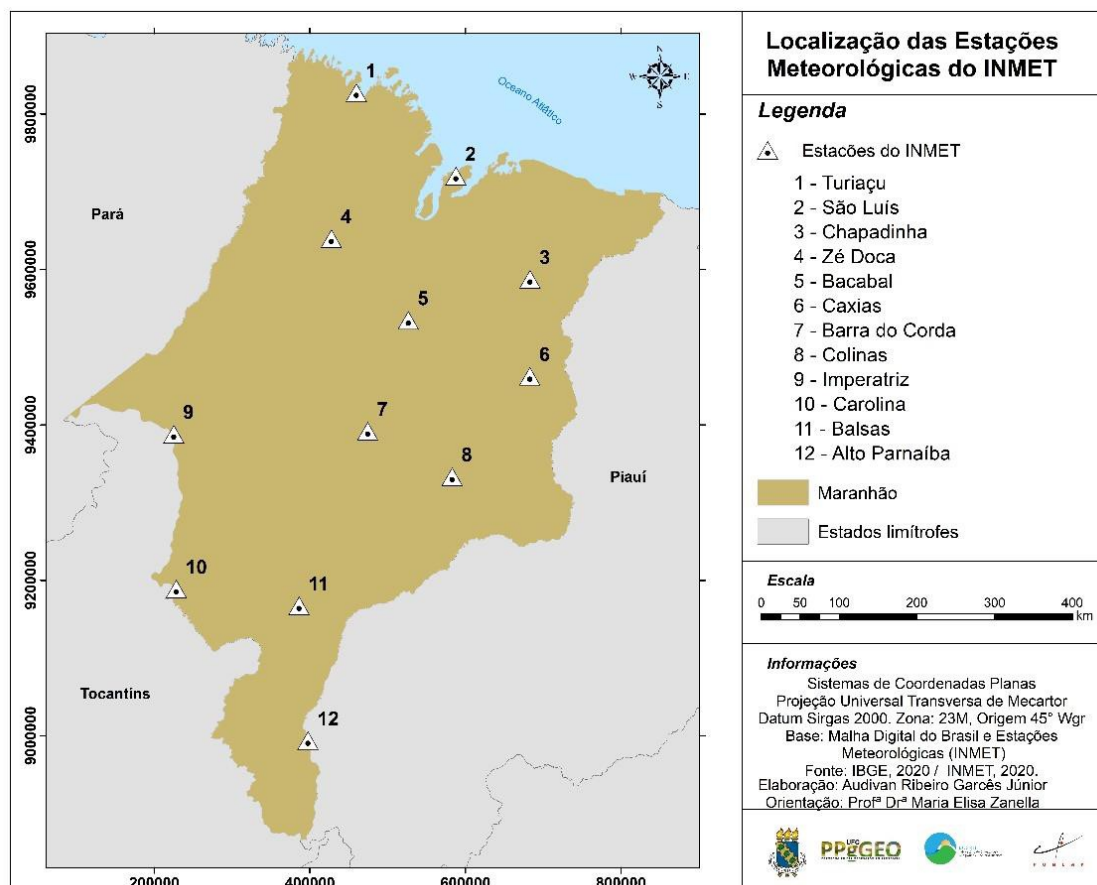
Fonte: Dados do IBGE (2020). Elaborado pelo autor.

Os dados resultantes destas extrações foram exportados para planilhas do Excel para serem analisados e correlacionados com os dados das estações meteorológicas do INMET no estado.

4.1.3 Correlação entre os dados do INMET e CHIRPS

Para validação das informações obtidas fez-se uma análise estatística de correlação entre os dados anuais de 1989 a 2019 do CHIRPS e das 12 estações meteorológicas convencionais distribuídas no estado do Maranhão para o mesmo período disponibilizados no Banco de Dados Meteorológicos do INMET (<https://bdmep.inmet.gov.br/>) (FIGURA 4).

Figura 4 – Localização das estações meteorológicas o INMET



Fonte: Dados do IBGE (2020). Elaborado pelo autor.

Retirou-se desta análise os dados das seguintes estações e anos devido a ausência e falhas de dados no banco do INMET: Alto Parnaíba (2019), Bacabal (2019), Balsas (2018), Caxias (1992, 2016, 2018 e 2019) e Imperatriz (1999, 2000 e 2016).

Utilizou-se no software R o pacote de dados *Performance Analytics*, que possui a função *chart.correlation* que além de calcular a Correlação de Person, gera o diagrama de dispersão, identifica a significância do coeficiente e a distribuição das variáveis.

Optou-se por fazer a Correlação linear de Person (r) na qual se infere sobre o grau de relacionamento entre duas variáveis numéricas, tratando-se de uma estatística amostral que varia entre -1 e +1, obtido a partir da fórmula abaixo (BATTISTI; SMOLSKI, 2019):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde n é número de pares na amostras, x é o valor da variável x , y o valor da variável y , \bar{x} é a média dos valores de x e \bar{y} é a média de valores de y . Segundo Callegari-Jacques (2009) os valores obtidos no Coeficiente de Person podem ser interpretados da seguinte forma (TABELA 1):

Tabela 1 – Categorização dos valores do Coeficiente de Correlação de Pearson

Intervalo de r	Intensidade da correlação linear
$r = 0$	Nula
$0 < r \leq 0,3$	Fraca
$0,3 < r \leq 0,6$	Moderada
$0,6 < r \leq 0,9$	Forte
$0,9 < r \leq 1,0$	Muito forte
$r = 1$	Perfeita

Fonte: Adaptado de Callegari-Jacques (2009).

Na correlação entre os dados foi possível identificar correlação muito forte em 5 estações e correlações fortes em 7 delas. Estes dados são melhor detalhados nos resultados deste trabalho. O nível de significância (p) da correlação também foi testada, trata-se de uma forma de comprovar se a correlação é verdadeiramente significativa. Para tanto fez-se o teste de hipótese na qual tem-se a hipótese nula (H_0) assumindo que $p=0$ e a hipótese alternativa (H_1) que $p \neq 0$. Então para que haja significância a hipótese nula precisa ser rejeitada. Na representação gráfica obtida no software R, a quantidade de asterisco representa o nível de significância, no caso dos resultados encontrados tem-se três asteriscos que representam uma significância representativa no valor de $\alpha \leq 0,001^5$.

Desta forma, validado o uso dos dados do CHIRPS, estes foram utilizados para espacialização da pluviosidade no estado do Maranhão possibilitando a geração de mapas no QGis 3.16.10. Utilizou-se a interpolação por Krigagem dos 217 pontos inseridos no shape do referido estado. Foram gerados mapas do acumulado anual entre 1989 e 2020. Sendo possível assim inferir sobre a caracterização da pluviosidade para o período bem como a variabilidade deste elemento climático para o estado.

⁵ No software R a significância é dada pelos seguintes códigos: *** [0; 0,001]; ** (0,001; 0,01]; * (0,01; 0,05]; · (0,05, 0,1]. Informação disponível em: <https://www.statology.org/significance-codes-in-r/>

4.1.4 Análise multivariada com os dados CHIRPS

Com a validação dos dados do CHIRPS prosseguiu-se para a tentativa de identificar o padrão espacial e temporal da pluviosidade e regionalizar este padrão de pluviosidade no estado. Para atingir tal objetivo utilizou-se a técnica da Análise Estatística Multivariada no software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versão 20. As duas técnicas utilizadas tratam-se da Análise Fatorial e da Análise de Agrupamento.

A Análise fatorial consiste na abordagem estatística usada para analisar as inter-relações entre as variáveis, agrupando as informações contidas em grupo de variáveis originais em um conjunto menor de variáveis. Para extração dos fatores foi utilizado a técnica de Análise de Componentes Principais (ACP).

A Análise de Componentes Principais (ACP) é capaz de encontrar um número menor de dimensões que podem explicar o comportamento das variáveis originais (MATOS; RODRIGUES, 2019). Desta forma, neste trabalho a utilização da ACP teve como objetivo reduzir a dimensão das variáveis por meses afim de identificar o padrão temporal e espacial das chuvas no estado do Maranhão. O banco de dados foi organizado em 217 linhas, que são os municípios e em 12 colunas que representam os acumulados normais mensais entre 1989 e 2020 de cada município. As variáveis não foram padronizadas haja vista que apresentam a mesma dimensão (BÖHRINGER; JOCHEM, 2007).

Para utilização da técnica de ACP na análise fatorial, primeiramente fez-se necessário um exame dos pressupostos estatístico no banco de dados afim de identificar se era possível realizar uma análise fatorial, os pressupostos foram os seguintes: identificação de *missing values*, *outliers*, normalidade multivariada, correlação entre variáveis e confiabilidade dos dados. Na primeira etapa identificou-se inexistência de *missings*, no entanto foram encontrados *outliers* em quase todas as variáveis, porém isso deve-se a natureza do banco de dados, considerando que a pluviosidade é um elemento que se distribui de forma diferenciada no espaço.

Para normalidade aplicou-se o teste de Shapiro-Wilks, que é recomendado para amostras maiores de 50, encontrando $p < 0,05$ em todas as

variáveis e desta forma aceitando a hipótese alternativa de que a distribuição da amostra não possui distribuição normal. No entanto, dada a natureza do banco de dados optou-se por assumir a normalidade pela teoria do limite central que diz que à medida que o tamanho da amostra aumenta, a distribuição amostral da média converge para uma distribuição normal (RENCHER, 2003; MONROY; GUILLERMO, 2012).

A correlação entre as variáveis é um dos pressupostos mais importantes para a análise fatorial. Segundo Matos e Rodrigues (2019) a análise fatorial só fará sentido se as variáveis forem altamente correlacionadas. A correlação entre as variáveis foi analisada a partir da técnica de MSA (*Measure of Sampling Adequacy*). Após análise da matriz anti-imagem de correlação identificou-se alto grau de correlação entre as variáveis, já que todas os valores obtidos foram superiores a 0,5 (APÊNDICE A). Além de observar a matriz de correlações, foi calculada a estatística de Kaise-Meyer-Olkin (KMO) que se refere a verificar a adequabilidade da amostra, o valor obtido foi de 0,861 (TABELA 2). Para Fávero (2009) a adequação para análise fatorial é boa. Além disso, o teste de esfericidade de Bartlett encontrou valor de 4348,01 e $p < 0,001$, ou seja, confirmando que a análise fatorial pode ser utilizada no banco de dados.

Tabela 2 - Valores da KMO e sua adequação para análise fatorial

Estatística KMO	Adequação para Análise Fatorial
1,0	Muito
0,8 < 0,9	Boa
0,7 < 0,8	Média
0,6 < 0,7	Razoável
0,5 < 0,6	Má
< 0,5	Inaceitável

Fonte: Fávero (2009).

O Alpha de Cronbach's foi utilizado para medir a consistência interna do banco de dados, bem como mensurar a confiabilidade, o valor do α foi de 0,756, que segundo Sarstedt e Mooi (2014) valores entre 0,75 e 0,90 são considerados de alta confiabilidade.

Com o banco de dados considerado adequado para análise fatorial fez-se então a aplicação da técnica da ACP, optando por definir o número de componentes principais retidos pelo critério de Kaiser (KAISER, 1959) na qual são retidos autovalores superiores a 1. Utilizou-se ainda a rotação dos fatores

pelo método *varimax*, que consiste num método ortogonal afim de minimizar o número de variáveis com altas cargas associando a variável num único fator. Este procedimento facilita a interpretação dos fatores (FIELD *et. al.*, 2012).

Como resultado foram obtidos valores de comunalidade para as 12 variáveis superiores a 0,5, que segundo Hair *et al* (2005) valores de comunalidade superiores a 0,5 são considerados satisfatórios. Esta é uma medida que revela o quanto da variância de uma variável é explicada pelo conjunto de fatores, ou seja, comunalidades com valores mais próximas de 1 menor será a perda de informação relativa à variável (TABELA 3).

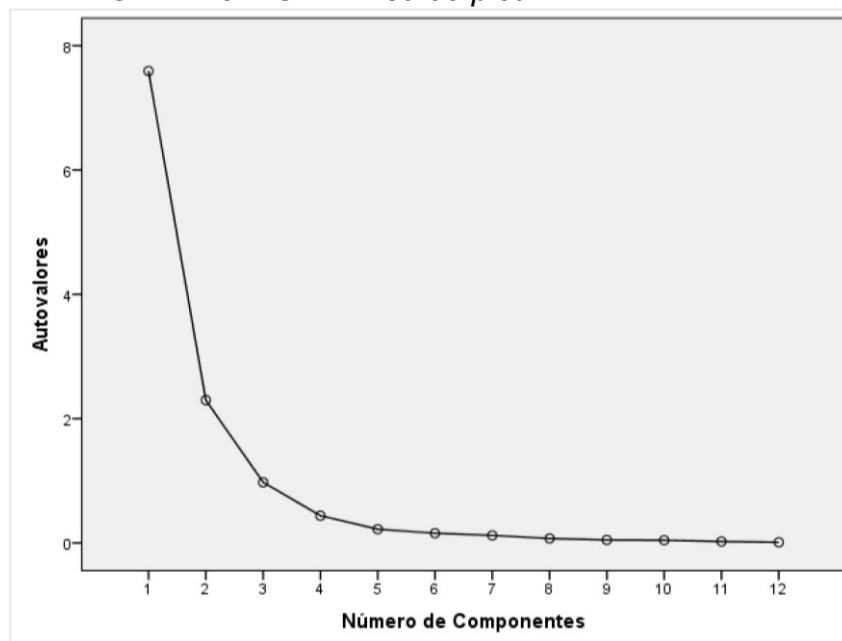
Tabela 3 – Valores das comunalidades de cada variável

Variável	Comunalidade
Jan	0,624
Fev	0,764
Mar	0,822
Abr	0,868
Mai	0,927
Jun	0,859
Jul	0,809
Ago	0,672
Set	0,783
Out	0,900
Nov	0,929
Dez	0,935

Fonte: Elaborado pelo autor.

No diagrama de declividade (GRÁFICO 3) é possível identificar que a partir do fator 4 a curva da variância individual torna-se mais horizontal com um percentual pouco representativo.

Gráfico 3 – Gráfico scree plot obtido no SPSS



Fonte: Dados da pesquisa.

Além da análise gráfica, o quadro da variância explicada mostra o número de fatores comuns extraídos e a porcentagem da variância total explicada retida pelo critério de Kaiser (autovalor > 1) (HAIR *et al*, 2005). Foram então, obtidos 12 fatores, porém apenas os dois primeiros tiveram maior representatividade, com uma variância acumulada de 82,4%, ou seja, estes dois primeiros fatores são capazes de explicar 82,4% da variabilidade dos dados, os restantes dos fatores explicam 17,6%. Com a rotação dos fatores nota-se que o fator 1 representa cerca de 57,9% da variância acumulada (QUADRO 4). Desta forma, assumiu-se que um modelo com 2 fatores é o mais adequado para representar o conjunto de dados.

Quadro 4 – Autovalores e % da variância dos fatores extraídos

Fator	Sem rotação			Com rotação		
	autovalor	% de variância explicada	% de variância acumulada	autovalor	% de variância explicada	% de variância acumulada
1	7,592	63,269	63,269	6,955	63,269	57,957
2	2,298	19,149	82,418	2,935	19,149	82,418
3	0,975	8,127	90,545			
4	0,439	3,657	94,202			
5	0,221	1,841	96,044			
6	0,156	1,304	97,347			
7	0,122	1,015	98,362			
8	0,071	0,594	98,956			
9	0,048	0,402	99,358			

10	0,043	0,362	99,720			
11	0,023	0,192	99,912			
12	0,011	0,088	100,000			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para finalizar, a ACP apresenta o quadro de cargas em relação à variável e componente principal, ou seja, identifica a importância daquela variável na formação do componente principal. Para Ho (2006) cargas fatorais superiores a 0,33 podem ser consideradas aceitáveis, sendo que para este estudo optou-se por adotar cargas acima de 0,5. No quadro abaixo é possível identificar que os meses de Fev, Mar, Abr, Jun, Jul e Ago compõem a componente 1, enquanto que os meses de Set, Out, Nov e Dez formam a componente 2, o mês de Jan possui cargas importantes nas duas componentes, porém com maior representatividade na componente 2 (0,663) (TABELA 4).

Tabela 4 – Valores das cargas fatorais de cada variável em relação aos componentes

Meses	Componentes	
	1	2
Jan	0,429	0,663
Fev	0,850	0,204
Mar	0,905	-0,059
Abr	0,888	-0,281
Mai	0,936	-0,224
Jun	0,896	-0,238
Jul	0,876	-0,203
Ago	0,810	0,126
Set	-0,024	0,885
Out	-0,695	0,646
Nov	-0,722	0,639
Dez	-0,579	0,775
Alfa de Cronbach	0,928	0,956

Fonte: Elaborado pelo autor.

A confiabilidade dos dois componentes também foi testada por meio do Coeficiente alfa de Cronbach e chegaram aos valores de 0,928 na componente 1 e 0,956 na componente 2, sendo as duas consideradas de alta confiabilidade. Ressalta-se que a análise temporal apresentada nos resultados dos valores de cargas fatorais é possível identificar o padrão temporal das

chuvas no estado, com um período chuvoso que caracteriza a porção centro-norte do estado representando a Componente 1 e outro padrão temporal de chuva na porção centro-sul que representa a Componente 2, sendo que isto será detalhado nos resultados deste trabalho.

Os escores fatoriais que são obtidos para cada observação, neste caso os municípios, representam o produto entre as cargas fatoriais e o valor das variáveis, assim para cada componente foi gerado um escore fatorial, isto representa o padrão espacial de cada componente. Para isto utilizou-se a técnica de interpolação pelo Método de Krigagem no software QGis 3.16.10 para especializar os valores dos escores obtidos para cada município na componente 1 e 2.

Outra técnica da estatística multivariada utilizada foi a Análise de Agrupamento (AA), que segundo Malhotra (2006) propicia a classificação de casos ou objetos em grupos que possuem características homogêneas, ou seja, formando agrupamento que possuem semelhanças entre si, está técnica também é chamada de análise de cluster. Neste trabalho utilizou-se AA para agrupar os municípios que possuem características de pluviosidade ao longo do ano semelhantes e desta forma gerar as regiões pluviométricas homogêneas do estado do Maranhão. Os dados utilizados foram os mesmo da ACP, o acumulado normal mensal entre 1989 e 2020 da CHIRPS para os 217 municípios maranhenses.

Utilizou-se na análise de agrupamento o procedimento hierárquico, na qual se inicia com o cálculo das distâncias entre uma amostra e todas as demais, e estes grupos são formados por um processo de aglomeração ou divisão. Neste trabalho utiliza-se o processo de aglomerativo baseado na variância, denominado de método de Ward. Utilizou-se a medida de similaridade definida pela Distância Euclidiana, dada pela fórmula abaixo:

$$d(X_l, X_k) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (X_{il} - X_{ik})^2}$$

Onde, X_i = i-ésima variável ($i = 1, \dots, p$) e l e k representam os valores das amostras. Os valores obtidos são representados num gráfico denominado de dendograma e a partir da observação deste optou-se por utilizar o agrupamento com 5 classes (APÊNDICE B). Fez-se então a análise espacial

destas informações atribuindo a cada município o seu devido número do cluster (agrupamento), dividindo o estado do Maranhão em 5 Regiões Pluviométricas Homogêneas, gerando um mapa no software QGis 3.16.10. Fez-se ainda o cálculo das médias mensais de cada região utilizando planilhas do excel, onde foi possível também gerar os gráficos destas informações, afim de caracterizar a pluviosidade de cada uma destas regiões geradas na análise de agrupamento.

4.1.5 Obtenção e análise dos dados de Desastres

O banco de dados sobre os desastres foi formado a partir dos registros de Reconhecimentos Federais de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública realizados pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC). Estes dados estão disponibilizados no Sistema Integrado de Informações de Desastres Naturais (S2iD) (<https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>). Este sistema foi criado em 2012 e passou a centralizar as informações sobre os reconhecimentos federais. O banco de dados históricos possui dados entre 2003 e 2016, desta forma para esta pesquisa utilizou-se os dados registrados na série histórica no sistema para o Estado do Maranhão. Os dados referentes aos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020 foram obtidos a partir do banco de relatórios também no S2iD.

Considerou-se então apenas os registros de portarias publicadas no Diário Oficial da União para os tipos de desastres: seca, estiagem, enxurradas, inundação, enchentes e alagamentos. Sobre os tipos de desastres, cabe ressaltar que estes que foram definidos são os que mais ocorrem no estado do Maranhão e estão diretamente relacionados à variabilidade da pluviosidade. Na análise optou-se por agrupar enchentes e inundações, pois apresentam características semelhantes.

A temporalidade dos dados (2003 a 2020) se deve a inconsistência nos registros antes do ano de 2003, e a ausência de informações no banco do S2iD, já que antes desse período não havia a centralização na esfera federal destas informações. Algumas informações descritas nos relatórios precisaram ser retificadas, pois alguns dados apesar de estarem com datas do decreto

corretas foram identificados em relatórios em anos posteriores, pois estavam organizados de acordo com a data de publicação no Diário Oficial. Estas correções ocorreram nos seguintes relatórios: 2010 que apresentou 77 portarias de 2009; 2014 que possuía 15 portarias de 2013 e 2016 com duas portarias de 2015.

Posteriormente a esta etapa fez-se a tabulação dos dados utilizando as planilhas do Excel®, onde foi possível a criação de gráficos e tabelas por tipos de desastres ao longo da série histórica. Nos mapeamentos no QGis 3.16.10 utilizou-se os shapes de municípios do estado do Maranhão disponibilizado pelo IBGE (2020) e foi possível elaborar mapas da distribuição espacial e temporal do total de desastres e por tipo de desastre. Para a definição da frequência de desastres fez-se uma análise de agrupamento não-hierarquizado pelo método K-médias no SPSS®, definindo 3 classes para cada análise, na qual o software organizou da seguinte forma (TABELA 5):

Tabela 5 – Frequência e classes do total de desastres

Frequência	Classes
Alta	5 a 7
Média	2 a 4
Baixa	0 a 1

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.6 Cálculo e análise do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC)

Proposto por Rooy (1965), o Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) contribui para monitorar os anos de seca e chuva excessiva. É calculado a partir de uma série histórica e possibilita a comparação do regime pluviométrico de um local, bem como a caracterização da variabilidade espacial e temporal da precipitação. Nesta pesquisa é utilizado com o objetivo de fazer uma análise integrada com as informações de Desastres entre 2003 e 2020.

Os dados meteorológicos utilizados foram gerados a partir das imagens do CHIRPS e posteriormente validados como mencionado anteriormente. Os dados referem-se aos 217 municípios entre 1989 e 2020 e foram organizados utilizando as planilhas do Excel, onde também foi feita a aplicação da fórmula do IAC afim de identificar a frequência de anos secos e chuvosos e a intensidade, para anos de anomalias positivas e negativas. A

média anual de cada município foi calculada também a partir desta série histórica e utilizado como parâmetro para separação do acumulado anual acima ou abaixo da média e posteriormente aplicado às fórmulas:

- Para anos com anomalias positivas: $IAC = 3 * \left[\frac{N - \bar{N}}{\bar{M} - \bar{N}} \right]$

- Para anos com anomalias negativas $IAC = -3 * \left[\frac{N - \bar{N}}{\bar{X} - \bar{N}} \right]$:

Onde: N= precipitação (mm) atual do período analisado; \bar{N} = precipitação (mm) média da série histórica (mm) entre 1989 e 2020; \bar{M} = média das dez maiores precipitações da série histórica e; \bar{X} = a média das dez menores precipitações da série analisada.

A Tabela 6 apresenta a classificação do IAC de acordo com a sua intensidade, valores positivos são considerados: chuvoso, muito chuvoso e extremamente chuvoso e valores negativos: seco, muito seco e extremamente seco.

Tabela 6 – Classificação da pluviosidade segundo do o IAC

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Classe de intensidade
≥ 4	Extremamente chuvoso
Entre 2 e 4	Muito chuvoso
Entre 0 e 2	Chuvoso
0	Neutro
Entre 0 e -2	Seco
Entre -2 e -4	Muito Seco
≤ -4	Extremamente seco

Fonte: adaptado de Rooy (1965).

Foram elaborados no QGis 3.16.10 os mapas anuais do IAC a partir da interpolação por Krigagem. Fez-se ainda a análise entre os dados do IAC, dados de pluviosidade anual de 1989 a 2020 e os dados de desastres a fim de identificar os anos que pudessem ser mais detalhados, caracterizando a pluviosidade ao longo do ano, o comportamento das Temperaturas de Superfície do Mar (TSM) do Atlântico e Pacífico e sua influência na dinâmica da pluviosidade daquele ano e associar a repercussão dos fenômenos no espaço geográfico. Ao longo dos resultados também são detalhadas análises para alguns municípios que tiveram na análise destacada quanto a ocorrências dos desastres.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1 Aspectos Geoambientais do estado do Maranhão

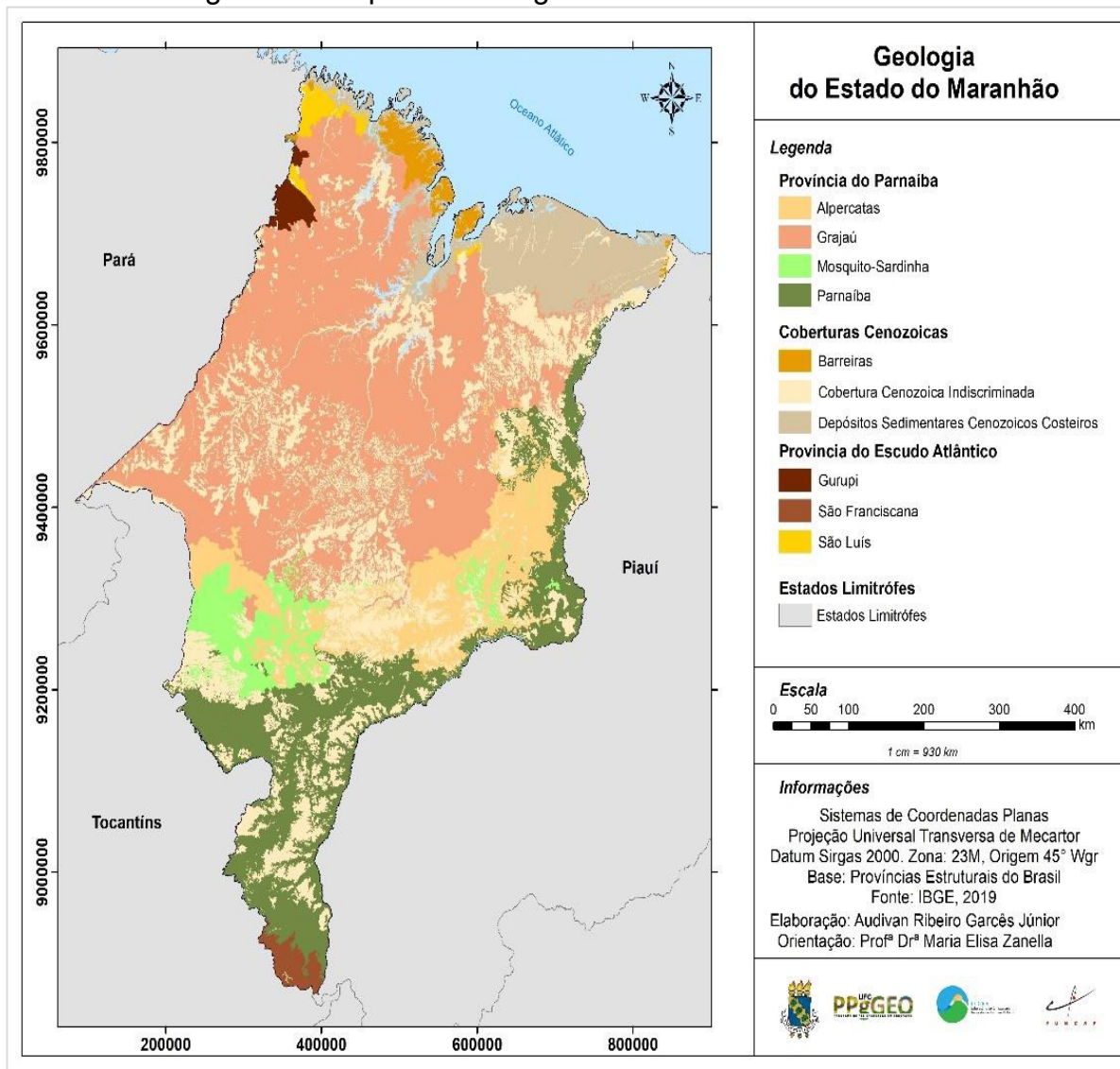
O território maranhense tem como elemento caracterizador do seu ambiente físico-natural a grande diversidade, apresentando características de ambientes de transição, que assim o diferencia dos outros estados do nordeste brasileiro em relação aos aspectos físicos e naturais, sobretudo no que tange os aspectos geológicos, climáticos e hidrológicos (MARANHÃO, 2011b).

5.1.1 Aspectos Geológicos

A geologia do estado do Maranhão é composta predominantemente por rochas sedimentares que recobrem aproximadamente 98% de seu território, abrangendo terrenos dos domínios tectônicos das bacias sedimentares do Parnaíba, SanFranciscana, São Luís e Coberturas Superficiais Cenozoicas, os outros 2% correspondem a estruturas compostas por rochas ígneas e metamórficas que compõe o Cinturão Gurupi que concentram-se na porção noroeste do estado e pequenos afloramentos retrabalhados do Cráton São Luís (LOPES ;TEIXEIRA, 2013; DANTAS, 2013; IBGE, 2019a), .

O embasamento geológico do estado do Maranhão, elaborado pelo IBGE (2019a) e apresentado na figura 5, é dividido em duas regiões distintas: Província de Cobertura Fanerozóica composta pela Província Estrutural do Parnaíba e Coberturas Cenozoicas e pela Província do Escudo Atlântico, separadas de acordo com o padrão litológico e composição estratigráfica.

Figura 5 - Mapa de Geologia do estado do Maranhão



Fonte: Dados do IBGE (2019). Elaborado pelo autor.

A Província Estrutural do Parnaíba corresponde a um grande setor de deposição tipicamente sedimentar de 600.000 km², compostas por quatro sítios deposicionais⁶ de gêneses distintas: i) Bacia Sedimentar do Parnaíba (Siluriano-Triássico); ii) Bacia Sedimentar do Alpercatas (Jurássico-Eocretáceo); iii) Bacia Sedimentar do Grajaú (Cretáceo); iv) Sub-Província

⁶ Góes (1995) destaca que a primeira é do tipo IF/IS (Fratura Interior/Depressão Interior), a segunda do tipo IF (Fratura Interior), a terceira do tipo MS (Depressão Marginal) e a quarta do tipo IS (Depressão Interior) iniciaram o processo de deposição no Paleozoico (Siluriana, Mesodevoniânica-Eocarbonífera e Neocarbonífera-Eotriássica), e duas foram depositadas no Mesozoico (Jurássica e Cretácea).

Sedimentar Mosquito-Sardinha⁷ (NUNES, 1993; GÓES, 1995; COIMBRA *et al.*, 1996; IBGE, 2019a).

A Província Sedimentar do Parnaíba caracteriza-se como uma região circular do tipo *sag de interior* cratônico, classificada como intracontinental cratônica composta complexa, compartimentada em quatro grandes sequências deposicionais: Parnaíba, Grajaú, Alpercartas e Mosquito-Sardinha, compostas por estruturas grabeniformes no Mesoproterozóico, Neoproterozóico e no Fanerozóico (Cambro-ordoviciano). Ressalta-se ainda que, a subprovíncia Mosquito-Sardinha apresenta composição litológica associada a fragmentos de derrames basálticos (GÓES, 1995; GÓES; FEIJÓ, 1994; SANTOS; CARVALHO, 2009, IBGE, 2019a).

As coberturas cenozoicas representam estruturas geológicas mais recentes, formadas sobretudo pela deposição correlativa dos eventos de aplainamento decorrentes das glaciações do Cenozoico, destacando-se o Grupo Barreiras que foram feições de relevo de falésias ativas e inativas, as coberturas cenozoicas indiscriminada são formadas em áreas de planícies antigas emersas, bem como por depósitos aluvionares ao longos dos cursos d'água fluviais e fluvio-lacustres e os depósitos sedimentares costeiros caracterizam-se no estado do Maranhão pelo “desenvolvimento de um complexo de rias litorâneas, praias vasosas, restingas, pequenas falésias e extensos manguezais, evidenciando a progradação da linha de costa e o afogamento do litoral” (IBGE, 2019a, n.p).

Já a Província do Escudo Atlântico é representada pelas Subprovíncias Estruturais do Gurupi, São Luís e São Francisco. Estas feições correspondem a terrenos mais antigos e são definidos a partir de “regiões naturalmente diversas de evolução estratigráfica, magmática, estrutural, tectônica ou metamórfica” (IBGE, 2019a, n.p), marcada pela presença discreta de rochas pré-cambrianas, que em geral, encontram-se em grandes profundidades (FEITOSA; TROVÃO, 2006).

As subprovíncias do Gurupi e São Luís afloram na porção noroeste e numa pequena porção norte, formando duas unidades geotectônicas denominadas de Cráton São Luís (norte) e Cinturão Gurupi ou Maciço Gurupi

⁷ A classificação realizada pelo IBGE (2019) desmembra esta unidade das Bacias Sedimentares do Alpercatas e do Parnaíba.

(noroeste). O fragmento Cratônico São Luís é caracterizado por possuir raízes profundas até o manto e sendo formado por rochas ígneas e metamórfica (LOPES; TEIXEIRA, 2013). Já o Cinturão Gurupi composto também por rochas ígneas e metamórficas foi originado a partir da colisão de duas placas tectônicas pretéritas, apresentando fragmentos do Cráton São Luís. A subprovincia São Franciscana localiza-se no Maranhão numa pequena porção no sul, correspondendo a afloramentos do grupo Uruçuia⁸ da bacia sedimentar Sanfranciscana (LOPES; TEIXEIRA, 2013).

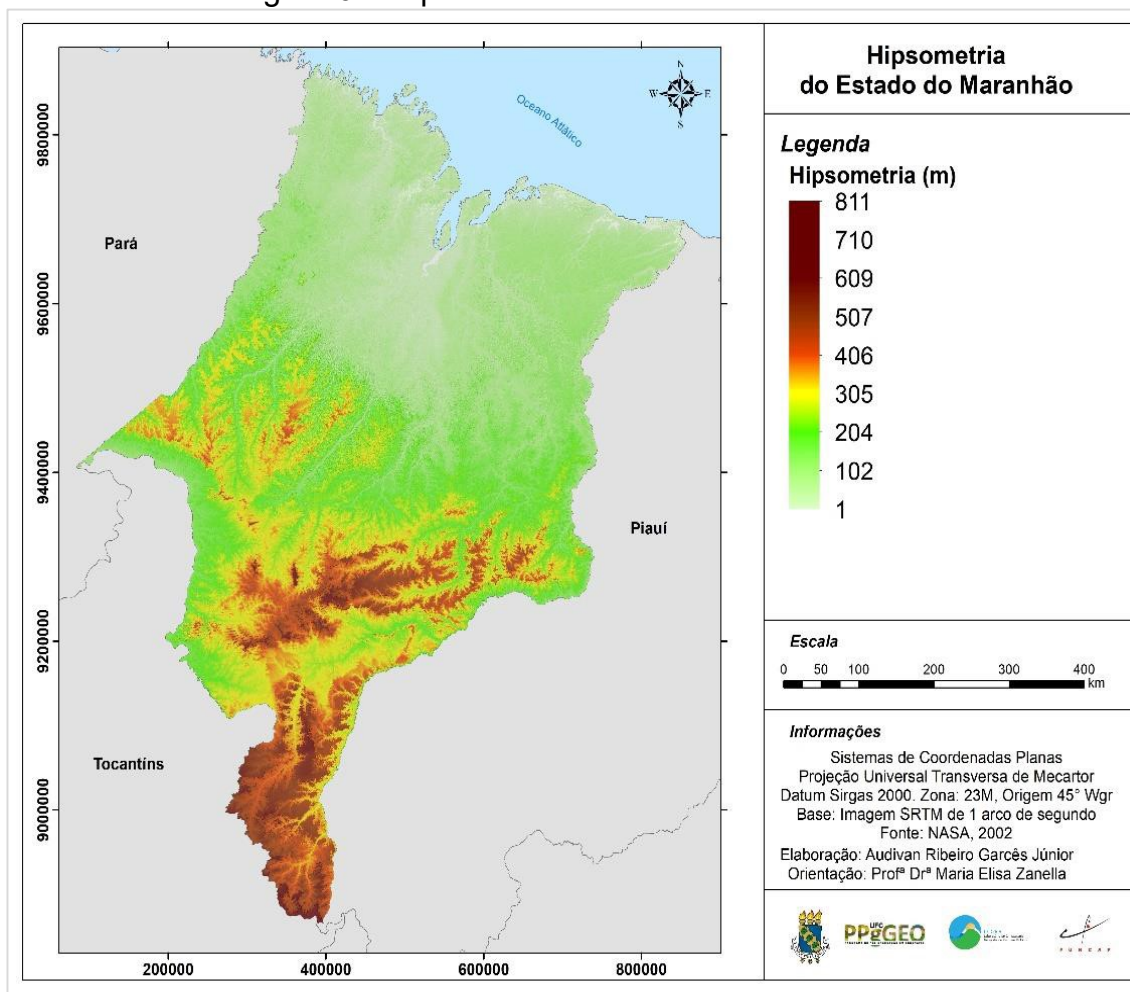
Estas características geológicas são determinantes na definição da geomorfologia e aspectos hidrográficos do estado do Maranhão, haja vista que o predomínio de terrenos sedimentares propicia maior potencial para percolação de água no solo e conseqüentemente formação de reserva hídrica subterrânea, além de estarem submetidas a ação predominantes de agentes externos, no caso da área, sobretudo ao fator climático e hidrológico, contribuindo para modelagem do relevo.

5.1.2 Aspectos Geomorfológicos

Para Ross (1985), o relevo do Maranhão tem como característica um conjunto de superfícies tabulares, de variadas cotas altimétricas, originadas por processo de soerguimento tectônico da Bacia Sedimentar do Parnaíba e que foram delineados por diferentes eventos de aplainamento regionais (FIGURA 6).

⁸ Segundo Campos e Dardenne (1997, p. 1) o Grupo Uruçuia é composto por "arenitos interpretadas como depósitos eólicos de campos de dunas secas, fluvial entrelaçado depositado em canais e fluvial entrelaçado sedimentado em lençóis de areia e cascalho"

Figura 6 – Hipsometria do estado do Maranhão

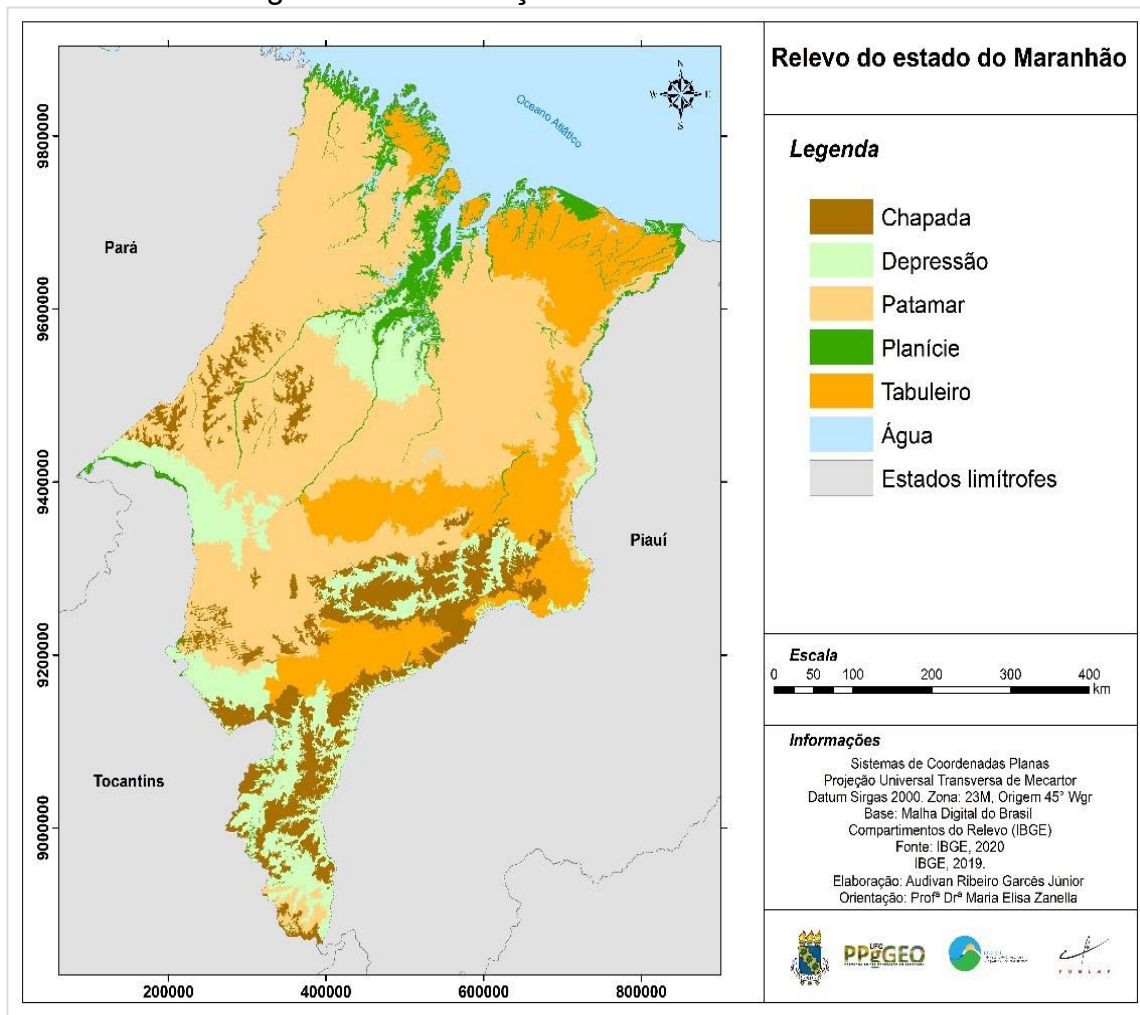


Fonte: Imagem SRTM (2002). Elaborado pelo autor.

Cabe ressaltar que o processo de dissecação dos terrenos sedimentares ocorre de formas diferenciadas, o que deu origem a diferentes ambientes, tais como os ambientes marinhos, litorâneos, fluviais e depósitos eólicos (DANTAS *et al*, 2013). Desse modo, o relevo do Maranhão encontra-se disposto com suas áreas mais elevadas na região centro-sul e suas áreas mais baixas e planas localizadas ao norte do estado.

Na proposta de classificação dos compartimentos do relevo do Brasil elaborada pelo IBGE (2019b) é possível identificar no Maranhão a presença de chapadas, depressões, patamares, tabuleiros e planícies (FIGURA 7).

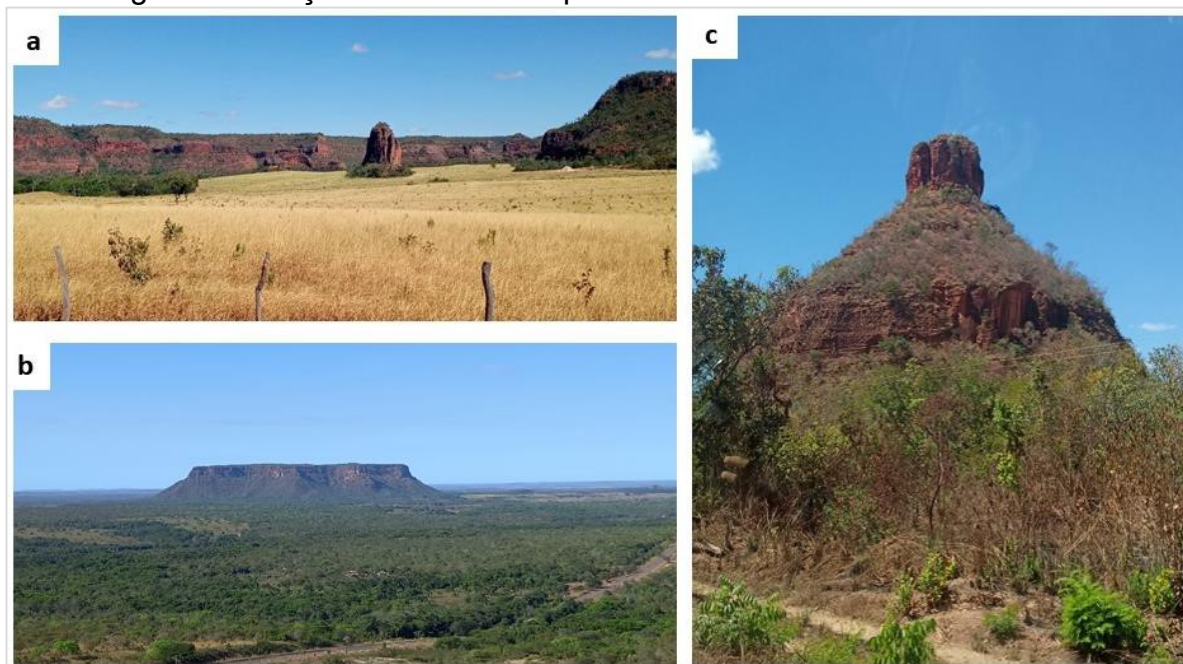
Figura 7- Classificação do relevo do Maranhão



Fonte: Dados do IBGE (2020). Elaborado pelo autor.

As chapadas são feições caracterizadas por possuir topos tabulares e/ou suavemente ondulados e são modelados em rochas sedimentares. O IBGE (2019b) trata as chapadas como um subtipo de planalto onde o topo é plano e possui escarpas ao seu redor. No estado do Maranhão destacam-se algumas chapadas na porção centro-sul do estado, como as Chapada das Mangabeiras (porção mais elevada do estado em torno de 800m de altitude), Chapada e Planos do rio Farinha (Chapada das Mesas) e Chapadões do Alto Parnaíba (FIGURA 8).

Figura 8 – Feições do relevo de planaltos no estado do Maranhão



Fonte: Dados de pesquisa (2021). (a) Serra do Penitente em Tasso Fragoso (Chapadões do Alto Parnaíba). (B) Morro testemunho denominado de Morro do Chapéu no município de Carolina (Chapada das Mesas). (c) Morro do Garrafão no município de Tasso do Fragoso (Chapadões do Alto Parnaíba).

As planícies, segundo o IBGE (2019b, p.73), tratam-se de uma “feição plana ou suavemente ondulada, onde os processos de sedimentação superam os de erosão, elaborada em sedimentos aluvionares recentes”. São áreas que resultaram do acúmulo de sedimentos fluviais, marinhos e lacustres, sujeitos a inundação e a ação eólica. Esta feição é representada no Maranhão pelas planícies fluviais ao longo de seus diversos rios, a Baixada Maranhense⁹, no litoral de mangues e rias e nos Lençóis Maranhenses¹⁰ e planícies marinhas (FIGURA 9).

⁹ Segundo Feitosa e Trovão (2006) a Baixada Maranhense é caracterizada pela convergência de rios associadas a movimentos transgressivos e regressivos do mar, definindo este ambiente sedimentar deposicional.

¹⁰ A área dos Lençóis Maranhenses é formada por depósitos eólicos e aluviões marinhos composto de areias quartzosas (SOUZA; SOARES; FEITOSA, 2006).

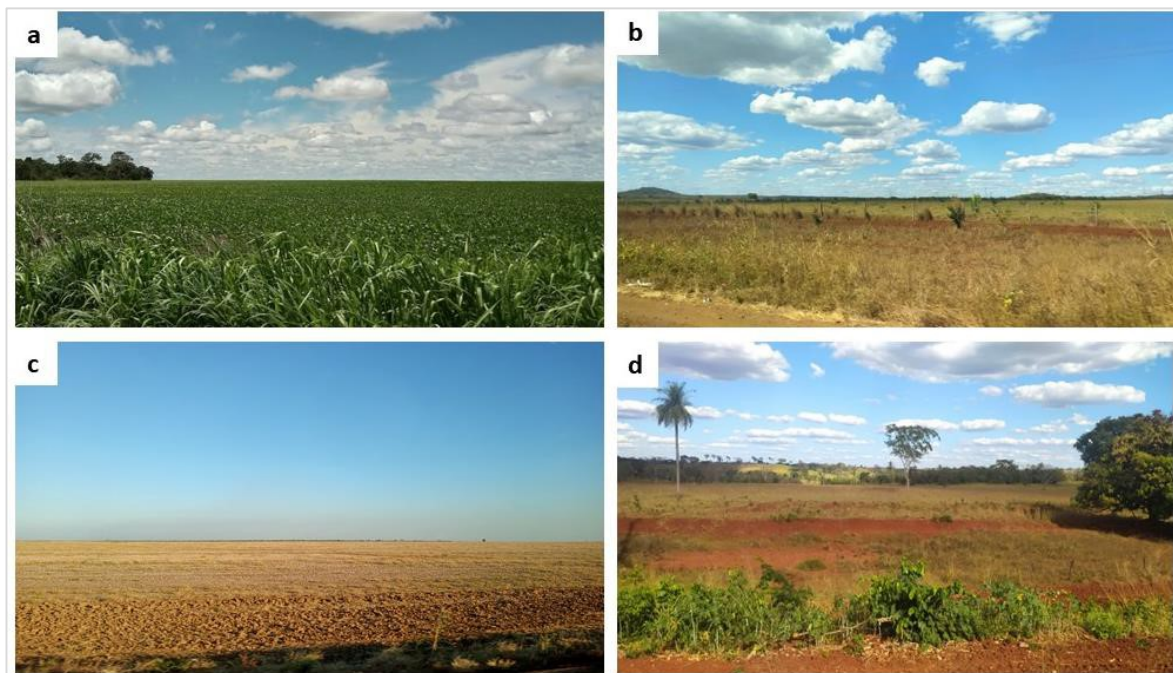
Figura 9 – Feições do relevo de planícies no estado do Maranhão



Fonte: Dados de pesquisa (2021). (a) Campos inundados da Baixada Maranhense no município de São João Batista. (b) Campo de dunas no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses no município de Santo Amaro do Maranhão. (c) Planície marinha na Ilha do Cajual no município de Alcântara. (d) Planícies flúvio-marinhas com manguezais no município de Raposa.

As depressões são áreas com feições em que o relevo é mais rebaixado em relação ao seu entorno e que podem ser modelados em qualquer tipo de rocha, no estado tem-se a Depressão do Médio Tocantins, Depressão de Imperatriz, Depressão do Gurupi e outros. O Patamar já possui uma feição plana ou ondulada, caracterizando-se por apresentar um degrau transicional mais elevado entre um planalto, chapada ou serra e mais baixo entre depressões ou planície. No estado tem-se os Patamares da Chapada das Mangabeiras, Patamar de Porto Franco-Fortaleza dos Nogueiras e outros. Os tabuleiros assim como as chapadas são feições com topo tabulares ou suavemente ondulados, porém apresentam altitudes mais baixas e não são feições de planalto. Localizam-se em terrenos sedimentares inconsolidados, a citar os Tabuleiros de Balsas, do Parnaíba e do Médio Itapecuru (IBGE, 2019b) (FIGURA 10).

Figura 10 – Feições do relevo de tabuleiro, depressão e patamar no estado do Maranhão

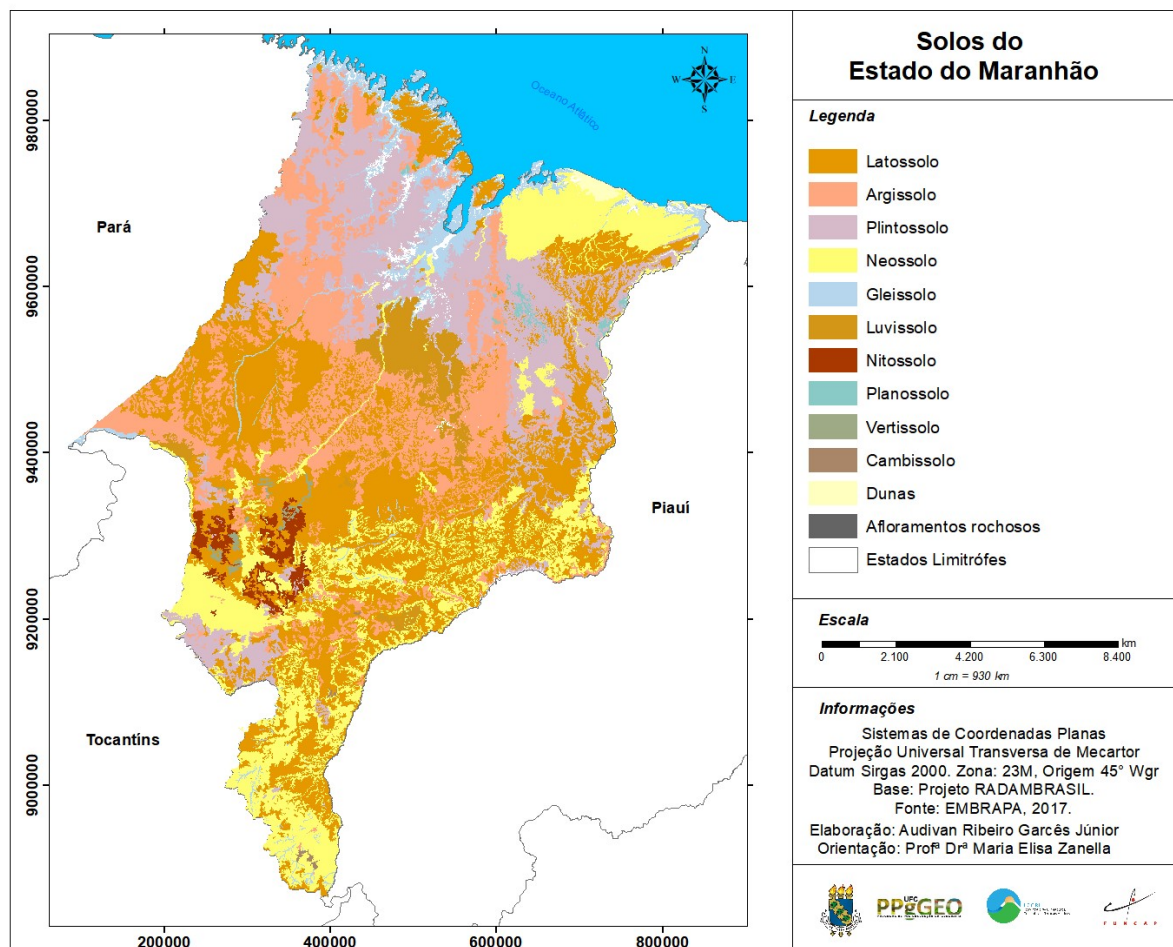


Fonte: Dados de pesquisa (2021). (a) Tabuleiro Sublitorâneo no município de Urbano Santos. (b) Tabuleiro de Balsas. (c) Depressão do Médio Tocantins no município de Carolina. (d) Patamar de Porto Franco e Fortaleza dos Nogueiras no município de Porto Franco.

5.1.3 Aspectos Pedológicos

Com o reflexo das variações climáticas, das diferentes litologias e formas de relevo, o Maranhão abrange uma cobertura pedológica diversificada, contudo, muitos dos problemas relacionados ao solo estão diretamente ligados ao nível de complexidade em sua caracterização e identificação, ou a falta de levantamentos pedológicos. Outrossim, em termos de extensão os Latossolos e Argissolos destacam-se no território maranhense, conforme ilustra a figura 11.

Figura 11 – Solos do estado do Maranhão



Fonte: Embrapa (2017), elaborado pelo autor.

Os Latossolos (amarelo, vermelho e suas variações) representa cerca de 35% do território estadual e podem ser observados em grandes extensões contínuas nas porções centro-sul, centro-oeste e leste (JACOMINE *et al.*, 1986). Os Latossolos são solos constituídos por material mineral, apresentam horizonte B latossólico abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, com exceção do hístico (SANTOS *et al.*, 2018). Ademais, são solos não hidromórficos, muito friáveis, profundos, e apresentam uma baixa fertilidade natural. Por conta de suas propriedades físicas de textura média a argilosa, uma considerável drenagem e profundidade e por se encontrarem, principalmente, em áreas de baixa declividade, os Latossolos no Maranhão estão sendo utilizados para o cultivo de soja em rotação com milho, eucalipto e milheto (EMBRAPA, 2020).

A segunda maior classe de solo do estado em área, recobrando, aproximadamente 18% do território maranhense é a classe dos Argissolos

(JACOMINE *et al.*, 1986). Os Argissolos são solos caracterizados pela alta presença de argila, podendo apresentar textura areno-argilosa, considerados profundos e bem drenados, nota-se ainda presença de caulinita. Distribui-se no estado sobretudo na porção central do estado, ao longo da bacia do rio Mearim, além das “áreas de topos e encostas de chapadas com relevo plano a fortemente ondulada” (MARANHÃO, 2002, p. 20; FEITOSA; TROVÃO, 2006).

Além destas duas ordens de solos, destacam-se ainda os Plintossolos, encontrados nas áreas de relevo plano, ao longo da Baixada Maranhense e demais rios que drenam o estado, sobretudo na porção Leste. Este tipo de solo se caracteriza pela presença da plintita, com textura arenosa a média e mal drenado devido à grande quantidade de matéria orgânica, os Plintossolos representam em torno de 15,19% do estado (JACOMINE *et al.*, 1986; MARANHÃO, 2002).

Os Neossolos e Gleissolos, representam cerca de 14% e 2,21% do estado respectivamente. Os Neossolos são caracterizados por serem pouco evoluído, esta ordem inclui os Neossolos Litólicos, que são rasos e pedregosos e podem ser encontrados em vertentes escarpadas das chapadas do sul e sudeste do Maranhão; os Neossolos Flúvicos que resultaram da deposição de sedimentos aluviais ao longo dos vales fluviais, como nos rios Grajaú, Mearim e Pindaré; e o Neossolos Quartzarênicos encontrados sobretudo na porção nordeste do estado e caracterizados pela alta presença de areias quartzosas. Já os Gleissolos são encontrados em áreas alagadas, considerados mal drenados, com forte presença de ácidos, no estado podem ser encontrados ao longo dos rios, e sobretudo na região da Baixada Maranhão (MARANHÃO, 2002; FEITOSA; TROVÃO, 2006; EMBRAPA, 2020).

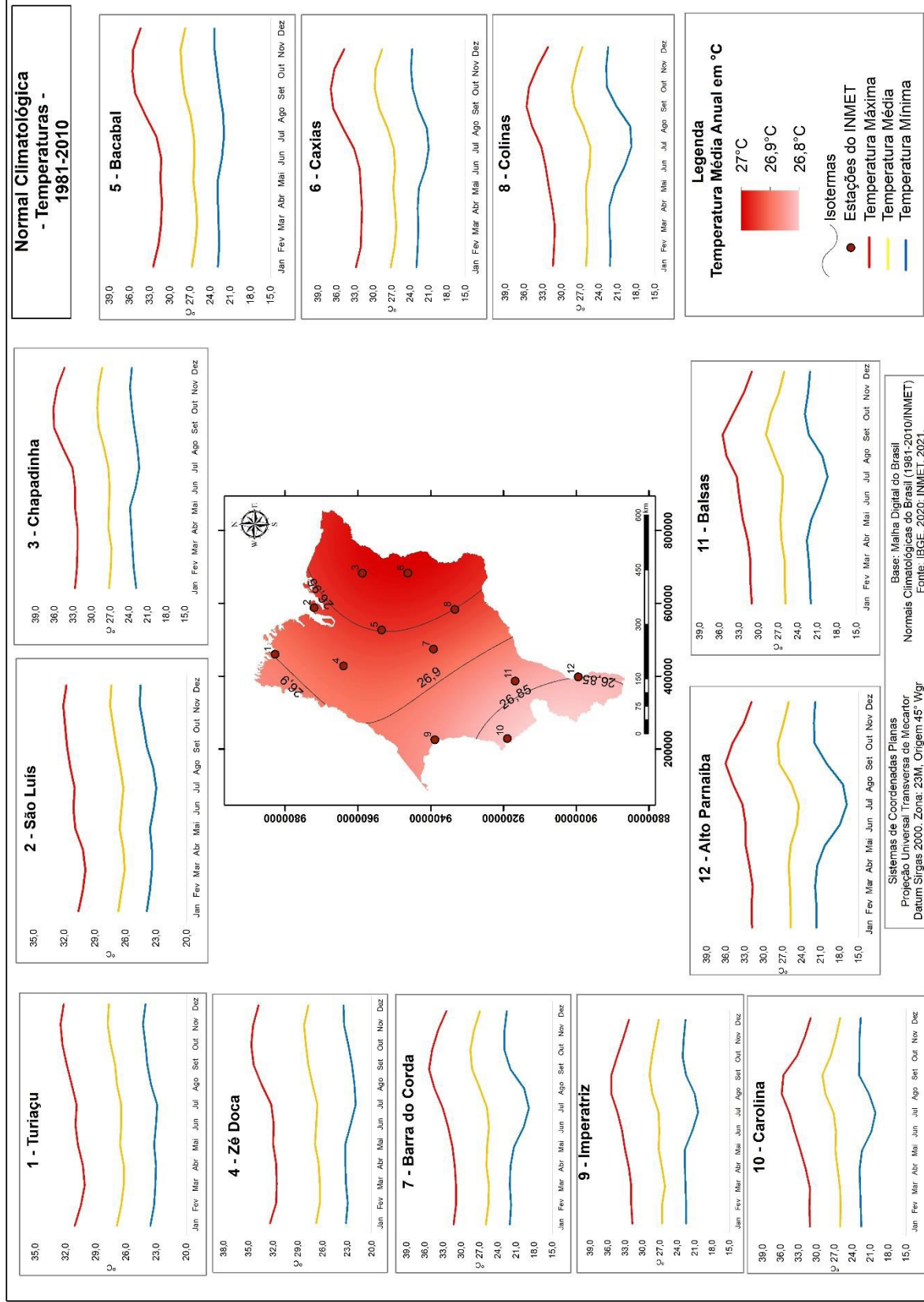
Menos expressivos, mas cabe ressaltar a presença ainda de manchas de Luvisolos, Nitossolos, Planossolos e Vertissolos (EMBRAPA, 2020). Quanto a fertilidade dos solos maranhenses, estes são predominantemente distróficos, ou seja, necessitam de técnicas adequadas para manejo, enquanto que solos eutróficos podem ser encontrados em algumas áreas do estado associados Nitossolos oriundos de derrames basálticos e em áreas de argissolos (EMBRAPA, 2013).

5.1.4 Aspectos Climáticos

Quanto às características climáticas, os fatores que mais afetam o estado do Maranhão são sua localização latitudinal disposto no sentido sul-norte na zona equatorial e tropical do planeta, a influência do Oceano Atlântico e da Floresta Amazônica, além da continentalidade e topografia (FEITOSA; TROVÃO, 2009).

As médias térmicas anuais em todo o estado são superiores a 25°C, isso se deve aos altos índices de radiação solar, sendo que as temperaturas variam ao longo do ano de acordo com a região (MARANHÃO, 2002). Na porção sul há maior variação de temperatura ao longo do ano, dados das normais climatológicas de temperatura das estações localizadas em Balsas e Alto Parnaíba apresentam maior amplitude térmica. As temperaturas mais elevadas são registradas nos meses de agosto e setembro, meses que antecedem o período chuvoso nesta área (FIGURA 12).

Figura 12 – Normal Climatológica de Temperatura para o estado do Maranhão



Fonte: Dados do INMET. Elaborado pelo autor.

Os meses com as menores temperaturas são junho e julho, meses que compreende o inverno no Hemisfério Sul, com temperaturas mínimas normais em Alto Parnaíba de 16,9°C (junho) e 17,5°C (julho), e nas demais estações desta área (Carolina e Balsas) com menores temperaturas mínimas normais respectivamente de 20,2°C, e 18,4°C no mês de julho (INMET, 2021). Esta área possui maior influência da altitude do relevo e da continentalidade.

A porção norte sofre grande influência do Oceano Atlântico e possui baixa amplitude térmica. As temperaturas máximas normais ficam em torno de 30°C a 32°C, como mostram as estações de São Luís e Turiaçu. As menores temperaturas são registradas no período chuvoso, dada diminuição da radiação por conta da maior nebulosidade, e no mês julho, em Turiaçu observa-se as temperaturas mínimas normais em março de 23,4°C (março) e julho (23°C). Os meses de outubro e novembro apresentam temperaturas máximas mais elevadas (INMET, 2021).

Na porção oeste as temperaturas máximas normais ao longo do ano são todas superiores a 31°C e as menores temperaturas estão no mês de julho. Em Zé Doca e Imperatriz, as maiores normais de temperaturas máximas são registradas em outubro (34,6°C) e agosto/setembro (35,4°C), respectivamente. Na porção leste, as maiores temperaturas concentram-se nos meses mais secos, entre setembro e novembro. Por exemplo, em Caxias as maiores temperaturas máximas normais são 36,5°C (setembro), 36,9°C (outubro) e 36,3°C (novembro), a menor normal de temperatura mínima é 21°C em julho, assim como em Chapadinha que é de 21,9°C. Em Colinas nota-se que as temperaturas mínimas normais são mais baixas em julho (18,8°C) e agosto (19°C) (INMET, 2021).

Nas estações de Bacabal e Barra do Corda que estão localizadas na porção central do estado observa-se que as temperaturas normais máximas mais elevadas estão nos meses de setembro e outubro, Bacabal com 36,1°C e 36,2°C e Barra do Corda com 35,3°C e 34,8°C. Quanto as temperaturas mínimas destacam-se em Barra do Corda os meses de junho, julho e agosto possuindo respectivamente 19,7°C, 18,9°C e 19,6°C, enquanto que em Bacabal todas as mínimas estão acima de 22°C (INMET, 2021).

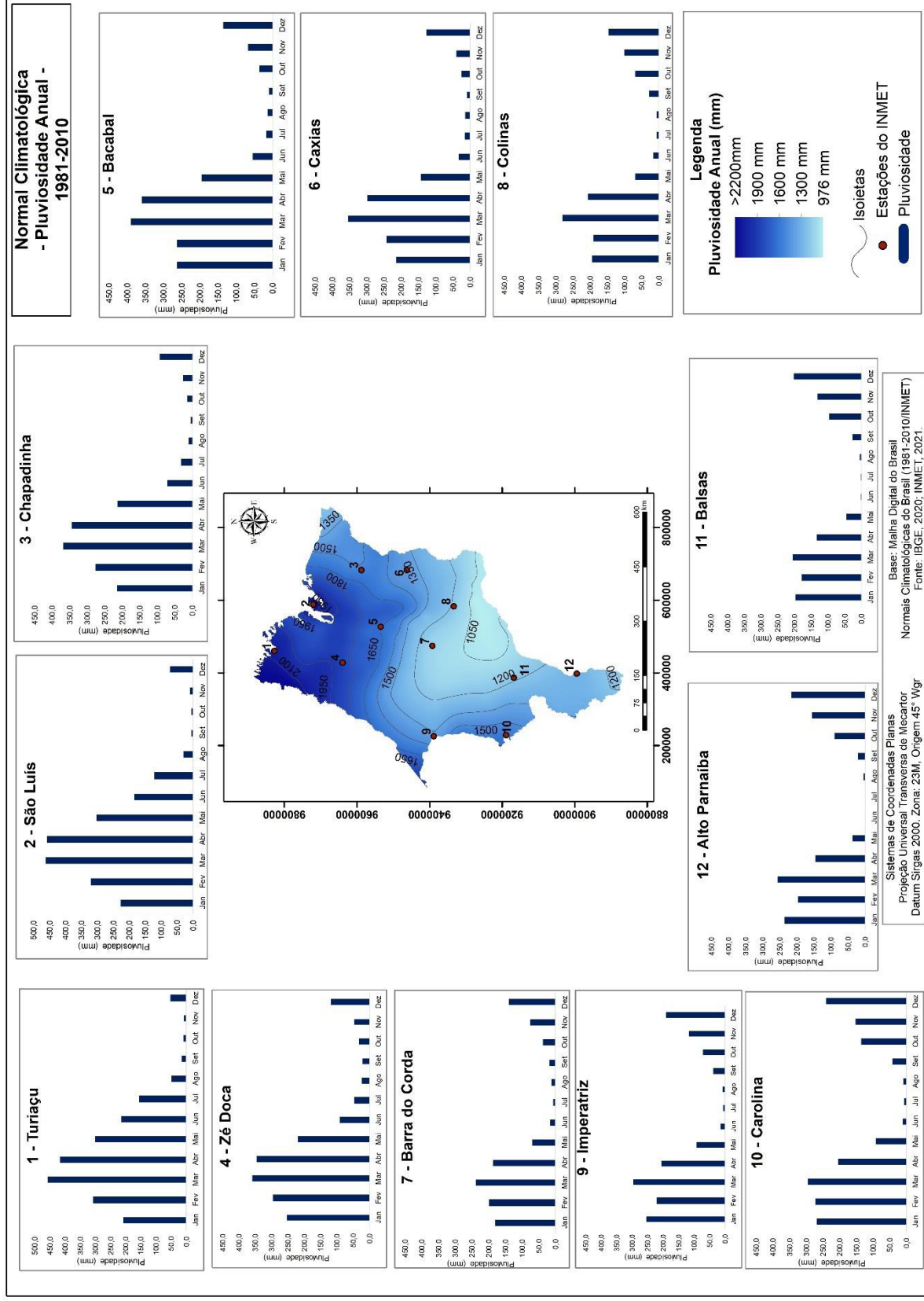
Os elevados volumes de pluviosidade são uma das características climáticas que mais se destacam no Maranhão e o difere dos demais estados

nordestinos. Os totais anuais ficam em torno de 1.100mm e 1.500mm nas porções central e leste e mais de 2.000mm no noroeste e norte do estado (INMET, 2021). Na Figura 13 observa-se que há maior volume de chuva no sentido centro-noroeste, influenciada pela posição longitudinal, pela maritimidade e continentalidade e bem como pela posição geográfica do estado, sendo caracterizado pela atuação da Zona de Convergência Intertropical e tendo como meses mais chuvosos os meses do verão e outono, enquanto que na porção sul as chuvas concentram-se entre outubro e abril (MARANHÃO, 2002; MENEZES, 2009).

As estações meteorológicas de Turiaçu (noroeste) e São Luís (norte) apresentam acumulados de precipitação de 2.199,9mm e 2.197,5mm, sendo o mês de março o mais chuvoso, com acumulado normal de 462,1mm (Turiaçu) e 458mm (São Luís) e o mês mais seco em Turiaçu é outubro (4,7mm) e em São Luís, o mês de novembro (7,1mm). Em contrapartida, a estação de Barra do Corda na porção central possui o menor volume acumulado entre estações do INMET, com cerca de 1.177,1mm. O mês com maior acumulado normal também é março com 236,8mm e o mais seco é julho com 6,9mm (INMET, 2021).

Na porção sul do estado as chuvas iniciam em outubro, como observa-se em Balsas e Carolina. Nestas duas estações o mês mais chuvoso é março com 256,3mm (Alto Parnaíba) e 206mm (Balsas), mas cabe ressaltar que em dezembro os volumes superam os 200mm nas duas estações. Na porção leste, as estações de Colinas e Caxias possuem acumulados anuais de 1.517,9mm e 1.315mm, sendo o período mais chuvoso entre janeiro e abril e mais seco entre julho e setembro (INMET, 2021). No mapa presente na figura 13 elaborado a partir da normal climatológica calculada com dados do CHIRPS entre 1989-2020 nota-se que a área no sentido centro-sudeste possui acumulado em torno de 1.050mm. Na porção oeste o mês com maior acumulado é março, como se observa nas estações de Zé Doca e Imperatriz e os menores acumulados nos meses de agosto e setembro. Destaca-se que a análise sobre a pluviosidade será mais aprofundada em outro capítulo deste trabalho.

Figura 13 – Normal Climatológica de Pluviosidade para o estado do Maranhão



Fonte: Dados do CHIRPS e INMET. Elaborado pelo autor.

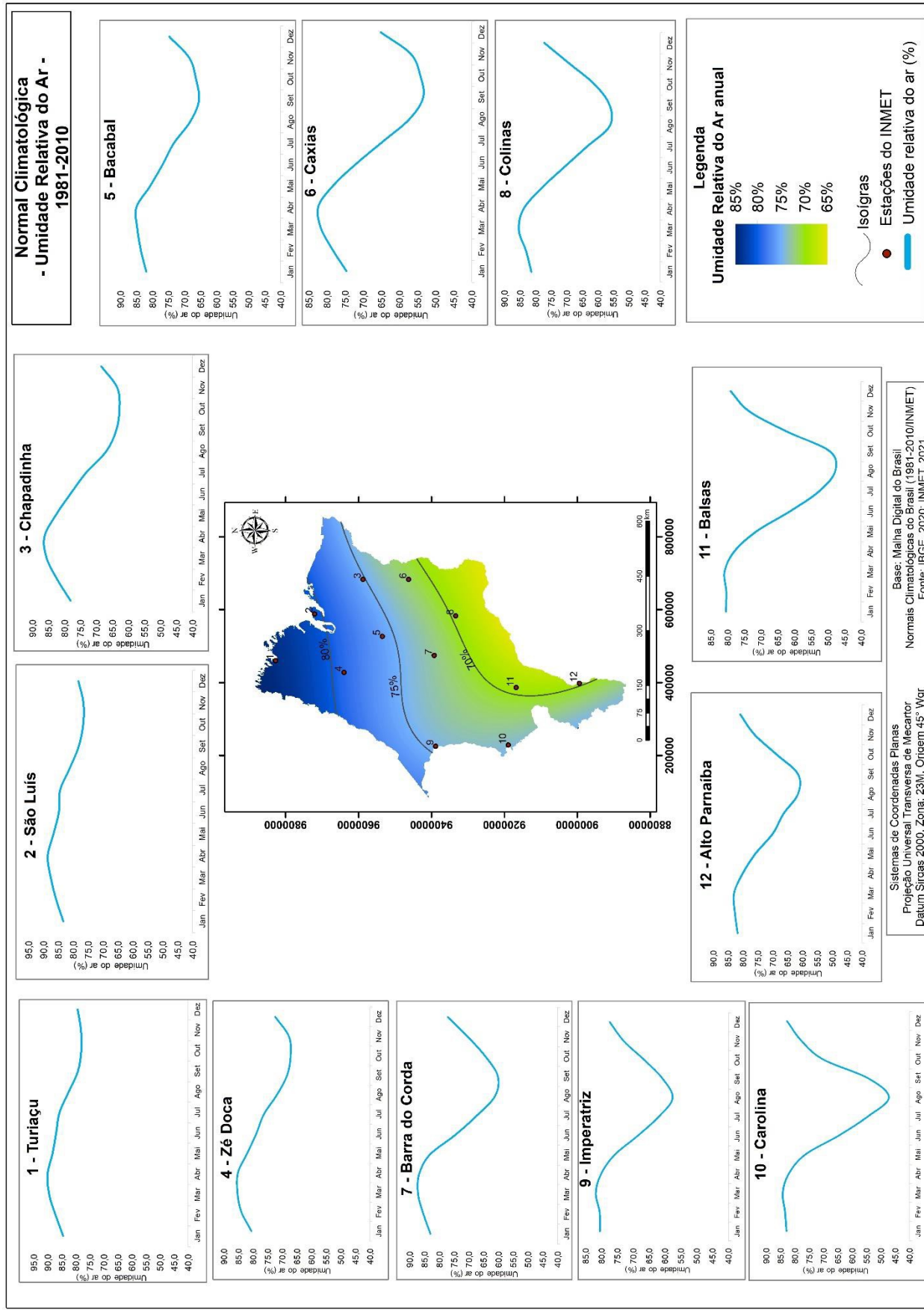
A umidade relativa do ar sofre grande influência da maritimidade, na região norte a umidade relativa compensada anual é superior a 80%, reduzindo para 70% nos meses mais secos (setembro, outubro e novembro). Já as porções Sul e Leste apresentam os menores valores de umidade relativa anual ficando em torno de 70%, fator que pode ser explicado pela distância em relação ao mar e as características da vegetação de cerrado (MARANHÃO, 2002) (FIGURA 14).

Na porção leste, por exemplo, a estação de Caxias possui uma normal anual de umidade relativa em torno de 68,1%, sendo os meses de setembro (53,4%) e outubro (54,2%) os de menor umidade, assim como Colinas, em setembro (56,2%). Em Carolina, na porção sul, tem-se o mês de agosto como o de menor umidade relativa (47,3%) enquanto que em março o maior registro, 84,2% (INMET, 2021).

De maneira geral, as porções oeste e norte apresentam maior umidade relativa entre os meses de janeiro e maio, período de maior pluviosidade, os valores superam os 80% e algumas estações como Turiaçu (norte) chega a 90% em abril, e os menores registros de umidade no período de estiagem. Na porção central, tem-se em Barra do Corda este mesmo padrão, com umidade relativa em torno de 87,3% em março e 60,2% em setembro (INMET, 2021).

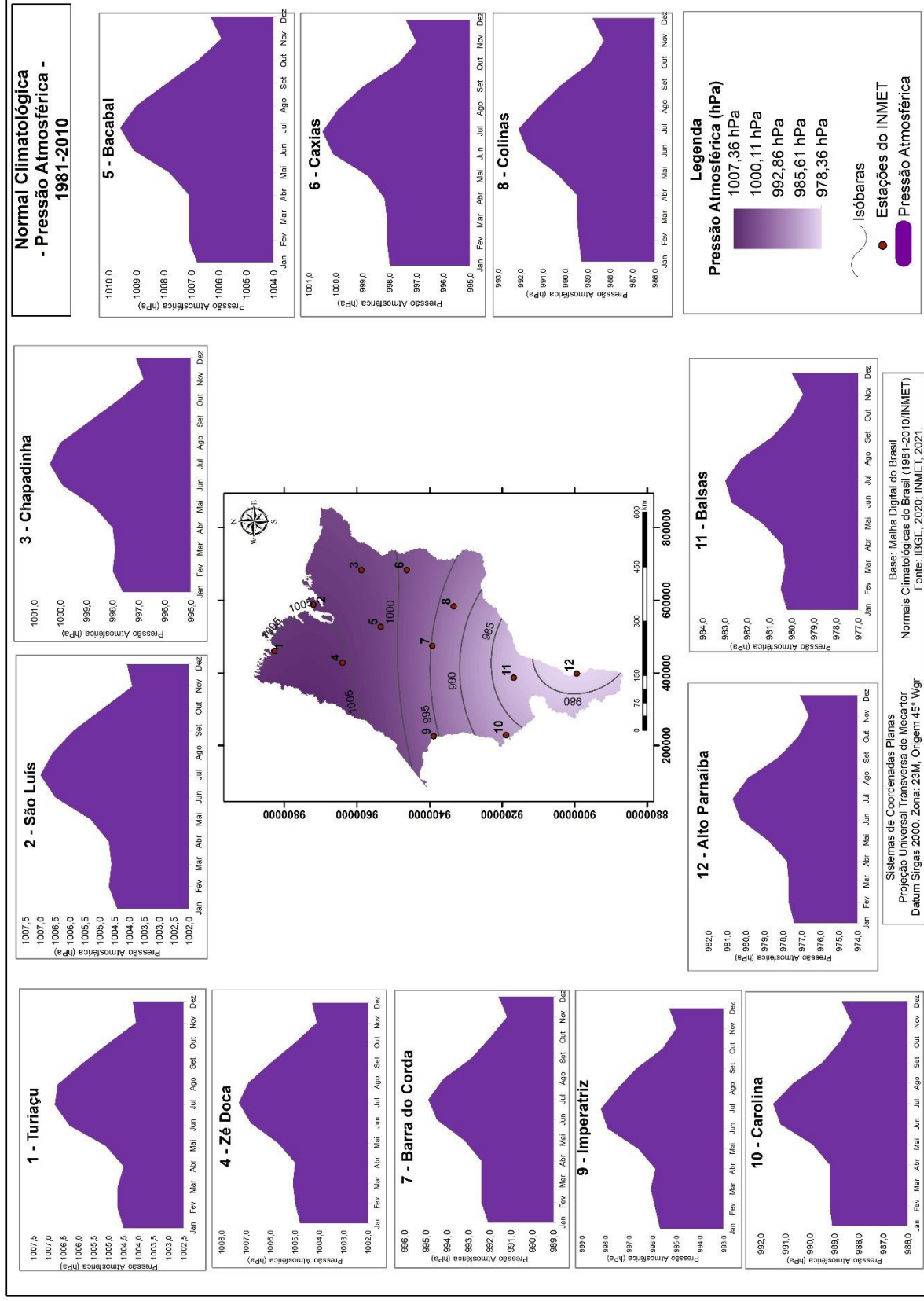
Na caracterização da Pressão Atmosférica (hPa) considerando as normais anuais do INMET, tem-se evidente a relação com o relevo, nas estações nas partes mais baixas do estado, porção centro-norte, tem-se as pressões acima de 1000 hPa anual, enquanto que ao sul a pressão anual fica abaixo deste valor, chegando a 978,3 hPa em Alto Parnaíba. Ao longo do ano nota-se um padrão em todo estado, as maiores pressões atmosférica são registradas nos meses de junho, julho, agosto e setembro, que são meses de estiagens no estado, enquanto as menores pressões são registradas em todas as estações entre os meses de novembro e abril (INMET, 2021) (FIGURA 15).

Figura 14 – Normal Climatológica de Umidade relativa do ar para o estado do Maranhão



Fonte: Dados do INMET. Elaborado pelo autor.

Figura 15 – Normal Climatológica de Pressão Atmosférica para o estado do Maranhão



Fonte: Dados do INMET. Elaborado pelo autor.

Na análise das normais de Intensidade dos Ventos percebe-se que os ventos mais fortes se concentram na porção no norte, devido aos ventos que sopram do Oceano Atlântico (Figura 16). Ao longo do ano os meses com ventos mais intensos concentram-se em setembro, outubro e novembro, exceto nas estações de Alto Parnaíba, Balsas, Carolina, Caxias, Colinas, Barra do Corda e Imperatriz. A velocidade normal do vento em outubro, mês de maior intensidade, é $4,4 \text{ m.s}^{-1}$ e $3,9 \text{ m.s}^{-1}$ em outubro em Turiaçu e São Luís. Já em Alto Parnaíba e Balsas os meses com ventos mais intensos são julho, agosto e setembro.

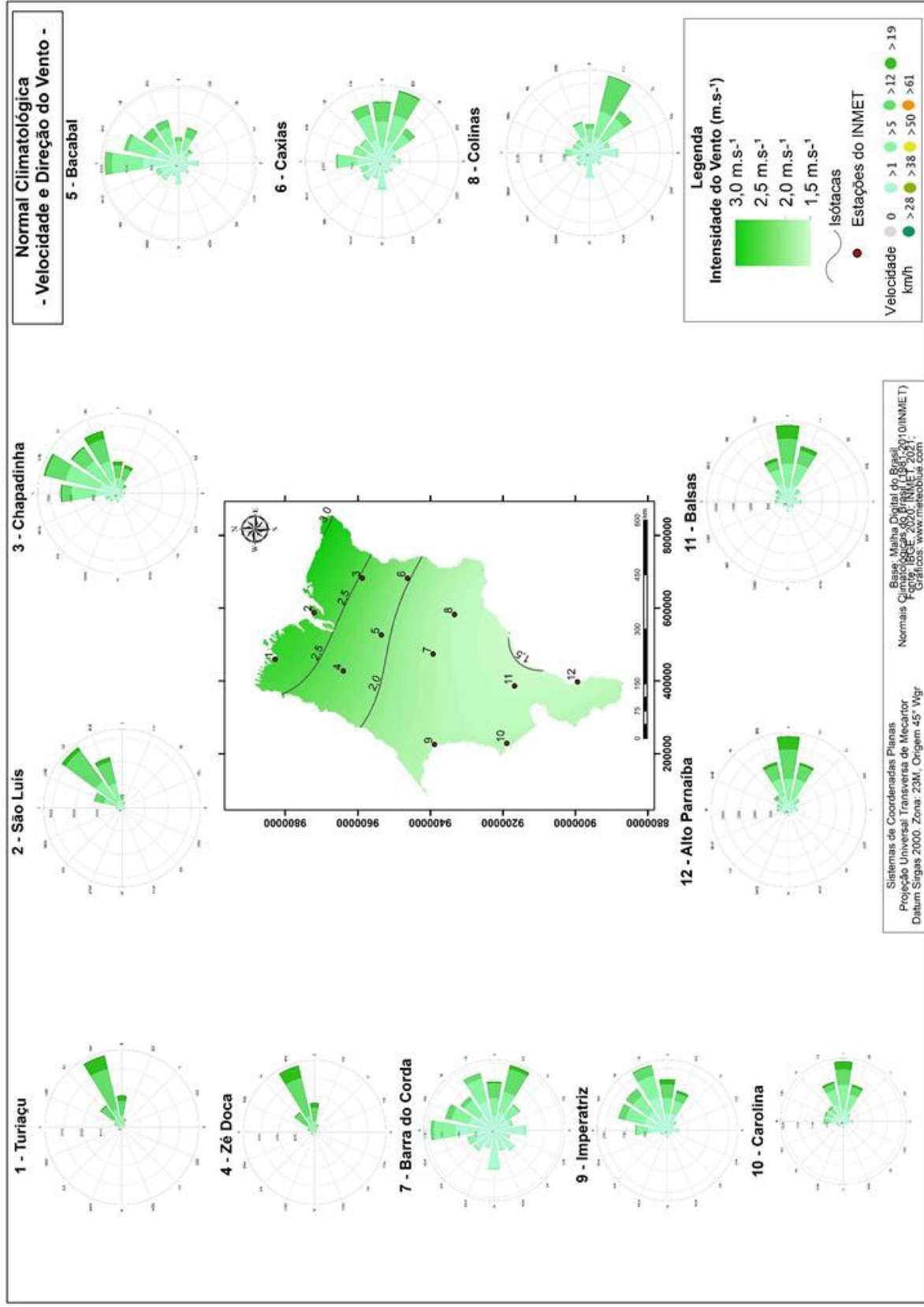
A rosa dos ventos que aponta a direção do vento das estações identifica que também sofre algumas variações entre as porções do estado. Na porção norte, São Luís e Turiaçu, há um predomínio ventos da direção nordeste e leste-nordeste, respectivamente. Na porção oeste, em Imperatriz, percebe-se que há registro de ventos em todas as direções, porém com predomínio de ventos de leste-nordeste e leste. Em Zé Doca, também na porção leste, há predomínio de ventos de norte-nordeste, nordeste e leste-nordeste, podendo sofrer influência de ventos que sopram do Oceano, já que esta estação se localiza no extremo norte da porção leste do estado (METEOBLUE, 2021¹¹).

Na porção central, tem-se predominantemente ventos de leste-sudeste em Barra do Corda, assim como também há registros importantes de ventos de norte e leste-nordeste. E em Bacabal há a predominância de ventos que sopram da direção norte. A interação entre o continente e os importantes rios da região devem exercer influência na dinâmica local da atmosfera estabelecendo este padrão de vento, além de sofrer influência no período chuvoso de massas de ar que sopram do oceano em direção ao interior do estado.

Na porção leste, nas estações de Chapadinha, Caxias e Colinas há predomínio de ventos da direção leste-sudeste, enquanto que na porção sul, as estações de Alto Parnaíba e Balsas predominam os ventos que sopram na direção leste.

¹¹ Dados disponíveis por município em: <https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled>

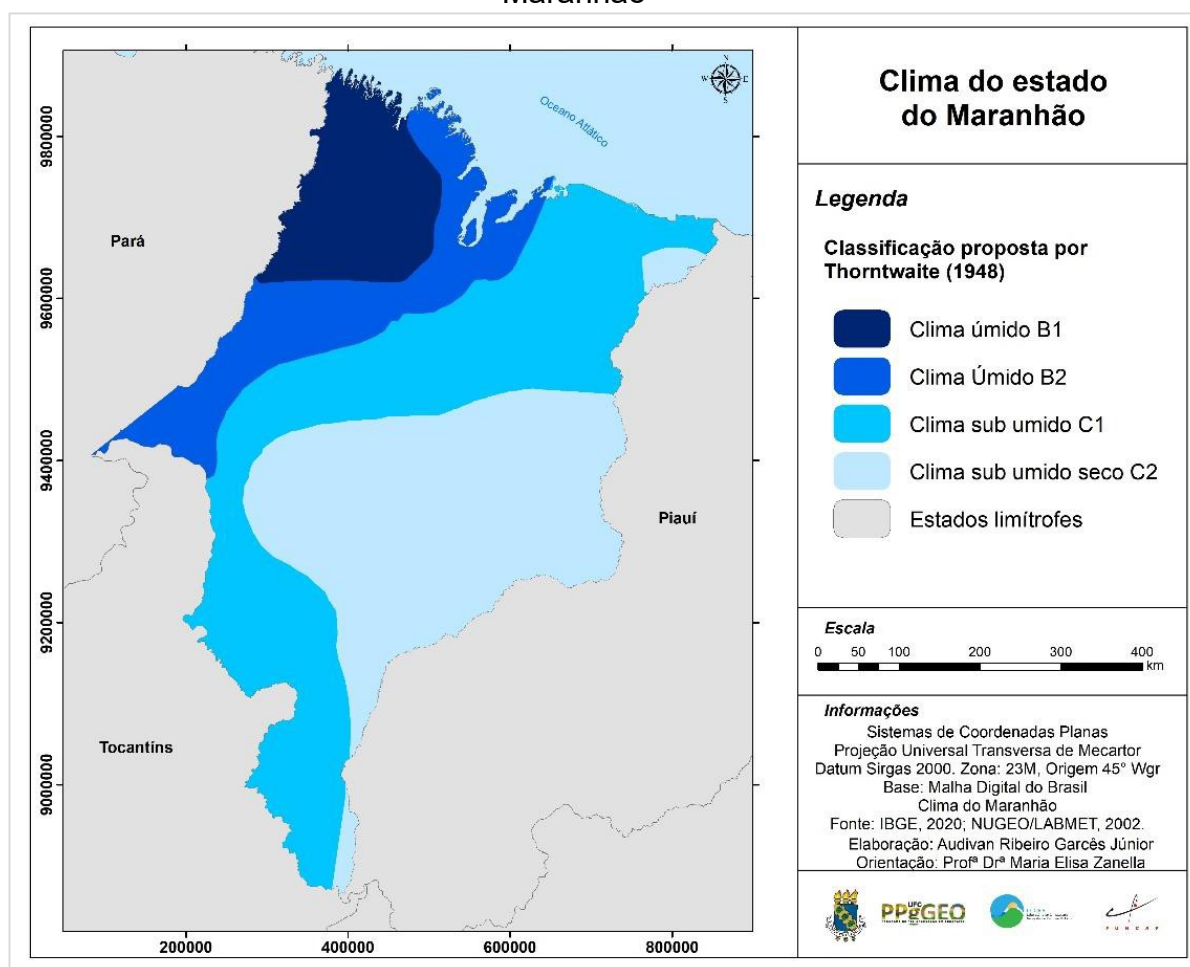
Figura 16 – Normal Climatológica de Intensidade e Direção do vento para o estado do Maranhão



Fonte: Dados do INMET e meteoblue. Elaborado pelo autor.

Na classificação climática elaborada pelo Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão (NUGEO/UEMA) (MARANHÃO, 2002) e seguidas por Feitosa e Trovão (2006), que utilizam a proposta de Thornthwaite (1948), é possível identificar dois tipos climáticos, Úmido e Subúmido, dividindo-os em quatro regiões climáticas separadas de acordo com os dados de precipitação e umidade (FIGURA 17).

Figura 17 - Classificação Climática de Thornthwaite (1948) para o estado do Maranhão



Fonte: Maranhão (2002). Elaborado e adaptado pelo autor.

✓ **Clima úmido B1:** compreendendo áreas da região oeste, sendo estas áreas de transição entre as formações de cerrado e a Amazônia. Tem como característica a deficiência hídrica moderada entre os meses de julho e setembro, com acumulados de chuva entre 1500 e 2000mm e umidade em torno de 70%;

✓ **Clima úmido B2:** compreende a área da Floresta Amazônica, no extremo noroeste do Maranhão. Caracteriza-se com moderada ou nenhuma

deficiência hídrica anual., com totais anuais de precipitação acima de 2000mm e umidade relativa sempre próxima a 80%.

✓ **Clima Subúmido seco C1:** área com pouca ou nenhuma deficiência hídrica, com pluviosidade entre 800mm e 1600mm e umidade relativa superior a 70%, compreende áreas desde o Nordeste até o sudoeste do Maranhão;

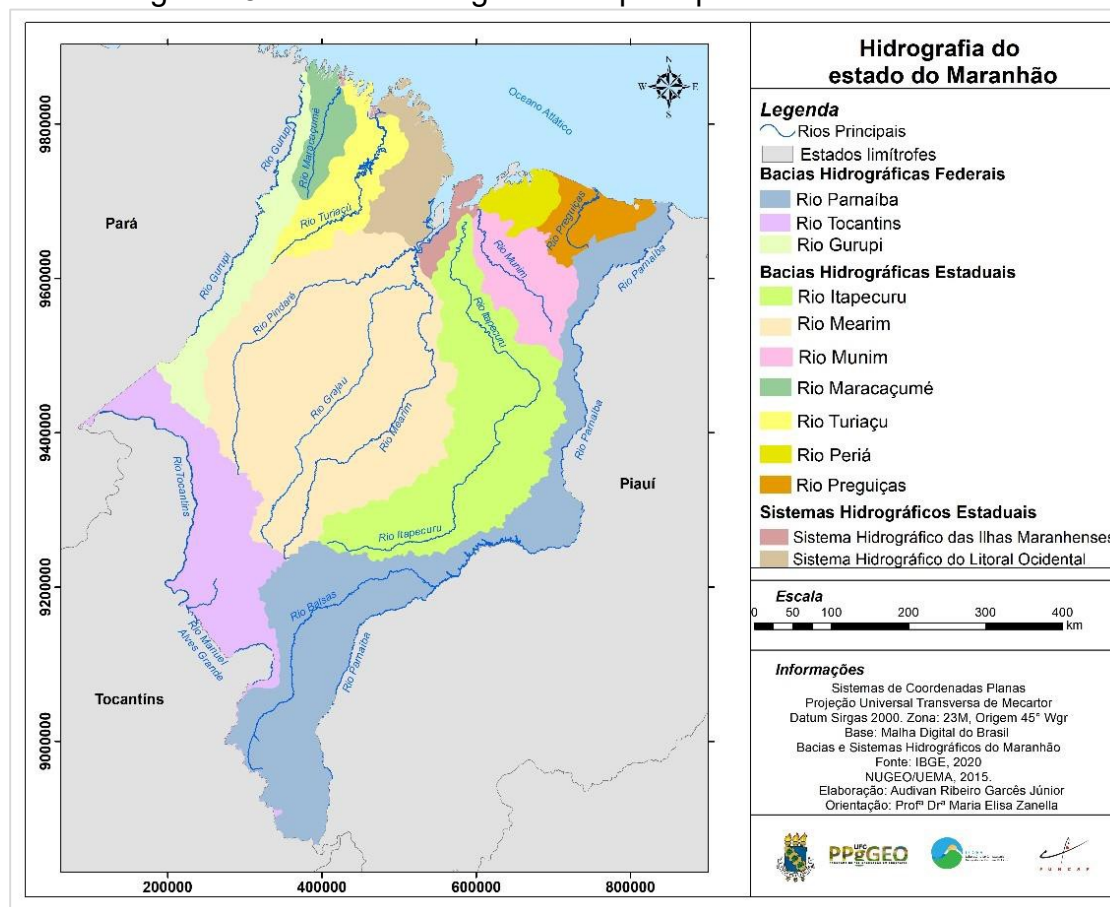
✓ **Clima Subúmido seco C2:** marcada pela moderada amplitude térmica, localiza-se na região centro-oriental do estado. Com precipitação acumulada entre 800 e 1200mm e deficiência hídrica anual moderada.

5.1.4 Aspectos Hidrográficos

Outra característica natural que difere o Maranhão do restante do Nordeste trata-se da abundância de recursos hídricos. O estado do Maranhão possui um grande potencial hídrico formado por rios caudalosos e perenes, com drenagens exorréicas, extensos lagos e águas subterrâneas. Segundo dados da ANA (2010) grande parte da população maranhense é abastecida por águas subterrâneas, cerca de 74%.

O estado do Maranhão possui 12 bacias hidrográficas oficializadas pelo decreto estadual 27.845 de 18 de novembro de 2011, dividindo o estado nas bacias de domínio federal: Bacia do rio Parnaíba a leste, bacia do rio Gurupi a Noroeste e Bacia do rio Tocantins à sudoeste (MARANHÃO, 2011a) (FIGURA 18).

Figura 18 – Bacias hidrográficas e principais rios do Maranhão



Fonte: Dados do IBGE, 2020 e NUGEO/UEMA (2015). Elaborado pelo autor.

As Bacias de domínio estadual podem ser divididas de acordo com a localização de sua foz. Com sua foz no Golfão Maranhense tem-se: a Bacia do Munim, Bacia do Pindaré, Bacia do Itapecuru e Bacia do Mearim. A bacia do rio Itapecuru possui grande importância para o abastecimento da capital do estado, São Luís e possui a maior extensão das bacias de domínio estadual (1.090km) e Bacia do Mearim é a que possui maior área representando 56.200km² do estado, equivalente a cerca de 17,3% do território estadual, formada por bacias de outros dois rios importantes, o Pindaré e Grajaú (MARANHÃO, 2002) (FIGURA 19).

Figura 19 - Rios do estado do Maranhão



Fonte: Dados de pesquisa (2021). (a) rio Mearim no município de Vitória do Mearim. (b) rio Tocantins município de Estreito. (c) rio Balsas município de Balsas. (d) rio Itapecuru município de Rosário. (e) rio Parnaíba município de Duque Bacelar. (f) rio Turiaçu município de Pedro do Rosário.

Com foz no litoral ocidental: Bacia do rio Maracaçumé, Bacia do Turiaçu e Bacia do Pericumã e no litoral Oriental a Bacia do Perιά e Bacia do Preguiças (MARANHÃO, 2002). Além de dois sistemas hidrográficos que possuem influência direta da ação marinha, o Sistema Hidrográfico das Ilhas Maranhenses e do Litoral Ocidental.

5.1.6 Aspectos Vegetacionais

As características climáticas têm um caráter determinante na definição da cobertura vegetal do Maranhão. Caracterizando-se como um ambiente de transição entre climas superúmidos da Amazônia e semiáridos do Nordeste, a vegetação possui pequena diversidade de tipos fitofisionômicos, tais como Cerrado, Manguezais, Florestas Ombrófila, que Feitosa e Trovão (2006) divide em floresta ombrófila aluvial, de platôs, submontana e aberta (FIGURA 20).

Figura 20 – Tipos fitofisionômicos da vegetação do Maranhão



Fonte: Dados de pesquisa (2021). (a) Manguezal município de Humberto de Campos. (b) Floresta Ombrófila município de Santa Luzia (c) Floresta ombrófila submontana com a presença de babaçuais município de Presidente Dutra (d) Cerrado no município de Riachão.

A floresta ombrófila aluvial ocupa áreas mais úmidas com espécies como buriti e açaí, a floresta ombrófila de platôs representa a vegetação de porte mais elevada com cerca de 50m; a floresta ombrófila submontana com porte de vegetação em torno de 20m e a floresta ombrófila aberta que representa as formações arbóreas secundárias, com predomínio da espécie de babaçu (*Orbignya martiana*) (FEITOSA; TROVÃO, 2006).

O Cerrado é a tipologia vegetacional que predomina em grande parte do território, este se localiza em sua maioria na porção leste e sul do estado, tendo seu porte e densidade variando de acordo com a umidade, divide-se em cerradinho, cerrado e cerradão. Na zona costeira predominam as espécies vegetais associadas aos ecossistemas de Manguezais, que se localizam sobretudo na área do Golfão Maranhense estendendo-se por todo litoral ocidental, formando assim uma das maiores áreas contínuas de mangue do mundo com diferentes espécies. Além dessas tipologias vegetacionais predominantes, encontram-se também espécies associadas aos Campos

inundados, às dunas e às restingas, estas duas últimas predominantes no litoral oriental (área dos Lençóis Maranhenses) (FEITOSA, 2006).

5.2 Processo de Ocupação e Urbanização do Maranhão

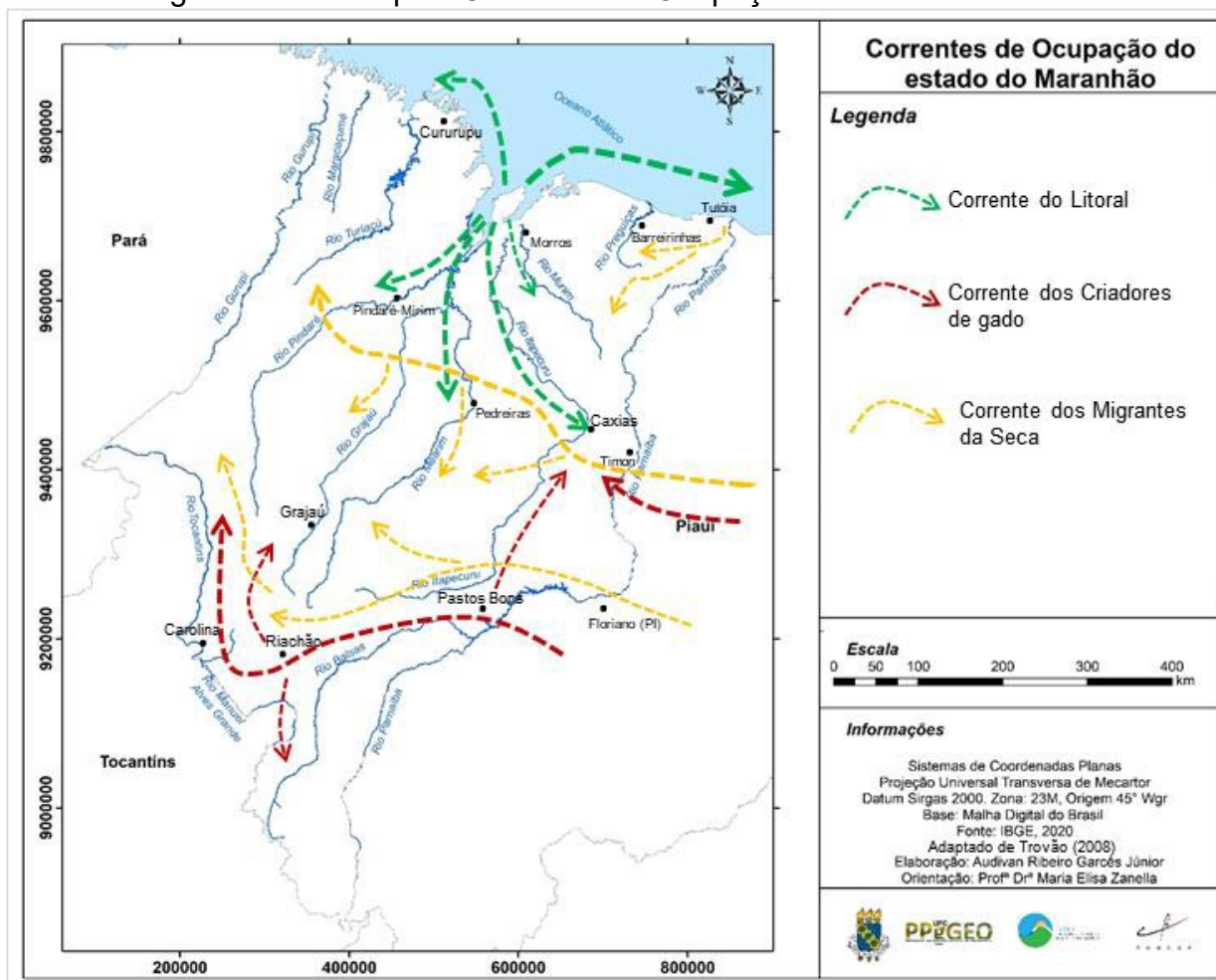
O início do processo de ocupação e colonização do território maranhense pelos portugueses deu-se de forma tardia, conforme destaca Trovão (2008). Para este autor, isso se deve às frustradas tentativas de fixação e reconhecimento do território que tinham como empecilhos dificuldades na navegação na região. Porém, a invasão Francesa na Ilha do Maranhão em 1612 foi, de certo modo, motivação para os portugueses expulsarem os franceses e iniciarem o processo de colonização deste território.

Cabe ressaltar que as condições naturais não foram apenas vistas como impedimento para a fixação e início de ocupação, já que posteriormente serão utilizados como estratégia no processo de interiorização da ocupação neste território. Trovão (2008) destaca que a escolha da Ilha do Maranhão pelos franceses para construção de seu forte foi baseada em suas vantagens da localização geográfica, tais como estar em uma ilha, situar-se no centro de um golfo e entre duas baías, na qual desaguam os principais rios maranhenses (baía de São Marcos: rios Mearim, Pindaré e Grajaú e baía de São José: Itapecuru e Munim), facilitando assim a navegação para o interior, a oportunidade de deslocamento para oeste, parte amazônica e para leste com a possibilidade de extração nas salinas e etc.

Estas características, de fato, serão importantes para o surgimento das primeiras ocupações dos colonizadores e exploração do território maranhense. Trovão (2008) salienta que os rios e o mar, principais vias de comunicação neste início de ocupação, darão ao estado uma característica de ocupação linear, que pode ser observada justamente com os surgimentos das primeiras vilas e cidades ao longo dos rios e do litoral, e que só a partir do século XX que se percebe o surgimento de povoados ao longo de rodovias.

Feitosa e Trovão (2006) consideram três frentes de ocupação do Maranhão que ocorreram em períodos distintos: Corrente do Litoral, Corrente dos Criadores de gado e Corrente dos Migrantes da seca (FIGURA 21).

Figura 21 – Principais Correntes de Ocupação do Maranhão



Fonte: Trovão (2008), adaptado pelo autor.

A Corrente Litorânea teve várias ramificações. Feitosa e Trovão (2006) destacam três ramificações, uma pelo litoral no sentido oeste de São Luís, que fora acompanhando os estuários dos diversos rios e áreas de manguezais, onde foi possível o desenvolvimento de atividades relacionadas à pesca e à produção de mandioca e cana-de-açúcar, propiciando o surgimento de alguns povoados e vilas, destacando-se Cururupu, Guimarães, Turiaçu, Carutapera e Alcântara (FEITOSA; TROVÃO, 2006; TROVÃO, 2008). A outra ramificação também seguiu pelo litoral, porém no sentido leste de São Luís, visando a possibilidade de comunicação com outras áreas já povoadas do Ceará e Pernambuco, objetivando ainda a fixação de atividades pecuaristas e extração de sal, deste processo resultou o surgimento de cidades como Icatu, Primeira Cruz, Barreirinhas e Tutóia (FEITOSA; TROVÃO, 2006; TROVÃO, 2008).

A terceira ramificação da Corrente Litorânea percorreu os vales dos rios Itapecuru, Mearim, Pindaré e Munim. Cabral (1992) e Trovão (2008) destacam que o vale do rio Itapecuru embora tenha tido um processo de ocupação lento e difícil devido à resistência e conflitos com os povos nativos, foi o que mais se desenvolveu dada as condições de navegabilidade do rio e, sobretudo, o desenvolvimento da produção e comercialização de algodão, neste sentido surgiram ocupações hoje referentes aos municípios de Caxias, Codó, Coroatá, Itapecuru-Mirim e Rosário.

Feitosa e Trovão (2006, p. 41) enfatizam que o processo de ocupação ao longo dos rios Mearim e Pindaré foram prejudicados devido à dificuldade no desenvolvimento da agricultura por conta o excesso de umidade, tipo de solo e adensamento florestal. Pelo rio Mearim, ainda foi possível o povoamento de áreas como as cidades de Pedreiras, Vitória do Mearim e Bacabal e ao longo do rio Pindaré, destacou-se a povoação em Pindaré-Mirim. Pelo rio Munim, a navegação foi bastante limitada por conta do afloramento de rochas ao longo do rio, possibilitando que as expedições pudessem chegar até as atuais localidades de Axixá e Morros (FEITOSA, TROVÃO, 2006).

A segunda frente denominada de Corrente dos Criadores de gado Corrente Pastoril foi caracterizada pela penetração de vaqueiros e criadores de gados que se deslocaram para o interior do Nordeste partindo do litoral da Bahia e Pernambuco, onde atividade canvieira já estava bem estabelecida e, de certa forma, a atividade pecuária necessitaria de espaço para se desenvolvimento (FEITOSA; TROVÃO, 2006). Trovão (2008) discorre que essa interiorização e processo de ocupação por esta corrente de povoação deu-se em direção ao rio São Francisco, percorrendo dois direcionamentos, uma rumo a Minas Gerais e outra no sentido norte chegando ao Ceará e Piauí, e é justamente esta que alcança a porção sul do estado do Maranhão, no vale no rio Parnaíba, mais precisamente o povoado de Pastos Bons por volta de 1740 (CABRAL, 1992).

Uma característica importante é que o deslocamento no estado do Maranhão dar-se no sentido Leste-Oeste, ocupando primeiramente o vale do rio Parnaíba e posteriormente alcançam o centro do Maranhão e o vale do rio Tocantins, originando as atuais localidades de Riachão (1808), Carolina (1810),

Grajaú (1811), Porto Franco (1852) e Barra do Corda (1840) (FEITOSA; TROVÃO, 2006).

Para Velho (1981) este processo de ocupação se deu até por volta do ano de 1868 e teve como característica, assim como a corrente do litoral, a ocupação próxima aos rios, conforme enfatiza Trovão (2008, p. 21) “a presença de campos naturais, a riqueza hídrica, além de grandes extensões de terra de ninguém (...) foram também condições indispensáveis para o tipo de pecuária próprio da época, ou seja, pecuária extensiva e itinerante”. O autor destaca ainda o caráter privado, sem incentivos do Estado ou da Igreja como acontecera na ocupação pela corrente do litoral.

Cabe ressaltar que estas duas primeiras frentes de ocupação, embora tivessem ocorrido em momentos históricos diferentes, foram responsáveis por caracterizar atividades econômicas e sociais distintas entre o sul e norte do estado do Maranhão, dado que as iniciativas governamentais eram mais direcionadas ao norte do estado. Rocha (2015) salienta que esta característica inclusive é uma das motivações para surgimento de movimentos separatistas no sul do estado desde o início da colonização até os dias atuais, embora haja atualmente novos arranjos econômicos que propiciam a diferenciação nos aspectos econômicos da porção sul do estado, como o avanço da fronteira agrícola.

A terceira frente de ocupação denominada de Corrente de Migrantes de seca tem seu avanço de forma considerável a partir do ano de 1910, e irá propiciar a ocupação das áreas entre o sul e norte que até então não foram possíveis de serem alcançadas pelas frentes anteriores. Conforme Trovão (2008):

A frente do sertão parou exatamente ao sul da floresta equatorial e da mata tropical, enquanto a frente litorânea acompanhou os rios só até alguns trechos dos vales médios e o vale inferior. Um vazão, cujo espaço é representado pelo fim do planalto, estendendo-se a partir das últimas ondulações do conjunto serrano central e a parte meridional da planície costeira e da baixada, ocupando toda a planície fluvial (TROVÃO, 2008, p. 24).

Além desta característica, Trovão (2008) destaca que a chegada destes migrantes foi importante para o restabelecimento de atividades agrícolas em áreas que estavam em crise desde o declínio da produção de

algodão e outras atividades agroexportadoras, como em Bacabal, Pedreiras, Codó, Caxias, Pindaré-Mirim e Monção.

Esta corrente de ocupação foi incentivada por alguns fatores, tais como as secas no semiárido nordestino, excedente de mão de obra no Nordeste e a decadência da exploração de borracha na Amazônia (TROVÃO, 2008). Lima Júnior (1987) destaca que as oportunidades nas terras devolutas em áreas de florestas também foram atraentes para os migrantes no oeste do Maranhão.

Assim como a corrente pastoril, o processo de deslocamento que se dará no sentido Leste-Oeste e penetra o estado em três sentidos: pelo vale do rio Parnaíba entre Teresina e Caxias que chegaram a alcançar o vale do rio Turiaçu, no noroeste do estado; outra via por Floriano no Piauí chegando a Pastos Bons, São Raimundo das Mangabeiras, Carolina e Imperatriz dedicando-se sobretudo à pecuária e o sentido de Presidente Dutra, Paraibano e São João dos Patos dedicando-se além da pecuária à produção de alimentos; e uma via deslocando-se pelo mar, ocupando as áreas dos atuais municípios de Tutoia, Araiões e Barreirinhas no litoral oriental e desenvolviam sobretudo a atividade pesqueira (FEITOSA; TROVÃO, 2006; TROVÃO, 2008).

Feitosa e Trovão (2006) destacam ainda dois fatos importantes sobre essa ocupação: o desenvolvimento da agricultura dando ao estado do Maranhão as características de um estado agrícola e o surgimento de diversos povoados que posteriormente transformaram-se em municípios, como Olho d'Água das Cunhãs, Lago do Junco, Pio XII, Dom Pedro e outros.

Estes processos de ocupação que são destacados por Cabral (1992), Feitosa e Trovão (2006) e Trovão (2008), permitiram o surgimento de diversas localidades no estado atrelado a uma condição natural, como a proximidade de vales fluviais e ao mar, como possibilidade de manutenção das atividades econômicas, como a agricultura, pecuária ou mesmo o extrativismo.

Projetos recentes de ocupação do território maranhense sobretudo criados e estimulados pelo Estado darão, de certo modo, uma definição para a atual conjuntura administrativa e urbana no território maranhense, e põe o Maranhão no que Arcangeli (1987) denominada de “inserção na divisão nacional o trabalho”, ou seja, que incorpora e articula a economia maranhense ao acúmulo de capital e a circulação da produção que já se desenvolvia,

sobretudo na região sudeste do Brasil. Assim, é importante destacar os arranjos que se desenvolveram a partir da segunda metade século XX e proporcionaram o processo de urbanização dos municípios maranhenses.

5.2.1 Processo de urbanização dos municípios maranhenses

Quando se analisa a população do estado do Maranhão ao longo dos censos, é possível identificar que até 2000 o estado possuía o seu maior contingente populacional em áreas rurais, característica esta relacionada a própria estrutura econômica predominante no estado atrelada a atividade agrícola e das pequenas propriedades rurais. Não obstante este fato, deve-se considerar que a partir da década de 1960 há um crescimento populacional considerável relacionado ao processo de urbanização que ocorrera de forma lenta em território Maranhense, por exemplo, em 1970 a população era 2.945.776 habitantes e em 2010 passa para 6.574.789 habitantes (QUADRO 5).

Quadro 5 – População do estado do Maranhão

Ano	Urbano	% urb.	Rural	% rur.	Total
1960	436.642	17,7	2.032.843	82,3	2.469.485
1970	748.862	25,4	2.196.914	74,6	2.945.776
1980	1.254.830	31,4	2.741.614	68,6	3.996.444
1991	1.972.421	40,0	2.957.832	60,0	4.930.253
2000	3.364.070	59,5	2.287.405	40,5	5.651.475
2010	4.147.149	63,1	2.427.640	36,9	6.574.789

Fonte: Adaptado do IBGE (2021).

Ferreira (2008) cita diversos projetos de colonização que foram desenvolvidos pela ação do Estado a partir de 1942 que possibilitaram a integração do território, bem como dará origem ao arranjo da atual conjuntura política-administrativa do estado do Maranhão. Rocha (2015) acrescenta que a partir de 1950 houve uma viabilização da infraestrutura no Maranhão com a construção de rodovias e que isto possibilitou a valorização da terra perante o capital. Este processo gerará intenso processo de migração, inclusive dos migrantes do Nordeste como já mencionado anteriormente.

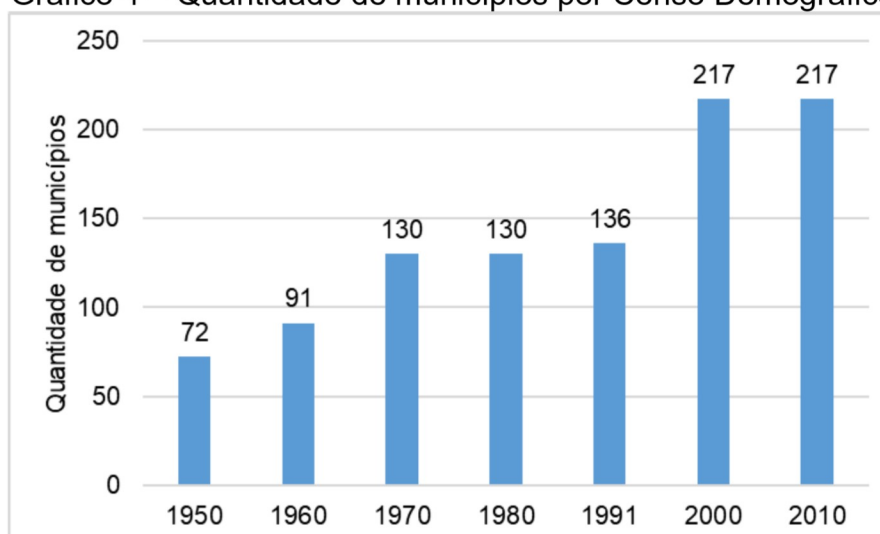
A saída do homem do campo no Maranhão a partir de 1960 também deve ser compreendido como propulsor do crescimento das áreas urbanas, à

medida que o Estado passa a viabilizar sua expulsão do campo, como ocorre em 1960 com a criação da Lei de Terra (nº 2.979) no governo Sarney que facultava a venda de terras públicas sem licitação a grupos organizados, isto de fato, será alicerce para surgimento de diversos conflitos agrários no Maranhão que perduram até os dias de hoje (ROCHA, 2015).

De certo que a partir deste período, o Maranhão insere-se no sistema produtivo nacional (BARBOSA, 2013), e grandes empreendimentos se instalaram no território maranhense a partir de incentivos estatais e com a justificativa de desenvolvimento econômico, destacando-se a década de 1980 como Projeto Grande Carajás (1980), Projetos da ALUMAR em São Luís (1981) e a expansão da fronteira agrícola pelo Cerrado maranhense intensificados na fase III (a partir de 1995) do Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento Agrícola dos Cerrados (PRODECER) (FERREIRA, 2008).

A atual conjuntura política administrativa do estado do Maranhão é então resultado deste processo que se desenvolveu no território maranhense nas últimas décadas e pode ser notado quando se analisa o quantitativo de municípios no estado, percebe-se que há um incremento de 126 municípios entre 1690 e 2010. Burnett *et al.* (2016) salienta que a criação destes novos municípios está relacionada a existência de povoados com significativo contingente populacional e que não era atendida pelo Poder Executivo (GRÁFICO 4).

Gráfico 4 – Quantidade de municípios por Censo Demográfico



Fonte: Adaptado do IBGE, 2021.

Em contrapartida, quando se observa o quantitativo populacional dos municípios maranhenses em 2010 percebe-se que 127 municípios possuem população inferior a 20 mil habitantes e apenas 9 municípios possuem mais de 100 mil habitantes, entre elas São Luís com mais de 1 milhão de habitantes (TABELA 7).

Tabela 7 – Quantidade de municípios por número de habitantes

Habitantes	Municípios
De 2.001 a 5.000	6
De 5.001 a 10.000	32
De 10.001 a 20.000	89
De 20.001 a 50.000	68
De 50.001 a 100.000	13
Mais de 100.000	9
De 100.001 a 500.000	8
Mais de 500.000	1

Fonte: Adaptado do IBGE, 2012.

Este fato, conforme revela Burnett (2016, p. 24) demonstra “o desequilíbrio da densidade populacional do estado”, onde nota-se uma concentração populacional e conseqüentemente de oferta de serviço e infraestrutura em três áreas do estado: na Ilha do Maranhão (São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar), Região Tocantina (Imperatriz e Açailândia) e no eixo Santa Inês/Bacabal com Caxias/Timon (Bacabal, Codó, Caxias e Timon). Na tabela abaixo é possível identificar o quantitativo populacional dos 9 municípios com mais de 100 mil habitantes, que representam cerca de 32,9% da população do estado (TABELA 8).

Tabela 8 – Municípios com maior população do estado do Maranhão

Município	População Total	População Urbana
São Luís	1.014.837	958.522
Imperatriz	247.505	234.547
São José de Ribamar	163.045	37.709
Timon	155.460	135.133
Caxias	155.129	118.534
Codó	118.038	81.045
Paço do Lumiar	105.121	78.811
Açailândia	104.047	78.237
Bacabal	100.014	77.860

Fonte: Adaptado do IBGE, 2012.

Desta forma, a atual configuração do território maranhense conforma em seu espaço grande parte de seus municípios com características sociais e econômicas bem semelhantes, com uma economia frágil e diversos problemas sociais, o que dá ao estado baixos indicadores de desenvolvimento sociais e econômicos.

5.2.2 Panorama das características sociais e econômicas do Maranhão

A estrutura social do estado do Maranhão é marcada pela desigualdade social, com indicadores sociais e econômicos baixos. Uma das características marcantes dos aspectos sociais do estado são as baixas taxas de escolaridade, a taxa de analfabetismo chega a 61,4% na população acima de 25 anos, dividindo-se entre os analfabetos sem instrução e menos de 1 ano de estudo (23,9%), de 1 a 3 anos de estudos (15,9%) e entre 4 a 7 anos de estudos (21,6%). Outro dado relevante é o indicador de esperança de vida ao nascer, em 2016, era de 70,6 anos, sendo a menor entre os estados da federação. A taxa de mortalidade infantil também é um indicador que demonstra a precariedade e a carência da área social, este indicador em 2010 era de 36,5%, a segunda maior da região nordeste, atrás apenas do estado de Alagoas. As taxas de fecundidade e taxas de natalidade apresentam os maiores percentuais do Nordeste, respectivamente 2,31% e 20,56% (IBGE, 2012).

Com relação ao saneamento ambiental, de maneira geral, os indicadores são abaixo da média da região Nordeste e do Brasil. Apenas 56,2% dos domicílios particulares permanentes possui acesso a coleta de lixo, 67,3% possui acesso a abastecimento de água da rede geral e apenas 19,9% com ligação à rede de esgoto, este é um dos piores indicadores já que revela situações precárias que afetam sobretudo a saúde humana (IBGE, 2012).

A renda é outro indicador relevante da característica da população, e no estado do Maranhão, este é outro indicador que revela a situação preocupante do estado. Dados IBGE (2019c) revelam que a renda média *per capita* do estado era de R\$ 676,00 a menor entre os estados brasileiros. Dados do último censo (2010) revelaram que cerca de 25% dos maranhenses viviam com até R\$ 70,00 mensais.

O Índice de Desenvolvimento Humano – IDH sintetiza bem essas informações, o Maranhão no *ranking* dos estados está na penúltima colocação com 0,639, à frente apenas de Alagoas e entre os 10 piores IDHs municipais, dois estão no Maranhão, os municípios de Marajá do Sena (0,452) e Fernando Falcão (0,443) (PNUD, 2013).

Estes são fatores importantes para se analisar a vulnerabilidade social da população do estado, haja vista que todas estas condições evidenciam uma capacidade de resposta reduzida. No trabalho de Olímpio (2017) ao analisar a vulnerabilidade a desastres dos municípios do Nordeste, identificou que o Maranhão possui o maior quantitativo de municípios com alta vulnerabilidade, sendo os 20 municípios com maior vulnerabilidade localizados no estado, o autor destaca que este fato se deve sobretudo aos baixos indicadores sociais e econômicos que afetam diretamente nas condições de vida e moradia da população e redução nos níveis de resistência e capacidade de adaptação a eventos que gerem desequilíbrio, como as secas, enchentes e outros desastres. Desta forma, salienta-se a necessidade de projetos e programas governamentais que visem melhorar as condições de vida da população do estado do Maranhão, em todas suas dimensões, educação, saúde, trabalho, renda e outras.

6 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS E MECANISMOS FÍSICOS QUE ATUAM PARA A VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA DO ESTADO DO MARANHÃO

A circulação geral da atmosfera é um dos fatores determinantes para caracterizar os climas das regiões do planeta, isso induzido por fatores como a distribuição dos oceanos e continentes, a radiação solar, as características do relevo. Estas características são importantes pois influenciam na formação de mecanismos físicos que são responsáveis pela produção de chuva nas diversas regiões.

No caso do Nordeste brasileiro, região em que o Maranhão está inserido, tem-se uma característica bastante peculiar relacionada à chuva, trata-se da variabilidade interanual e sazonal (SILVA; PEREIRA; ALMEIDA, 2012). A justificativa para esta característica está justamente na atuação de diferentes mecanismos físicos e sistemas atmosféricos na regulação da chuva e influência na variabilidade anual e interanual em toda Região Nordeste (SILVA *et al.*, 2005).

Mendonça e Danni-Oliveira (2007) destacam que a dinâmica e circulação atmosférica em toda América do Sul é controlada pela ação de 7 Centros de Ação¹², a posição destes ao longo do ano irá influenciar na atuação dos sistemas atmosféricos. No caso do Nordeste, tem-se a maior influência do Anticiclone dos Açores, o Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul e a influência da depressão que se forma na Amazônia denominada de *Doldrums*.

Os principais sistemas atmosféricos atuantes no Nordeste são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), as Linhas de Instabilidades (LI), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e os efeitos das brisas marítimas e terrestres (MOLION; BERNARDO, 2002; FERREIRA; MELLO, 2005). Costa (2016) acrescenta ainda os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). E as Frentes Frias que podem ocorrer associados a

¹² Mendonça e Danni-Oliveira destacam 7 centros de ação, sendo cinco centros positivos e dois negativos. São eles, com centro positivos: Anticiclone dos Açores, *Doldrums*, Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul, Anticiclone Semifixo do Pacífico e Anticiclone Migratório Polar; e com centros negativos: Depressão do Chaco e Depressões dos 60° de Latitude Sul. Cabe ressaltar que embora a área dos *Doldrums* caracteriza-se por ser uma área de baixa pressão, as características específicas da sua área de atuação e grande disponibilidade de úmida proporciona ser um produtor e exportador de massa de ar.

outros sistemas e que segundo Molion e Bernardo (2002) suas repercussões podem alcançar as latitudes equatoriais.

As teleconexões resultantes da interação entre o Oceano e Atmosfera também possui grande influência na variabilidade interanual da pluviosidade no Nordeste, destacam-se as teleconexões resultantes das anomalias da Temperatura de Superfície do Mar (TSM) do Pacífico Tropical, fenômeno denominado de El Niño-Oscilação Sul (ENOS), e as anomalias da Temperatura de Superfície do Mar do Atlântico Tropical (ARAGÃO, 1998; FERREIRA; MELLO, 2005; NÓBREGA, SANTIAGO; SOARES, 2016).

Estes fenômenos caracterizam a distribuição espacial e temporal da pluviosidade na região Nordeste. Para Menezes *et al.* (2003), o Nordeste possui três regimes que definem esta variabilidade: no Norte, no Centro-sul e no Leste do Nordeste (ENE).

No norte do Nordeste, que compreende a porção Centro-norte do estado do Maranhão, há maior acúmulo de chuvas entre os meses de fevereiro e abril. Alves e Repelli (1992) destacam que o volume de chuvas entre fevereiro e maio nesta porção do Nordeste é responsável por cerca de 80% do acumulado anual, abrangendo desde a área semiárida com índices em torno de 400mm/ano até a área do litoral do Maranhão ao Rio Grande do Norte com 2.000mm/ano (MOLION; BERNARDO, 2002). Sendo a ZCIT o principal sistema atuante na área, além das brisas, linhas de instabilidades e convecções locais.

O Leste do Nordeste concentra as chuvas entre os meses de abril e julho, responsável por cerca de 60% das chuvas anuais. Corresponde à parte oriental dos estados do Rio Grande do Norte, Pernambuco, Sergipe e Alagoas. Os acumulados variam de 200mm/ano nas áreas do interior do continente e 1.200mm/ano no litoral (RAO *et al.*, 1993). Os principais sistemas são as perturbações no campo dos alísios e o fluxo de umidade trazida pelos ventos dos oceanos, destacando-se os Distúrbios Ondulatórios de Leste e os fenômenos de brisas (MOLION; BERNARDO, 2002). Além disso, entre os meses de novembro e fevereiro tem-se a formação nesta área dos VCAN, que por tratar-se de um centro de baixa pressão na alta troposfera acaba por inibir a precipitação nesta área, em contrapartida a sua borda oeste causa chuvas em outras partes do Nordeste neste mesmo período (SILVA, 2002).

No Centro-sul que compreende o sul do Maranhão e Piauí, a Bahia, extremo oeste sudoeste de Pernambuco, tem-se a concentração de chuvas entre novembro e fevereiro, com acumulados que variam entre 600mm/ano na área do semiárido e aproximadamente 2.000mm/ano em área com maior influência de frentes frias que adentram o país. Além deste sistema tem-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os Complexos Convectivos de Mesoescala que se formam a partir de condições atmosféricas locais (MOLION; BERNARDO, 2002).

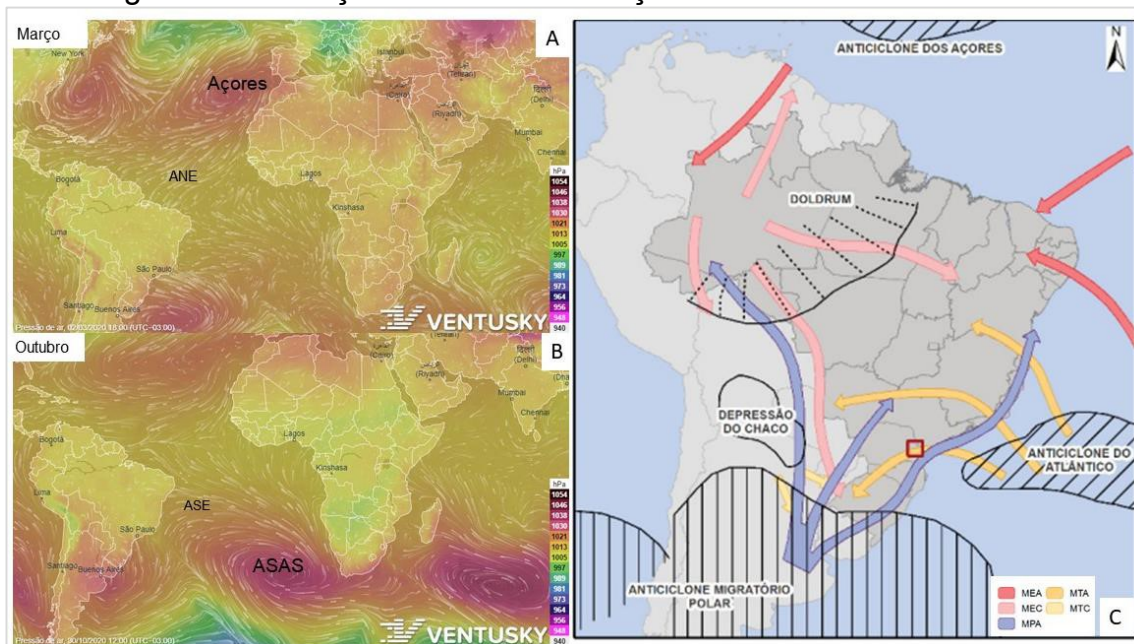
6.1 Centros de ação e as massas de ar do Nordeste

Os centros de ação são zonas de alta e baixa pressão que originam os movimentos na atmosfera, bem como o fluxo de ventos e os tipos de tempo. Esta circulação é definida a partir do deslocamento de ar de uma área de alta pressão (anticlinal) para zonas de baixa pressão (ciclinal). Tem-se então os centros de ação positivos, que são os anticlones, possuindo pressão atmosférica mais elevada que seu entorno, possuindo baixa ou nenhuma nebulosidade e os centros ação negativos têm como características de baixas pressões e estão associados a formação de nebulosidade, também podem ser chamados de depressão (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Os centros de ação se deslocam ao longo do ano de acordo com localização e intensidade de radiação nos hemisférios. Como destaca Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 96) “ quando é verão no hemisfério sul, os anticlones e suas massas de ar apresentam seus mais expressivos deslocamentos em direção sul, ocorrendo o oposto no inverno, e vice-versa para o hemisfério Norte”.

Neste trabalho serão destacados os que mais influenciam na formação das massas de ar que atuam no estado do Maranhão, são eles: o Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), *Doldrums* e Anticiclone dos Açores (FIGURA 22).

Figura 22 – Atuação dos centros de ação e massas de ar no Brasil



Fonte: Imagens obtidas no site ventusky.com para o dia 02 de março de 2020 (A) e 30 de outubro de 2020 (B) e adaptadas pelo autor. (C) Centros de ação e Massas de ar que atuam no Brasil elaborado por Goudard (2017) adaptado pelo autor.

6.1.1 Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS)

Um dos mais importantes sistemas responsáveis pela definição dos tipos de tempo da América do Sul, isso se deve por conta de sua ampla influência tanto durante o inverno quanto no verão. Molion *et al.* (2004) destaca que o deslocamento longitudinal é preponderante nesta influência. No verão, o centro tende a ficar mais distante do continente, devido ao aquecimento do continente e alta disponibilidade de umidade, justamente no período chuvoso em boa parte do Brasil tropical e equatorial, no entanto alguns autores relatam o avanço do ASAS em pleno período chuvoso, inibindo a atividade convectiva, reduzindo as chuvas e aumentando as temperaturas, este fenômeno caracteriza os denominados veranicos (CUPOLILLO, 2008).

No caso do Nordeste brasileiro, Barbosa (1999) considera que a posição da ASAS tem grande influência na variabilidade das chuvas, o autor destaca que em anos secos a ASAS tende a se posicionar mais expandido latitudinalmente no oceano e com seu centro inclinando para o norte, enquanto que se posiciona mais a oeste penetrando a região Sudeste em anos mais chuvosos no Nordeste.

No inverno este sistema se estabelece de forma predominante sobre o Brasil, resultando em alta subsidência de ar e diminuição da umidade. Uma característica marcante é o céu mais limpo, a baixa umidade em boa parte do país e ausência de chuvas (VIANELLO; MAIA, 1986). Isto pode ser observado no estado do Maranhão nos meses de inverno e primavera, a atuação da ASAS possibilita a estabilidade do tempo, com ausência de chuvas e intensificação dos ventos sobretudo no litoral.

Para Borsato (2016), o ASAS impulsiona a formação da Massa Equatorial Atlântica (mEa), relatando que uma parte dos ventos oriundos deste sistema alimenta a ZCIT e outra avança para a costa do Nordeste e do Norte, formando a mEa.

Sobre a formação das massas de ar, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) citam a Massa Equatorial do Atlântico Norte (MEAN) e Massa Equatorial do Atlântico Sul (MEAS), dois ramos da Massa Equatorial. Estas são caracterizadas por terem ar quente e úmido e se formarem nos Anticiclone dos Açores e Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul, atuando devido a diferença de pressão entre o continente e o oceano (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007)

Observa-se que no período de posição meridional da ZCIT há um direcionamento dos ventos Alísios de Nordeste (ANE) sobre a costa norte do Nordeste e Norte, sobretudo no Maranhão, originados no Anticiclone dos Açores formando a MEAN. Enquanto que no inverno, tem-se a atuação predominante dos ventos Alísios de Sudeste (ASE) vindo da ASAS, formando a MEAS.

O ASAS também é responsável pela formação da Massa Tropical Atlântica, com características de temperatura e umidade elevada. No inverno, predomina a estabilidade, exceto em regiões que possibilitam a chuva orográfica e no verão tem-se a ampliação da atuação de sistemas atmosféricos continentais, devido ao aquecimento ser mais intenso (BORSATO, 2016).

6.1.2 Anticiclone dos Açores

Localiza-se no Atlântico Norte próximo a latitude de 30°N entre a África e América Central. Sua atuação na América do Sul se dá sobretudo no verão, quando há um deslocamento de frentes polares no norte deslocando-o

para o sul (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Este período também coincide com a maior atuação da ZCIT sobre o Nordeste. Moura *et al.* (2009) destaca que quando há bloqueio na área da Groenlândia e Terra Nova, o Anticiclone dos Açores se intensifica e move a ZCIT mais para o sul, isso propicia maior pluviosidade para a região. Como já mencionado é responsável pela formação da Massa Equatorial do Atlântico Norte.

6.1.3 Doldrums¹³:

Possui grande importância na distribuição de umidade pelo interior do Brasil. Atua como uma área de baixa pressão atraindo ar úmido do Oceano Atlântico e como “centro produtor e exportador de massa de ar” (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 96). Isso se deve, sobretudo, pela grande quantidade de umidade que já existe na área amazônica, além do relevo mais plano que seu entorno. A atuação deste centro se dá durante todo o ano na sua área de origem e se expande para outras áreas no verão austral sobretudo no verão e origina a Massa Equatorial Continental (mEc) que carrega consigo ar quente e úmido. Esta massa atua sobre o oeste do Maranhão e boa parte da região Centro-oeste do país (BORSATO, 2016).

6.2 Sistemas atmosféricos que influenciam na pluviosidade no Maranhão

6.2.1 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

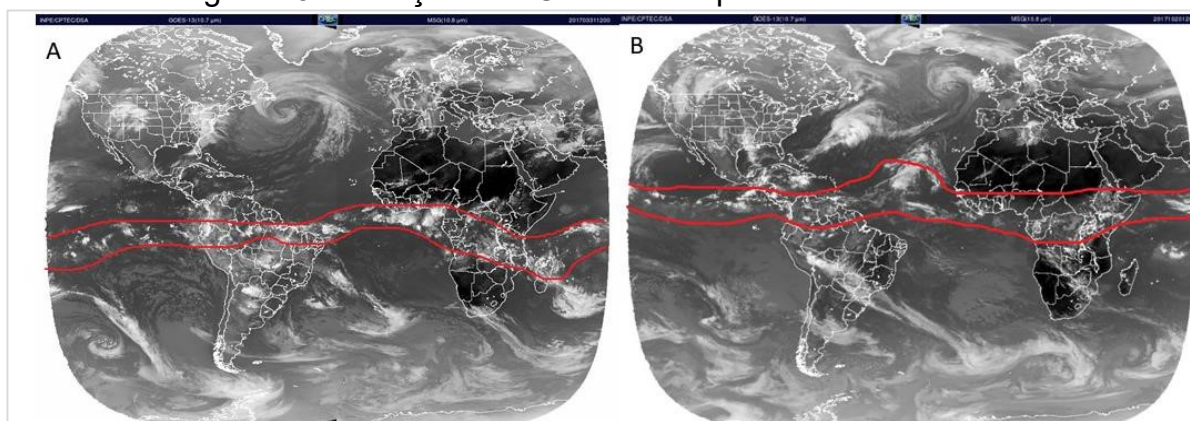
A ZCIT acompanha o equador térmico (ET), forma-se em baixas latitudes, na zona de encontro entre os ventos alísios do hemisfério norte e os ventos alísios do hemisfério sul, este encontro em baixos níveis faz com que o ar quente ascenda e forme uma massa ar úmida, com intensa atividade convectiva, formação de nuvens do tipo *cumulonimbus* e com significativo nível de precipitação. Também é denominada de Equador Meteorológico (EM), Zona

¹³ Termo do inglês refere-se à calmaria, apatia. Área de atividade convectiva com ventos mais fracos e alta umidade na região da ZCIT, essa característica marcou a navegação de caravelas na área, dada a importância do deslocamento horizontal do ar (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Intertropical de Convergência (ZIC), Frente Intertropical (FIT) e Descontinuidade Tropical (DT) (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Por acompanhar o equador térmico, a ZCIT está localizada em torno de toda região equatorial do planeta e com uma variação sazonal, migrando sazonalmente de sua posição mais ao norte (setentrional) durante setembro (14°N) para sua posição mais ao sul (meridional) (2°S) em março e abril. Sendo este deslocamento diretamente influenciado pelas temperaturas de superfície do Mar, logo em anos que a TSM do Atlântico Sul está mais elevada a posição da ZCIT pode atingir até 5°S, proporcionando elevados índices de precipitação no nordeste brasileiro (HASTENRATH, 1984; CAVALCANTI *et al*, 2009) (FIGURA 23).

Figura 23 – Posição da ZCIT em dois períodos distintos



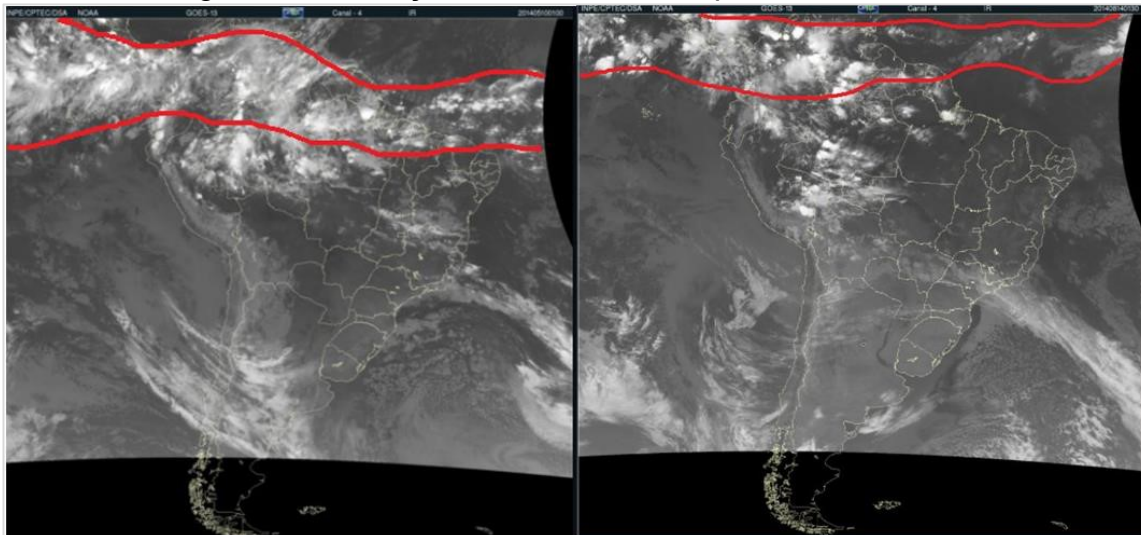
Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2017). Imagens dos Satélites GOES 13 e Meteosat 10, canal infravermelho. (A) Localização meridional da ZCIT em 31 de março de 2017. (B) Posição setentrional da ZCIT em 02 de outubro de 2017.

Para Cavalcanti *et al* (2009), a ZCIT exerce influência nas precipitações na África, na Ásia e no continente sul-americano. No caso do nordeste brasileiro, os autores ressaltam que este é o principal sistema atmosférico causador de chuvas, sobretudo no norte do Nordeste, podendo ser intensificado quando há a interação com outros sistemas, como citam o ano de 2008 quando houve ao mesmo tempo atuação da ZCIT, de um cavado em médios e altos níveis e de Linhas de Instabilidades, ocasionando totais pluviométricos bastante elevados em cidades do Pará, Maranhão e Ceará.

A atuação da ZCIT no Nordeste tem início a partir do mês de janeiro, sobretudo no Maranhão, até o mês de maio. No entanto, há grande variabilidade quanto ao seu deslocamento interanual, dependendo de outros fatores como as TSM do Atlântico e do Pacífico (XAVIER, 2000). No Maranhão,

a ZCIT exerce grande influência nos volumes de precipitação em todo estado com maior participação no centro-norte do estado, onde os maiores volumes são registrados nos meses de março e abril (FIGURA 24).

Figura 24 – Atuação da ZCIT em dois períodos distintos



Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2014). Imagens do Satélite GOES 13, canal 4. (A) Posição da ZCIT sobre o território do Nordeste em 10 de maio de 2014. (B) Posição setentrional da ZCIT em 14 de agosto de 2014.

6.2.2 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

Trata-se do principal sistema atmosférico de grande escala que regula as chuvas no Brasil durante o verão, sobretudo nas regiões Centro-oeste e sudeste do país. Caracteriza-se como uma banda de nebulosidade que se estende no sentido noroeste (Amazônia) a sudeste (Atlântico Sul) favorecida pelos Jatos de Baixos Níveis (JBN) (KOUSKY, 1988; CAVALCANTI *et al*, 2009).

O fenômeno tem sua formação atrelada à canalização dos ventos Alísios que adentram o continente americano na região tropical e transportam vapor de d'água do Atlântico equatorial e da Bacia Amazônica em direção ao Atlântico Sul. Outro fato importante refere-se à intensificação da convergência de umidade na costa sudeste do Brasil pela atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Outro aspecto importante para formação da ZCAS refere-se as circulações em altos níveis da atmosfera típicas do verão, a Alta da Bolívia (AB) e o Cavado do Nordeste (CN) ou um Vórtice Ciclônico de Altos

Níveis (VCAN), bem como pelo deslocamento de frentes frias na costa do Sudeste (CAVALCANTI *et al.*, 2009) (FIGURA 25).

Figura 25 - Condições para formação da ZCAS



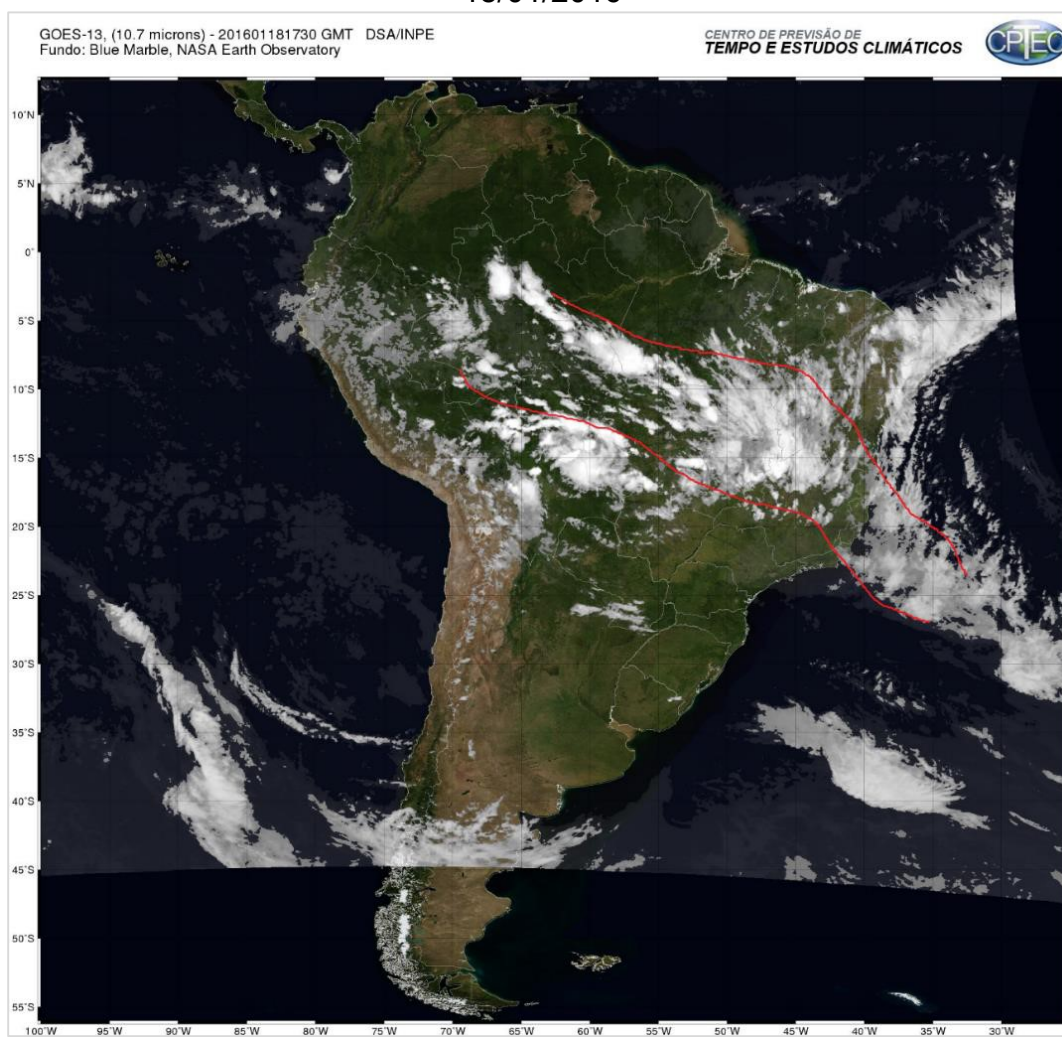
Fonte: Climatempo.

A ZCAS possui uma grande variabilidade temporal, este sistema tem uma duração mínima de 4 dias, podendo chegar a 10 dias, repetindo-se algumas vezes entre os meses de novembro a março (FERREIRA *et al.*, 2004; PESQUERO *et al.*, 2010). Sacramento Neto *et al.* (2010) sugeriu que devido a variabilidade sinótica da ZCAS, fosse criado um novo sistema denominado de Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), tendo como característica sua duração em torno de 3 dias. Esse termo era utilizado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), porém segundo Escobar (2019) deixou de ser utilizado devido à dificuldade na rotina operacional dos meteorologista previsores, sendo então definido como ZCAS, porém ainda é comum encontrarmos na literatura esta definição.

A atuação da ZCAS dependendo de sua intensidade é responsável por episódios de grandes enchentes e movimentos de massas em grandes

centros urbanos do Sudeste, bem como por veranicos no sul do Brasil. No Nordeste, a atuação da ZCAS dar-se-á, sobretudo no sul e sudoeste, com maior intensidade na Bahia, porém com repercussões no sul do Maranhão, Piauí e Ceará (COSTA, 2016) (FIGURA 26).

Figura 26 – Nebulosidade associada a ZCAS no território brasileiro em 18/01/2016



Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2016). Imagem do Satélite GOES 13, canal colorido BM.

6.2.3 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN)

Outro sistema atmosférico relevante na definição do período chuvoso do Maranhão são os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis – VCANs. Eles originam-se na alta troposfera sobre o oceano e tem sua trajetória normalmente de leste para oeste. O VCAN caracteriza-se por possuir um centro de baixa pressão e a região periférica associada a formação de bandas

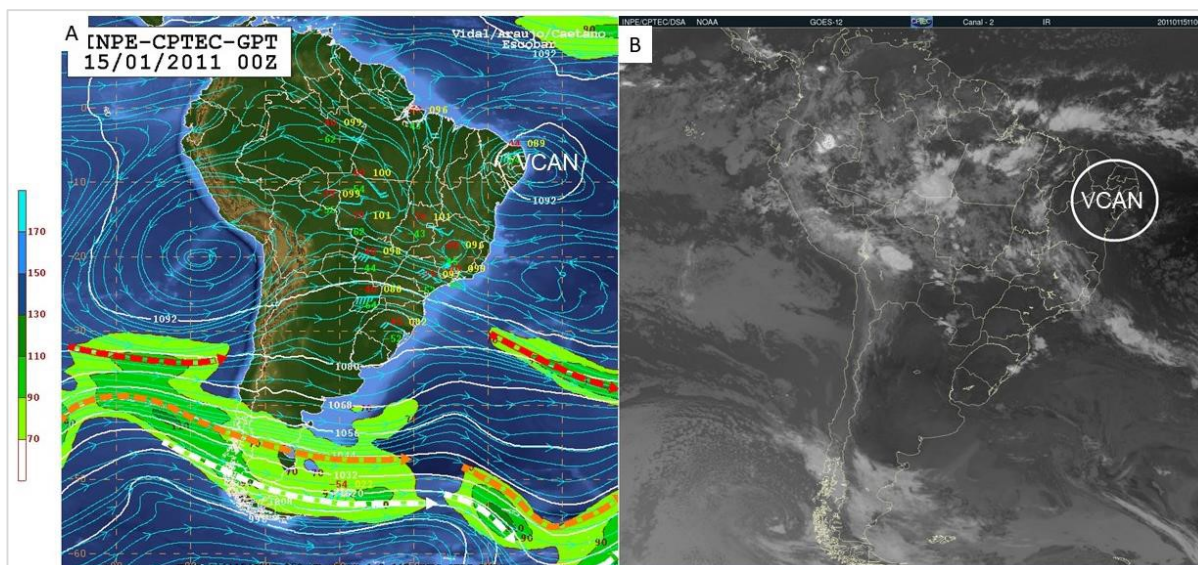
de nebulosidade, ou seja, o centro do VCAN está associado ao tempo seco enquanto as áreas periféricas a tempo chuvoso (LOPES, BARBIERI E SANTOS, 2006).

Os VCANs podem ser classificados em dois tipos: Palmén e Palmer. O VCAN do tipo Palmén origina-se em latitudes extratropicais e o do tipo Palmer tem sua origem nos trópicos, sendo que estes atuam no Nordeste, com maior frequência entre os meses de dezembro e fevereiro, com tempo médio de duração entre 4 a 11 dias (CAVALCANTI *et al.*, 2009). A origem dos VCANs no Nordeste está associada a intensificação da Alta da Bolívia e do cavado corrente abaixo do Oceano Atlântico. Cavalcanti *et al.* (2009) salienta como estes sistemas condicionam a formação do VCAN:

Isso ocorre quando um sistema frontal proveniente do sul do Brasil, penetra no subtropical, provocando uma forte advecção de ar quente no seu lado leste em baixos níveis, amplificando a crista de nível superior e consequentemente o cavado a jusante também é intensificando, formando o ciclone na alta troposfera (CAVALCANTI *et al.*, 2009, p. 80).

Os efeitos na precipitação do Nordeste oriundos do VCAN dependem da sua localização, podendo haver a inibição de nuvens e consequentemente períodos de estiagens no núcleo, assim como elevados índices de precipitação e nebulosidade na zona periférica (bordas) dos VCANs, contribuindo de forma considerável para os acumulados de chuvas nos meses de janeiro, sobretudo no estado do Maranhão (FIGURA 27).

Figura 27 – Atuação do VCAN sobre o Nordeste brasileiro



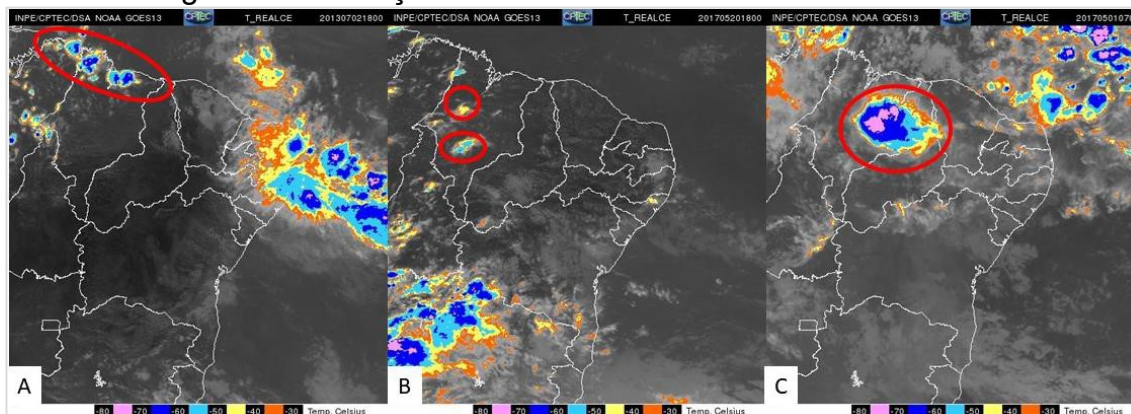
Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2011). (A) Carta Sinótica ao nível 250 hPA do dia 15 de janeiro de 2011. (B) Imagem do Satélite GOES 12, canal 2, do dia 15 de janeiro de 2011.

6.2.4 Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM)

Os CCMs são definidos como sendo “conjunto de nuvens frias e espessas de forma circular e crescimento vertical” (BARBIERI, p. 94, 2014), uma de suas características refere-se à organização em diferentes escalas espaciais, que variam desde pequenas células isoladas a grandes aglomerados convectivos (CAVALCANTI *et al*, 2009).

Estes sistemas são responsáveis por grande parte da precipitação nas regiões dos trópicos e em latitudes médias, estando associados à formação das denominadas pancadas de chuvas isoladas, pois formam-se quando há condições favoráveis de temperatura, pressão, topografia do relevo, umidade e outros fatores climáticos (COSTA, 2016) (FIGURA 28).

Figura 28 – Atuação de CCM sobre o estado do Maranhão



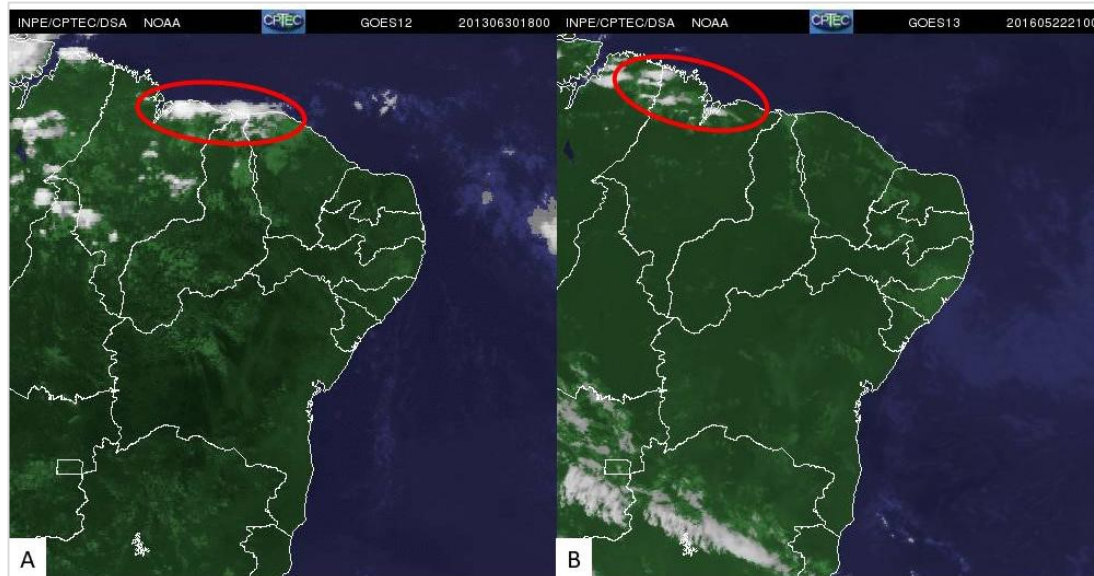
Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2013, 2017). (A) Imagem do Satélite GOES 13, canal T_realce do dia 02 de julho de 2013. (B) Imagem do Satélite GOES 13, canal T_realce do dia 20 de maio de 2017. (C) Imagem do Satélite GOES 13, canal T_realce do dia 01 de maio de 2017.

6.2.5 Linhas de Instabilidade (LI)

As linhas de instabilidade são caracterizadas como uma banda de nebulosidade organizadas na forma de linha que causam chuva, possuindo comprimento horizontal entre 20km a 100km e tempo de formação em torno de 6 horas a 1 dia. As LIs estão associadas a circulações de mesoescala, tais como as brisas (COSTA, 2016).

No norte do Nordeste brasileiro, Kousky (1980) verificou que as linhas de instabilidade se desenvolvem de uma linha de *cumulonimbus* ao longo da brisa marítima, estando associada a uma quantidade considerável de precipitação, se propagando no interior do continente (FIGURA 29). Neste sentido, Houze Jr (1977) acrescenta que a formação da LI é consequência de fluxos ascendentes e descendentes de ar, os fluxos ascendentes deslocam-se de baixos níveis até altos níveis e os fluxos descendentes transportam ar frio e seco dos médios níveis para superfície, assim uma parte desse fluxo se desloca para a frente do sistema, gerando as frentes de rajada, ou seja, ventos fortes de curta duração.

Figura 29 – Linhas de Instabilidades atuando no litoral do Nordeste



Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2013, 2017). (A) Imagem do Satélite GOES 12, canal colorido do dia 30 de junho de 2013. (B) Imagem do Satélite GOES 13, canal colorido do dia 20 de maio de 2017.

No estudo de Cohen, Silva Dias e Nobre (1989) sobre as LIs que se formam desde a Guiana até o Maranhão, foi possível verificar a associação das LIs com as brisas marítimas. Os autores ainda as classificaram de acordo o deslocamento horizontal para o interior do continente, são elas:

- Linhas de Instabilidades Costeiras (LIC): com propagação para o continente que alcançam até 170km;
- Linhas de Instabilidades do tipo 1 (LIP1): com deslocamento entre 170km e 400km;
- Linhas de Instabilidades do tipo 2 (LIP2): com deslocamento superior a 400km, formando-se durante a tarde e propagam-se com velocidade entre 50km e 60km.

O aquecimento diurno desempenha um papel relevante na formação das LIs, segundo Molion e Kousky (1985) as células que formam as linhas de instabilidades começam a se forma geralmente pela manhã, as células convectivas maiores suprimem as menores, formando linhas ou aglomerados, os autores ressaltam ainda que a sua dissipação ocorre geralmente a noite, quando há diminuição do contraste térmico, porém estas linhas podem evoluir e permanecer ativas por mais de 48 horas. Este processo ocorre quase que diariamente na região da foz do rio Amazonas até o Maranhão, e estão associadas a brisas marítimas, possuindo grande contribuição para os

acumulados pluviométricos desta região (KOUSKY, 1980; MOLION; KOUSKY, 1985).

O deslocamento das LIs na costa do Nordeste se dá no sentido leste para oeste, acompanhadas de rajadas de ventos e descargas elétricas, ocorrem sobretudo entre os meses de dezembro e maio (CAVALCANTI; KOUSKY, 1982)

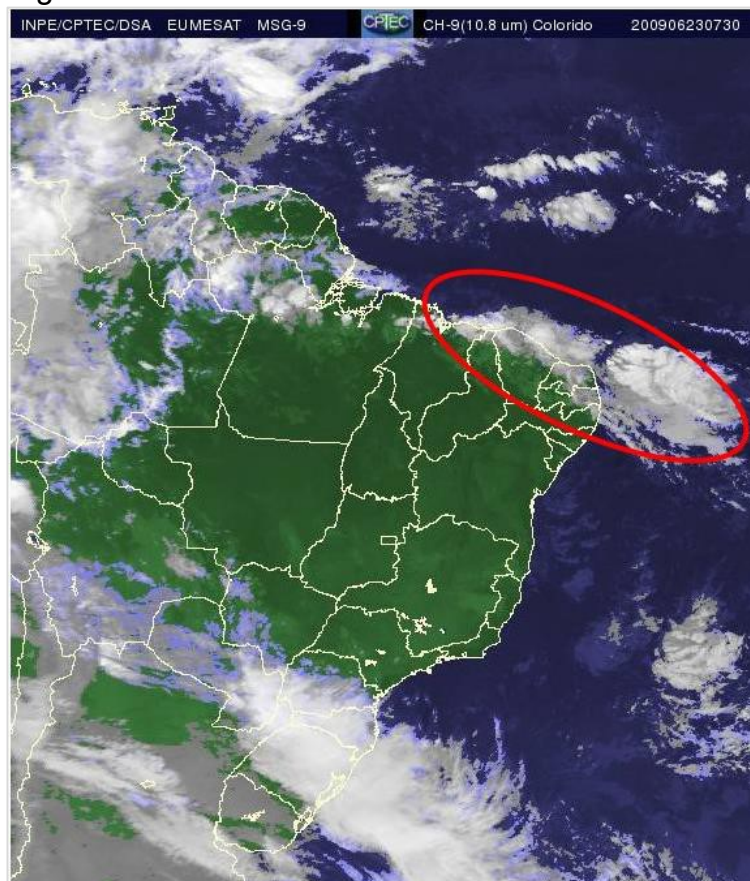
6.2.6 Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL)

Formam-se no campo de pressão atmosférica na faixa tropical com influência dos ventos alísios, deslocando-se da costa da África (leste) até a costa do Nordeste brasileiro (oeste). Os DOLs caracterizam-se pelo deslocamento de campos de pressão iguais para oeste em áreas próximas à Linha do Equador. Para Ferreira e Mello (2005) as Ondas de Leste estão associadas à atuação dos ventos Alísios bem como da Massa Equatorial Atlântica (mEa).

Kayano (1979) e Machado, Guedes e Alves (1997) levantaram a hipótese da influência das Ondas de Lestes na propagação da Linhas de Instabilidades na região amazônica. Segundo eles a convecção horizontal iniciada por fatores locais, como temperatura, pressão, umidade, é intensificada intensificados por forçantes sinóticos, tais como o DOLs, a ZCIT e outros.

Os DOLs possuem grande relevância na determinação do período chuvoso do leste do Nordeste brasileiro, sua atuação se dá sobretudo nos meses de julho a agosto nessa região (COUTINHO; FISCH, 2007). Para o Maranhão, mais precisamente no norte do estado próximo ao Centro de lançamento de Foguetes de Alcântara, Reschke e Fisch (1998) identificaram DOLs nos meses de maio e junho, que variaram entre 3 a 5 dias (FIGURA 30).

Figura 30 – DOL atuando sobre o Nordeste brasileiro

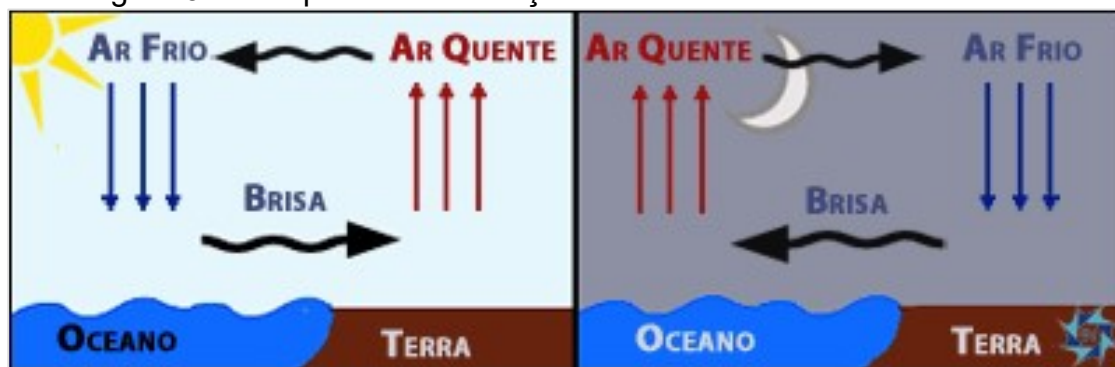


Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2009). (A) Imagem do Satélite EUMESAT, canal 9 do dia 23 de junho de 2009.

6.2.7 Brisas marítimas e terrestres

Estes fenômenos são caracterizados como sistemas de mesoescala e geram chuvas de curta duração e de intensidade fraca a moderada. É resultante das diferenças térmicas entre o continente e o oceano. Durante o dia, o continente aquece rapidamente originando um campo de pressão mais baixa em relação ao oceano, logo tem-se o vento soprando do oceano para o continente, forma-se a brisa marítima, chegando a adentrar o continente cerca de 100 km. Em contrapartida, durante a noite forma-se a brisa continental, originada a partir da mudança no gradiente de pressão, o oceano perde calor lentamente formando uma área de baixa pressão, enquanto que o continente perde calor rapidamente, desta forma durante a noite o vento sopra do continente para o oceano (VAREJÃO-SILVA, 2006) (FIGURA 31).

Figura 31 – Esquema da formação das brisas marítimas e terrestres



Fonte: INPA, 2021¹⁴.

Em seu estudo, Kousky (1980) descreveu que a convergência entre o fluxo de ar em superfície vindo do Oceano e o fluxo da brisa terrestre, é o responsável por máximos de precipitação entre o período noturno e o início da manhã no Nordeste brasileiro. Além disso, as brisas podem influenciar na formação ou intensificação de outros sistemas atmosféricos como as LIs e os DOLs.

6.2.8 Frentes Frias

As zonas frontais formam-se a partir da aproximação de duas massas de ar com origens e características diferentes (FEDOROVA, 1999). Na América do Sul, as frentes atuam praticamente o ano todo, e com mais intensidade no inverno. Tem grande influência na definição dos climas do Sul e Sudeste do Brasil. No Nordeste a penetração destes sistemas causa períodos de chuvas no centro-sul da Bahia e no sul dos estados do Piauí e Maranhão, sobretudo nos meses de novembro e janeiro (KOUSKY, 1979).

Para explicar como ocorre a influência das frentes na precipitação no Nordeste, Cavalcanti (2009) acrescenta que:

Quando frentes frias avançam para o norte (em direção ao equador), durante a estação do verão, algumas vezes elas interagem com o ar úmido e quente tropical, produzindo a convecção profunda e organizada e chuvas fortes sobre o continente, causando excessiva precipitação e inundações, deslizamentos de encostas, além de ventos forte e granizo. Durante o verão, as frentes frias frequentemente se posicionam ao longo da costa do Brasil, entre São Paulo e Bahia, na região da posição climatológica da Zona de

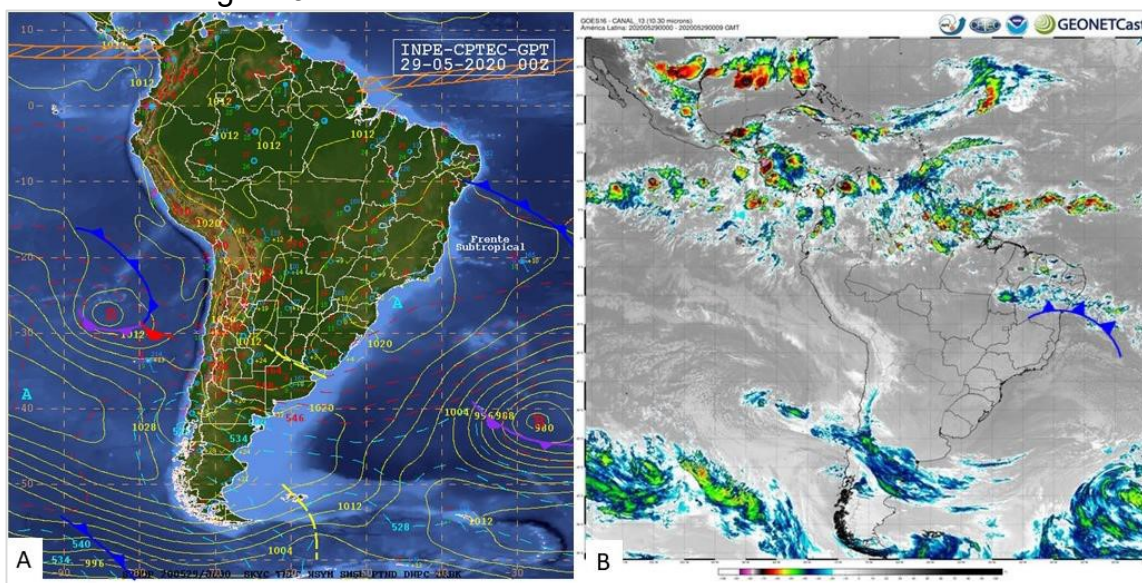
¹⁴ Disponível em:

<https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/otempo/previsao.numerica/index.html?page=aladin.brisa.mar.xml>

Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), originando períodos prolongados de chuva forte, algumas vezes com ocorrência de inundações e prejuízos materiais e humanos na região (CAVALCANTI, 2009, p.135).

Souza (1998) denominou essa influência das frentes na dinâmica climática do nordeste de Repercussão de Frente Fria (RFF), caracterizado por um sistema frontal de oclusão, provocando nebulosidade e deslocando-se no sentido sul-norte (FIGURA 32).

Figura 32 – Frente Fria atuando no território brasileiro



Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2020). (A) Carta Sinótica ao nível 250 hPa do dia 29 de maio de 2020. (B) Imagem do Satélite GOES 16, canal 13, do dia 29 de maio de 2020.

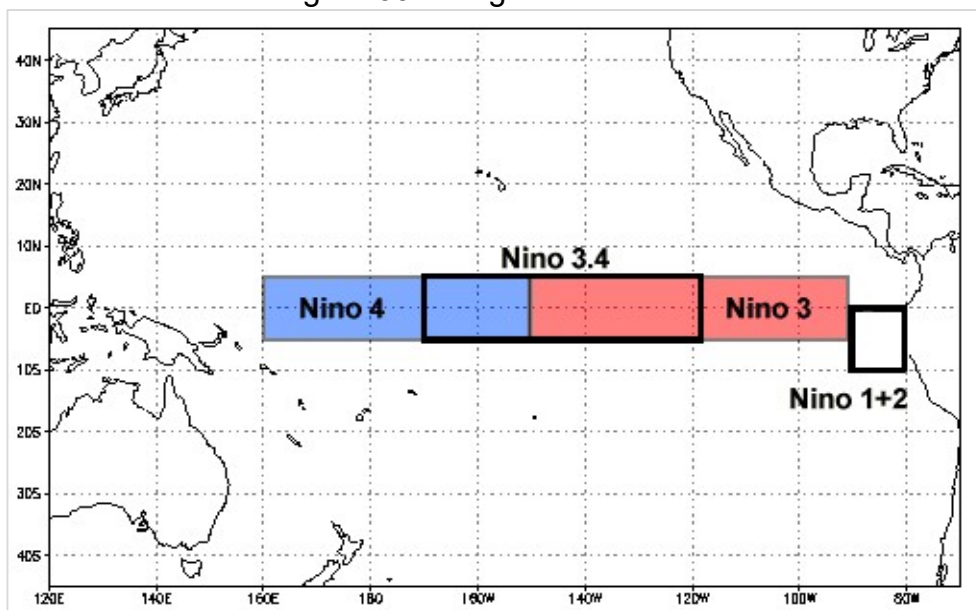
6.2.9 El Niño-Oscilação Sul (ENOS)

Este fenômeno é um exemplo de como a interação entre o oceano e a atmosfera pode causar grandes repercussões ao redor do planeta. O ENOS é caracterizado como um fenômeno climático no qual os componentes oceânico e atmosférico interagem e geram alterações na dinâmica das chuvas tanto no território brasileiro quanto em outras partes do planeta (CANE, 2001).

O componente oceânico remete às anomalias das temperaturas de superfícies do mar próximas à costa oeste da América do Sul, separadas em quatro regiões (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4) e o componente atmosférico expressa a variação da anomalia da pressão atmosférica ao nível médio do mar entre o oceano Pacífico Central (Taiti e Polinésia Francesa) e o

Pacífico Oeste (Darwin, Austrália), este componente é representado pelo Índice Oscilação Sul (IOS) (PHILANDER, 1990; GLANTZ, 2001) (FIGURA 33).

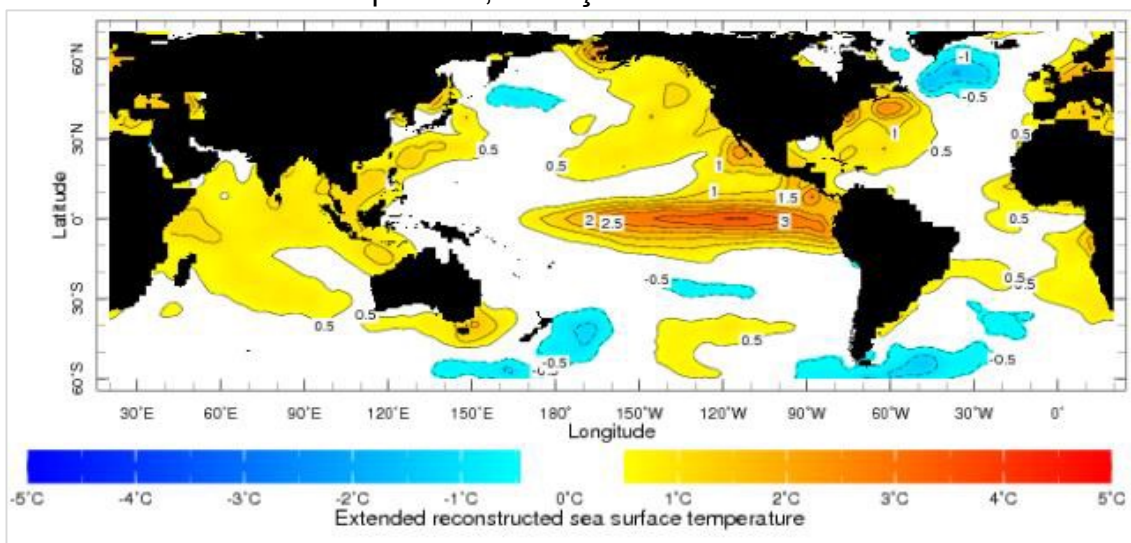
Figura 33 – Regiões do El Niño



Fonte: NCDC/NOAA, 2021.

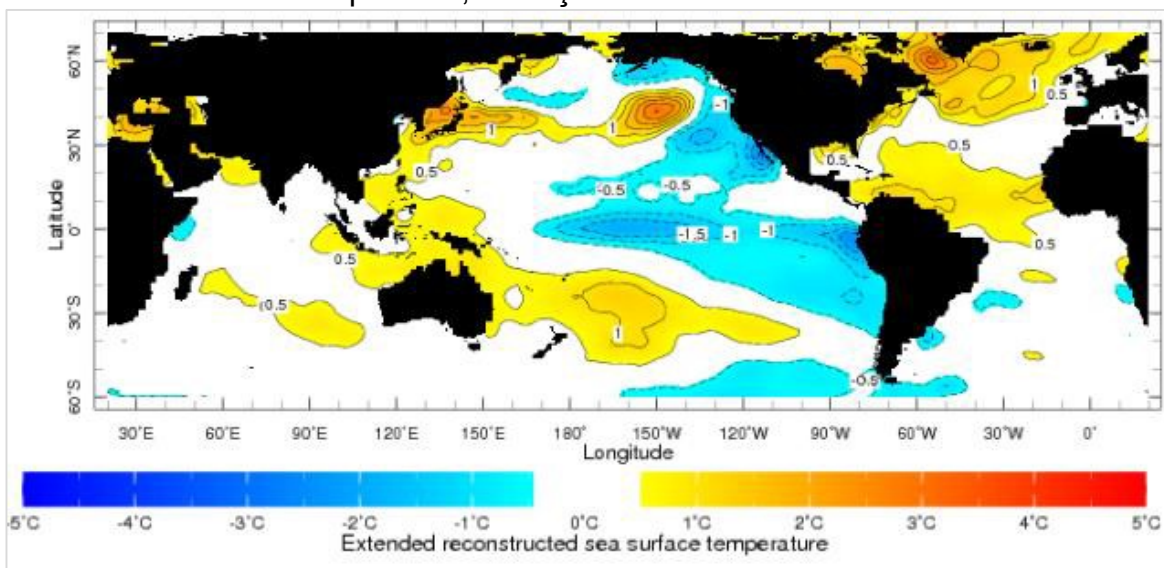
A *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* utiliza o Índice do Niño Oceânico (INO) para definir os episódios de El Niño e La Niña, referindo-se a média móvel trimestral da Temperatura de Superfície do Mar, sendo a região do Niño 3.4 a mais utilizada para monitoramento das águas no Oceano. Quando o índice por no mínimo cinco meses consecutivos é $\geq 0,5^{\circ}\text{C}$ trata-se de El Niño, quando o INO é $\leq -0,5^{\circ}\text{C}$ trata-se de La Niña. Quanto a intensidade, a NOAA define os seguintes valores do INO para El Niño: entre 0,5 e 0,9 (fraco), 1,0 e 1,4 (moderado) e $\geq 1,5$ (forte), e para La Niña entre -0,5 e -0,9 (fraca), -1,0 e -1,4 (moderada) e $\leq -1,5$ (forte) (NOAA, 2008) (FIGURA 34 e 35).

Figura 34 - Anomalias da TSM positivas em dezembro de 2015 no Pacífico Equatorial, condições de El Niño



Fonte: *International Research Institute for Climate and Society (IRI)*

Figura 35 - Anomalias da TSM negativas em agosto de 2010 no Pacífico Equatorial, condições de La Niña



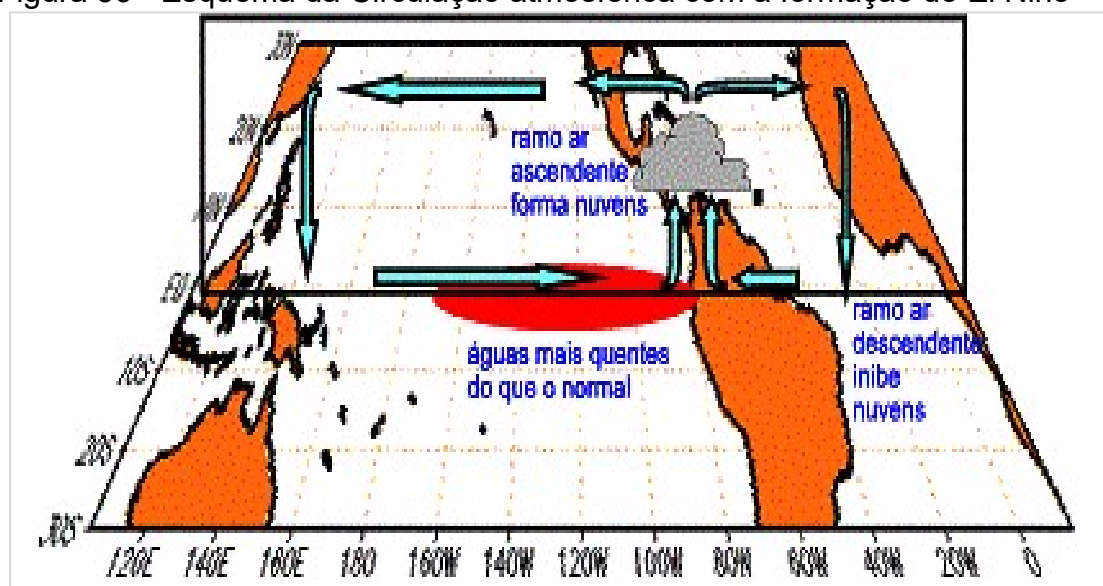
Fonte: *International Research Institute for Climate and Society (IRI)*

Mendonça e Danni-Oliveira (2007) relatam que o fenômeno El Niño é observado na costa do Peru, quando águas frias vindas do fundo do oceano, fenômeno denominado de ressurgência, e a corrente marinha de Humbolt são interceptadas por correntes quentes vindas do norte e oeste. O fenômeno de aquecimento das águas oceânicas apesar de hoje ser bastante estudado por cientistas, foi inicialmente relatado por pescadores que observaram a baixa capturas de peixes na região, intensificado no mês dezembro, por isso dar-se-á

o nome de El Niño, que significa o menino, fazendo menção às festas do nascimento de Jesus.

Em anos de anomalias positivas (El Niño) tem-se a formação de uma espécie de gangorra barométrica, caracterizada pela diminuição da pressão atmosférica sobre o Pacífico Leste, consequência do enfraquecimento dos ventos alísios que comumente sopram de leste para oeste na região, favorecendo assim o aquecimento das águas superficiais e subsuperficiais das regiões leste e central do Pacífico Equatorial. Estas alterações acabam por modificar o comportamento normal da célula de Walker, tendo seu deslocamento de sua posição climatológica alterada mais para leste, fazendo com que haja uma duplicação do ramo descendente de ar, que exerce uma força mecânica, inibindo a formação de nuvens no oceano Pacífico Leste bem como Oceano Atlântico equatorial, próximo à costa do nordeste brasileiro (CUNHA, 1999; CAVALCANTI *et al*, 2009; TORRES; MACHADO, 2011) (FIGURA 36).

Figura 36 - Esquema da Circulação atmosférica com a formação do El Niño

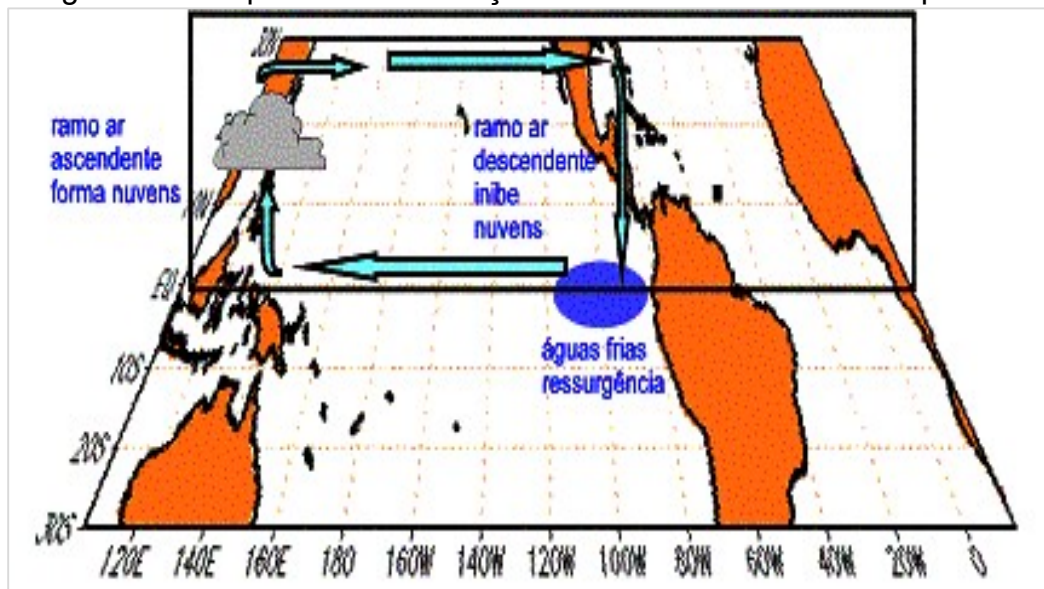


Fonte: FUNCEME, disponível em: <http://www.funceme.br/produtos/>.

O fenômeno La Niña, em contrapartida, é caracterizado pelas anomalias negativas, causadas pelo aumento da intensidade dos ventos alísios e do fenômeno da ressurgência (águas mais frias vindas do fundo do oceano) (FIGURA 37). Assim, a gangorra barométrica é observada com o aumento de pressão no Pacífico Leste que intensifica as condições normais da Célula de

Walker, com movimentos ascendentes na Indonésia e descendentes da costa oeste da América do Sul (BERLATO; FONTANA, 2003).

Figura 37 - Esquema da Circulação atmosférica no Pacífico Equatorial



Fonte: FUNCEME, disponível em: <http://www.funceme.br/produtos/>.

Estes dois fenômenos causam efeitos diferentes no território brasileiro. No caso do Nordeste, Oliveira (2001) ressalta que em anos de El Niño há a diminuição das chuvas, intensificando as secas, enquanto que nos anos de La Niña tem-se o aumento de precipitações. Costa (2016) explica que quando se configura El Niño há um deslocamento da Célula de Walker para o Pacífico Leste por conta do aquecimento da superfície do mar, o que propicia a subsidência de ar sobre o Atlântico Equatorial, como a Amazônia Oriental e o Nordeste brasileiro.

Outro aspecto sobre a diminuição de chuvas no Nordeste em anos de El Niño é destacado por Ferreira e Mello (2005) na qual com a alteração da célula de Walker no Pacífico, um ramo descendente sobre o Oceano Atlântico próximo ao nordeste e norte do Brasil, inibe a formação de nuvens e dependendo do período de atuação, pode bloquear a descida da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que é o principal produtor de chuvas na região.

Na pesquisa realizada por Nascimento, Braga e Araújo (2017) buscando caracterizar eventos secos e chuvosos para o estado Maranhão,

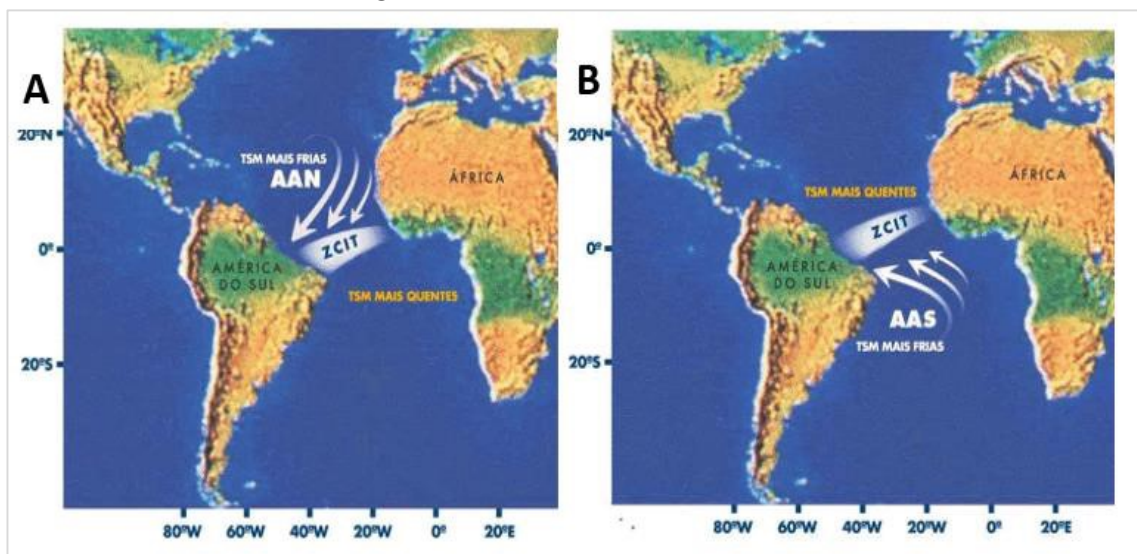
evidenciou que os anos secos coincidiram com fenômenos de El Niño enquanto anos chuvosos com La Niña, sobretudo na região norte do estado.

6.2.10 Temperatura de Superfície do Mar (TSM) do Atlântico

Alguns estudos têm apontado maior evidência sobre a influência das Temperaturas do Oceano Atlântico Intertropical sobre as precipitações no Nordeste, sobretudo no norte desta região. A TSM do Atlântico Tropical também denominada como Dipolo do Atlântico ou Gradiente Inter-hemisférico ou meridional da temperatura de superfície do Mar (GRADM) (XAVIER, 2001; ANDREOLI; KAYANO, 2007; LUCENA *et al.*, 2010).

O Dipolo do Atlântico refere-se a diferença do gradiente nos campos de anomalias de TSMs entre as áreas do Atlântico Norte e Sul. Ressalta-se que ambas as bacias (norte e sul) podem apresentar anomalias de mesmo sentido (positivo ou negativo), porém podem gerar gradiente que cria diferença, ou seja, justamente o dipolo. Quando o dipolo é positivo, refere-se que TSM do Atlântico Norte está mais quente que do Atlântico Equatorial e Tropical Sul, esta condição permite a formação de movimentos descendentes de ar no Nordeste setentrional, central e sertão, inibindo a formação de nuvens. Já o dipolo é negativo, a TSM do Equatorial e Tropical Sul estão mais quentes, permitindo a formação de movimentos ascendente de ar, intensificando a formação de nuvens. Assim em anos de Dipolo Positivo tem-se acumulados de pluviosidade abaixo da média, enquanto que Dipolo Negativo favorece acumulados acima de média e no Norte é negativa, favorecendo a precipitação (ARAGÃO, 1998; ANDREOLI, KAYANO, 2007; NÓBREGA; SANTIAGO; SOARES, 2016) (FIGURA 38).

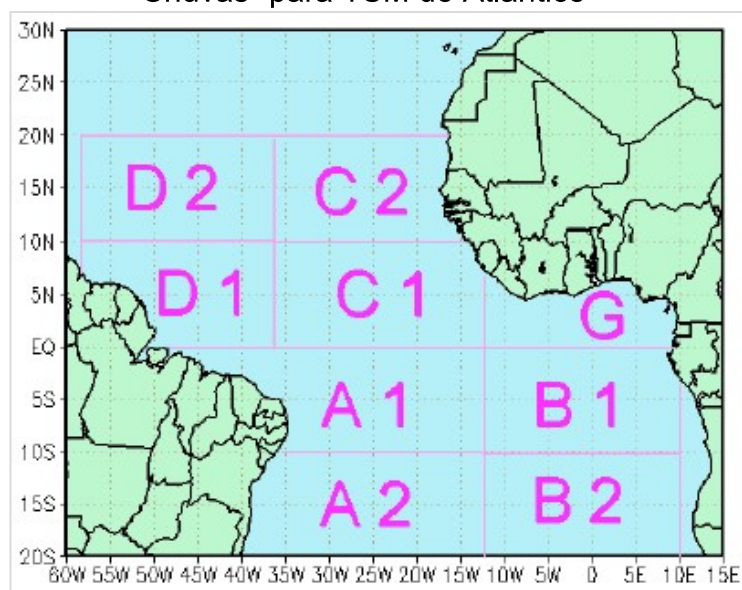
Figura 38 - Esquema do padrão oceânico e atmosférico sobre a bacia do Oceânico Atlântico brasileiro



Fonte: FUNCEME. Bacia do Oceânico Atlântico favorável (A) e desfavorável (B) às precipitações no Nordeste

Xavier (2001) em seu trabalho para o estado do Ceará explica que o aquecimento do Atlântico Sul e o resfriamento do Atlântico Norte (Dipolo negativo) combinados, contribuem para a maior ocorrência de chuvas no Ceará, enquanto que o inverso, resfriamento do Atlântico Sul e aquecimento do Atlântico Norte contribuem para diminuição das chuvas. Xavier (2001) ilustra ainda que TSM elevadas nas áreas A e B do Oceano Atlântico possui correlações positivas na ocorrência de chuvas no estado do Ceará, o inverso ocorre quando há TSM elevada nas áreas C e D (Atlântico Norte) (FIGURA 39).

Figura 39 - Áreas definidas pelo projeto “Tempo de Chuvas” para TSM do Atlântico



Fonte: Xavier (2001).

Sousa, Almeida e Rolim (2002) analisaram a influência no Dipolo do Atlântico nas precipitações do município de São Luís e concluíram que em anos em que as águas do Atlântico Sul estão mais quentes (Dipolo negativo) as chuvas ocorrem acima da média e na maioria das vezes com valores extremos e forte anomalia positiva.

Lucena *et al* (2010) utiliza a nomenclatura Gradiente Inter-hemisférico ou meridional da temperatura de superfície do Mar (GRADM) e consideram as variações da TSM do Atlântico na região dos Alísios de nordeste e sudeste, em diferentes escalas de tempo (sazonal, interanual e decadal), considerando que GRADM interferem na posição da ZCIT. Andreoli e Kayano (2007) analisando a importância do Atlântico na precipitação do Nordeste, calcularam o GRAD a partir da diferença entre os índices de anomalias de temperaturas do Atlântico Norte (ATN) e as anomalias do Atlântico Sul (ATS), evidenciaram que em condições de El Niño e GRAD no Atlântico ocorrendo simultaneamente, estes atuam para diminuir (GRAD – positivo) ou aumentar (GRAD- negativo) as anomalias de precipitação no norte do Nordeste nos meses de março, abril e maio.

7 VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PLUVIOSIDADE DO ESTADO DO MARANHÃO

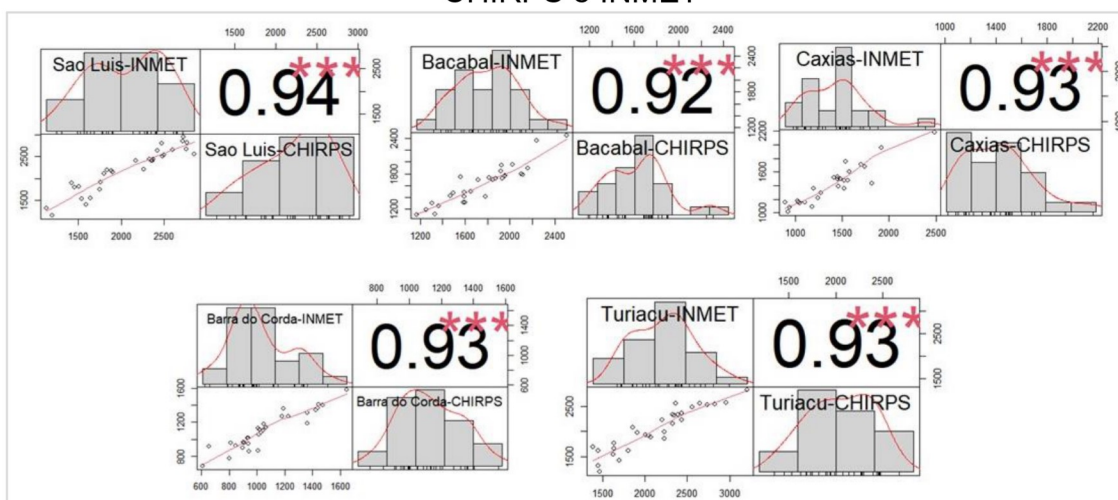
A variabilidade espacial e temporal é uma das principais características da pluviosidade do estado do Maranhão. Neste capítulo é apresentado os resultados da validação dos CHIRPS, a caracterização da distribuição espacial e temporal da pluviosidade no estado, a definição das Regiões Pluviométricas Homogêneas e por fim, a variabilidade da pluviosidade entre os anos de 1989 e 2020.

7.1 Validação de Dados de Pluviosidade Estimados do CHIRPS para o Estado do Maranhão

Os dados anuais do CHIRPS obtidos a partir das imagens de 1989 a 2019 foram comparados com os dados das 12 estações convencionais do INMET localizadas no estado do Maranhão para o mesmo período. O método estatístico utilizado permitiu inferir se há ou não correlação e a significância entre os dados.

Das 12 estações do INMET analisadas para o estado do Maranhão, 5 apresentaram correlação muito forte, ou seja, com valor de correlação superior a 0,9. Estas estações foram São Luís, com 0,94, Caxias, Barra do Corda, Turiaçu com 0,93 cada estação e Bacabal com 0,92. Na Figura 40 é possível identificar além dos valores de correlação, a distribuição dos casos e o gráfico de dispersão entre os dois conjuntos de variáveis.

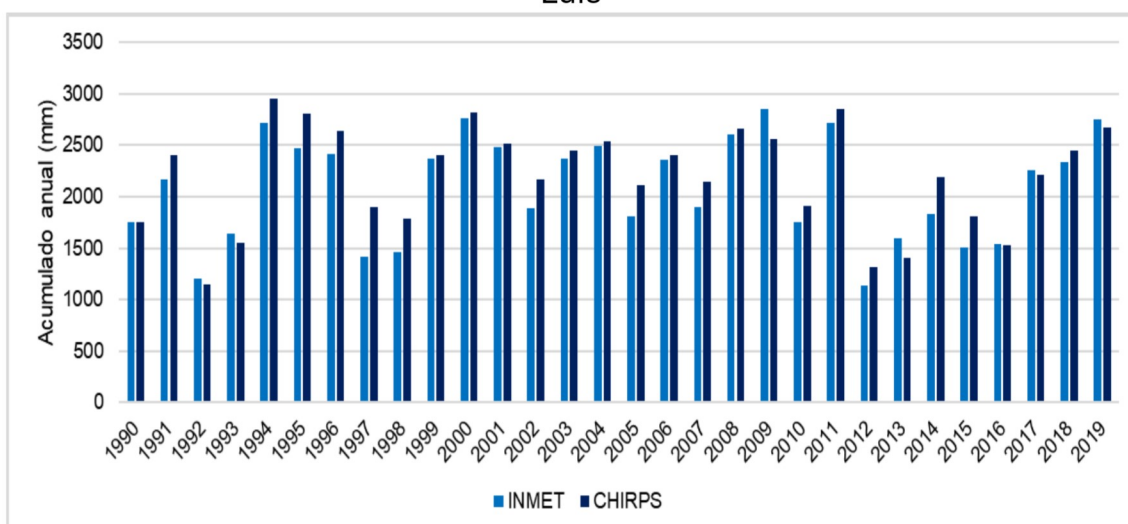
Figura 40 – Representação Gráfica das maiores correlações entre dados CHIRPS e INMET



Fonte: USGS (2021); INMET (2021), elaborado pelo autor.

São Luís, foi a localidade com correlação mais elevada, sendo abaixo apresentado o gráfico comparando os dois conjuntos de dados por ano (GRÁFICO 5). Nota-se que predominantemente os dados CHIRPS possuem volumes um pouco superiores ao INMET, exceto no ano de 2009, 2017 e 2020, com diferença respectivamente de 293mm (11,4%), 52,6mm (2,3%) e 81,8mm (20,1%), sendo a maior diferença no ano de 2009.

Gráfico 5 – Distribuição da Pluviosidade Anual do CHIRPS e INMET em São Luís

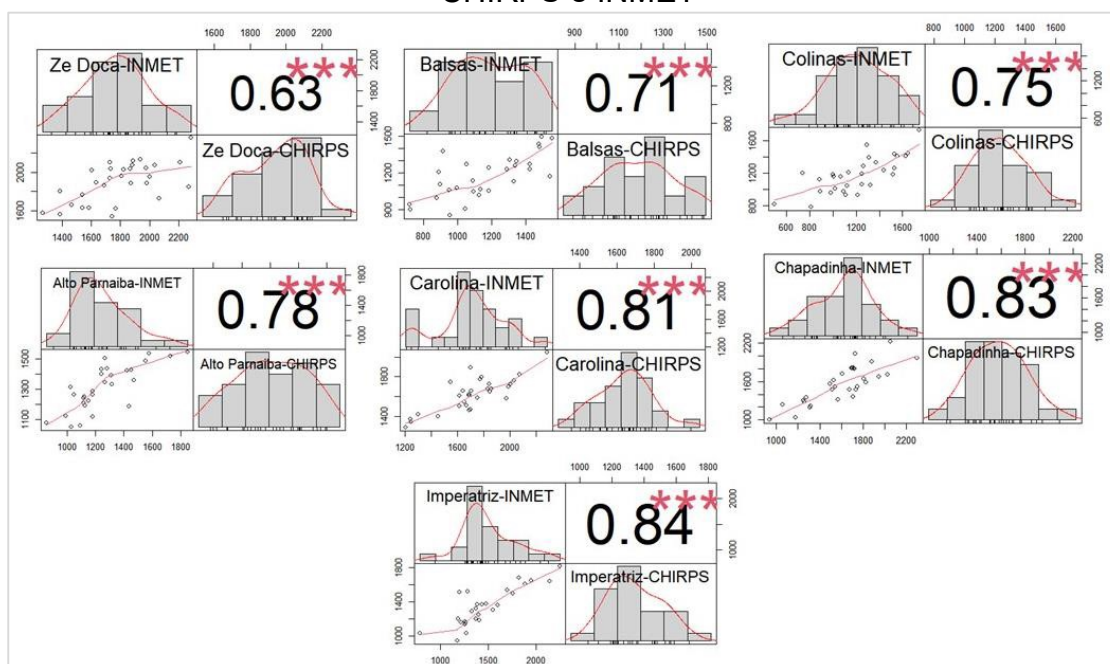


Fonte: USGS (2021); INMET (2021), elaborado pelo autor.

As outras 7 estações tiveram correlação considerada forte, com valores entre 0,6 e 0,9. Estas foram as seguintes localidades: Zé Doca (0,63),

Balsas (0,71), Colinas (0,75), Alto Parnaíba (0,78), Carolina (0,81), Chapadinha (0,83) e Imperatriz (0,84). É possível perceber nos gráficos de dispersão destas localidades que há maior quantidade de dados distantes da reta, o que de certa forma propiciou menor correlação que das outras estações (FIGURA 41).

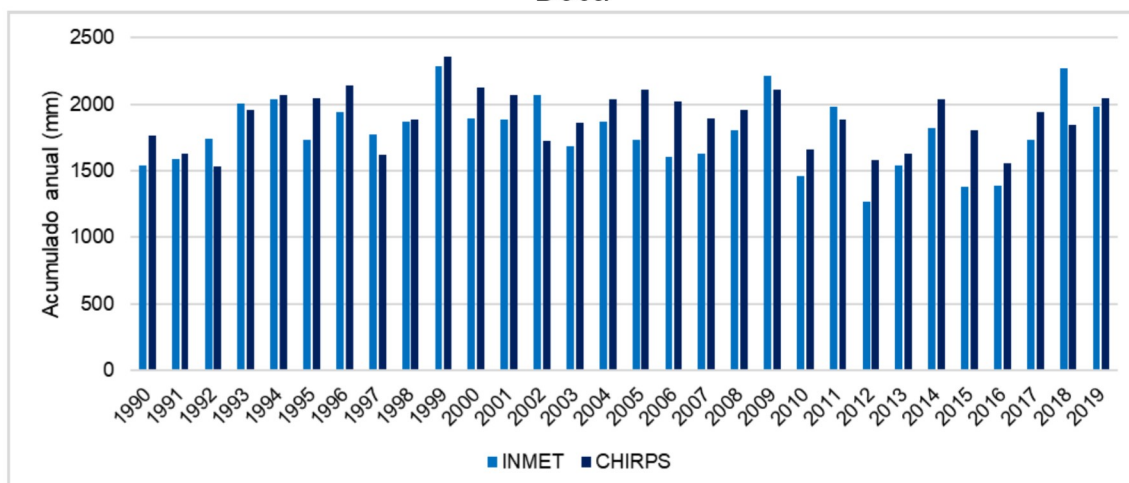
Figura 41 – Representação Gráfica das menores correlações entre dados CHIRPS e INMET



Fonte: USGS (2021); INMET (2021), elaborado pelo autor.

Analisando a distribuição dos dados entre 1989 e 2019 na estação de Zé Doca, que possuiu a menor correlação, observa-se que há diferenças maiores entre as duas fontes de dados sobretudo no ano de 2018, em que o INMET registrou 2.272,5mm e o CHIRPS 1.846,7mm, um erro percentual de 23,1%. Bem como em 2015 que ocorre o inverso, o CHIRPS registrou o maior volume com 1805,2mm e o INMET com 1.383mm, uma diferença de 422mm, com erro percentual de 30,5% (GRÁFICO 6).

Gráfico 6 – Distribuição da Pluviosidade Anual do CHIRPS e INMET em Zé Doca



Fonte: USGS (2021); INMET (2021), elaborado pelo autor.

Ressalta-se que a significância da correlação foi representativa em todas as estações, com $\alpha \leq 0,001$. Nos gráficos esta informação é representada pelos três asteriscos (***)

Os resultados se mostraram satisfatórios, assim como outras pesquisas (CASTELHANO; PINHEIRO; ROSEGHINI, 2017; COSTA *et al.*, 2019), identificando os dados CHIRPS como uma boa opção de fonte de dados pluviométricos, sobretudo em áreas com poucas estações de superfície, como o estado do Maranhão. Ressalta-se que outros testes podem ser aplicados ao banco de dados a fim de identificar os erros sistemáticos (BIAS) e intensidade médios dos erros (EQM) entre os dados CHIRPS e do INMET.

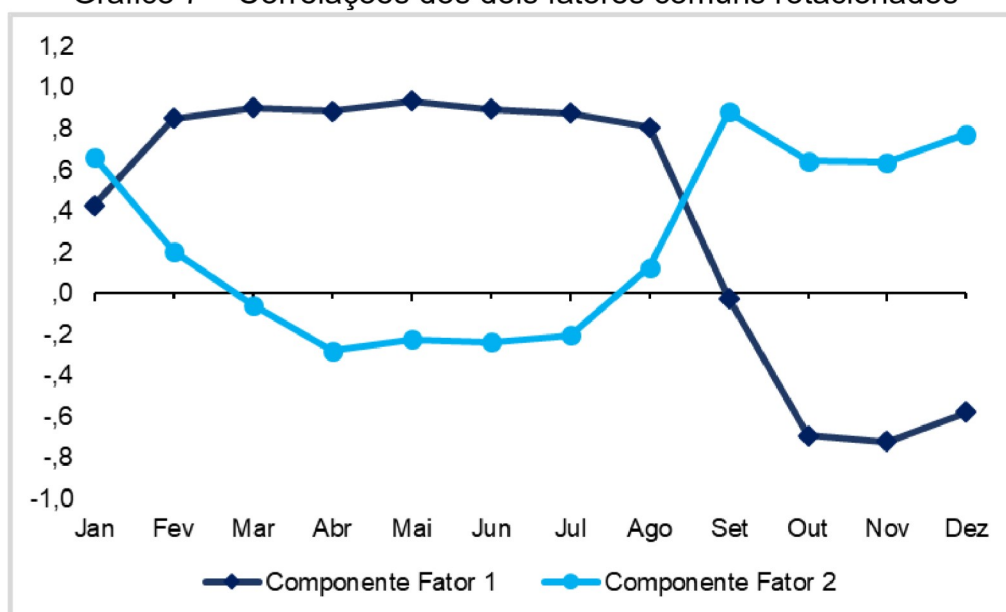
7.2 Análise espaço-temporal da Pluviosidade no estado do Maranhão

A Análise Fatorial em Componentes Principais dos dados normais mensais de 1989 a 2020, permitiu identificar o padrão espacial e temporal da pluviosidade no estado do Maranhão. Nesta análise foi utilizado o critério de Kaiser, na qual são retidos apenas os autovalores superiores a 1. Assim foram encontrado dois fatores rotacionados com autovalor superior a 1, os dois fatores explicaram 81,4% da variância total da pluviosidade.

O fator 1 explica 57,9% da variância total e possui correlações superiores a 0,8 nos meses de fevereiro, março, abril, maio, junho, julho e agosto (GRÁFICO 7). Este fator é representado em grande parte pela atuação

dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), onde os acumulados na porção centro-norte do estado são mais expressivos entre os meses de janeiro e maio (NASCIMENTO, 2014), além da atuação das Linhas de Instabilidades e Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) nos meses de junho e julho (BARROS; OYAMA, 2010). Barros (2008) destaca que as Linhas de Instabilidades são responsáveis por cerca de 25% a 33% das chuvas registradas no noroeste estado do Maranhão entre os meses de junho a agosto.

Gráfico 7 – Correlações dos dois fatores comuns rotacionados



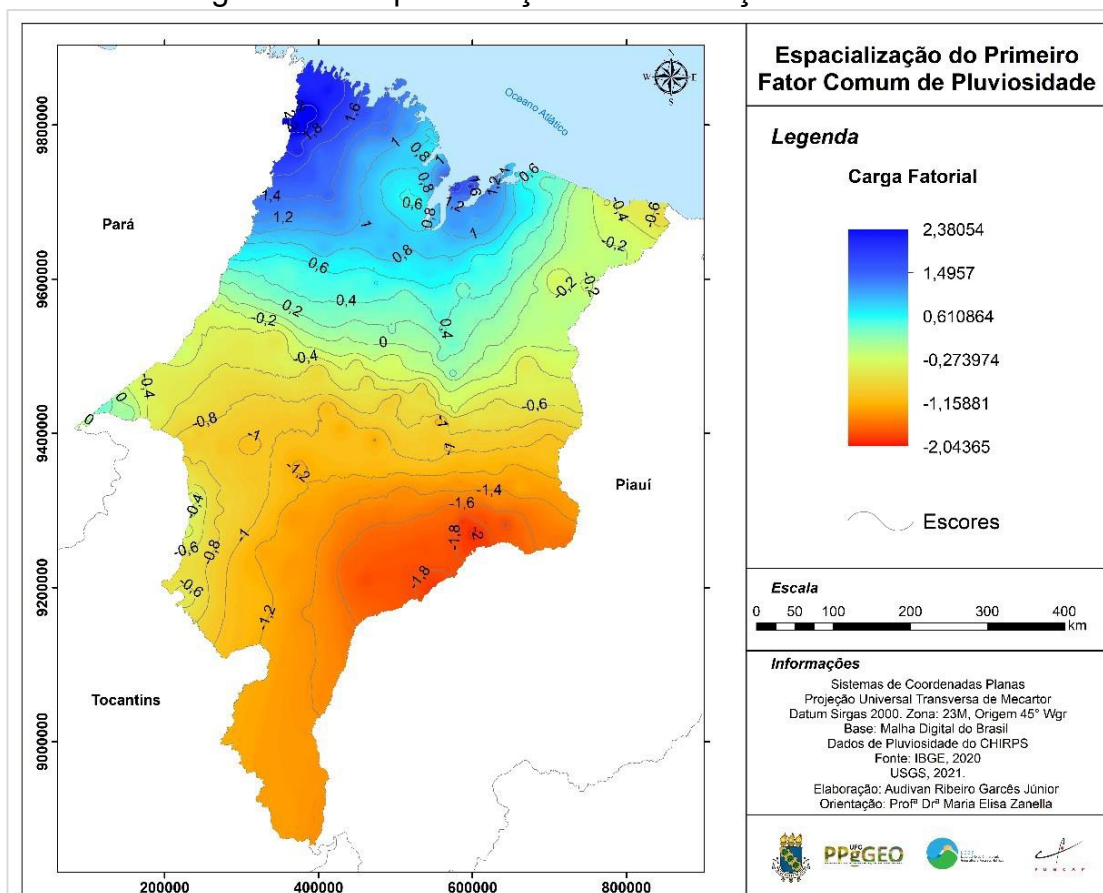
Fonte: Elaborado pelo autor.

O fator 2 explica 24,5% da variância acumulada rotacionada, com maiores cargas fatoriais nos meses de janeiro, setembro, outubro, novembro e dezembro. Este fator representa os meses de atuação sobretudo dos VCAN, que contribui para as chuvas na porção oeste e sul do estado, além da Zona de Convergência do Atlântico do Sul com maior atuação no sul entre os meses de outubro e janeiro (NASCIMENTO, 2014).

Na espacialização das correlações, nota-se que no fator 1 tem-se as maiores correlações na porção noroeste, norte e pequena parcela da porção central do estado (FIGURA 42). As maiores correlações foram identificadas nos municípios de Boa Vista do Gurupi (2,38), Amapá do Maranhão (2,13) e Junco do Maranhão (2,0), todos na porção oeste do estado. Nesta área a

pluviosidade se dá sobretudo pela forte atuação da ZCIT, além das LIs e da nebulosidade formada na borda dos VCANs.

Figura 42 – Espacialização das correlações do Fator 1

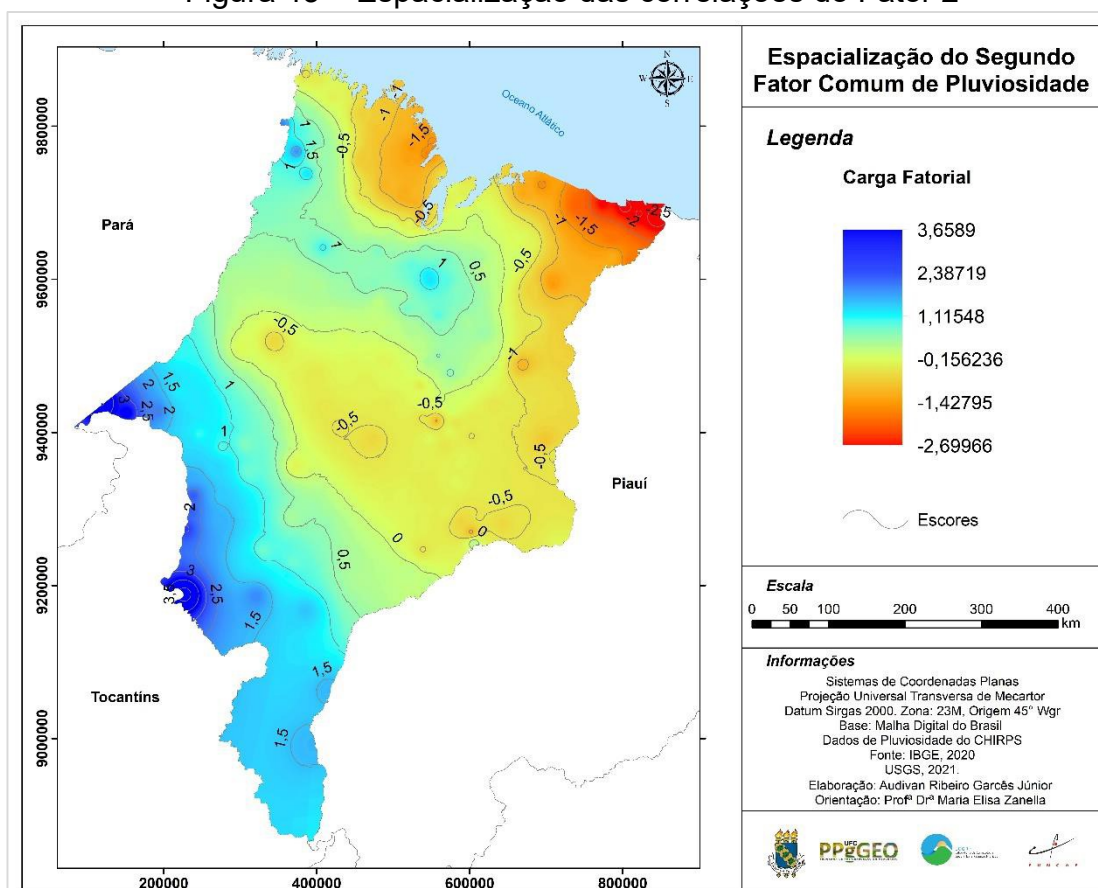


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na distribuição das correlações do fator 2 (Figura 43) é possível identificar as maiores correlações na porção sul e oeste do estado do Maranhão, alguns municípios com correlações superiores a 3, como Carolina (3,66) no sul e no extremo oeste, em São Pedro da Água Branca (3,51). Algumas correlações superiores a 0 foram encontradas em outras áreas do estado, como em Vitória do Mearim (0,75) e Arari (0,88) na porção centro-norte. Na porção sul, onde tiveram as maiores correlações, a atuação da ZCAS contribui para a pluviosidade entre os meses de setembro e janeiro, com maior contribuição nos meses de outubro e novembro, além das repercussões de frente fria entre os meses de novembro e janeiro (VIRJ, 1981) e a atuação dos VCANs (NASCIMENTO, 2014). Nas demais áreas em que houve correlação, porém menos expressiva, tem-se a atuação da ZCIT, que cabe destacar possui

uma relevância nas chuvas de todo o estado entre os meses de fevereiro e abril, atuando ainda em maio na porção noroeste do estado.

Figura 43 – Espacialização das correlações do Fator 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

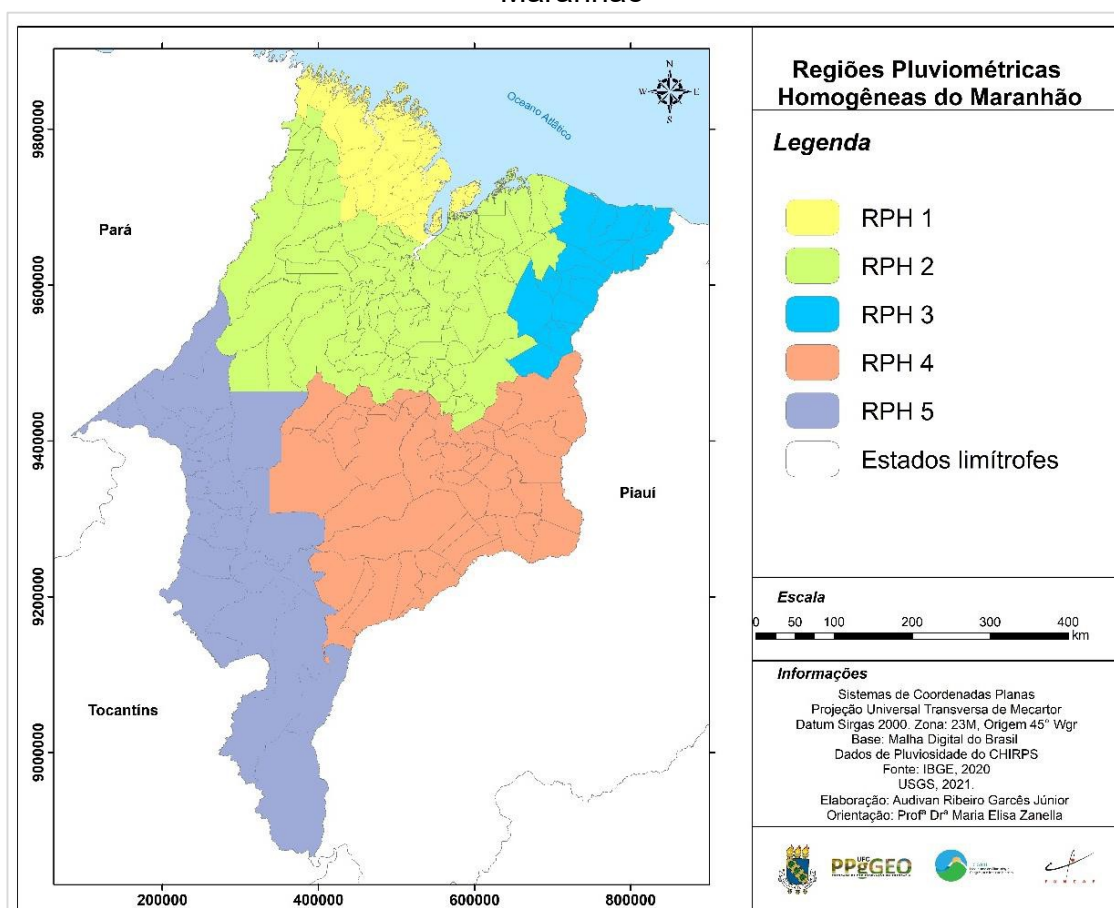
A porção leste do estado, embora não tenha apresentado correlações no fator 1 e 2, representou o percentual de variância que ficou abaixo do critério de Kaiser ($\text{autovalor} > 1$), é nesta porção que se encontram menores acumulados do estado, como será detalhado nos próximos capítulos, o volume de chuvas desta área é resultante da atuação da ZCIT e de sistemas de mesoescala, como os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs).

7.3 As Regiões Pluviométricas Homogêneas (RPH) do estado do Maranhão

A definição das Regiões Pluviométricas Homogêneas (RPH) do estado (Figura 44) foi possível a partir do agrupamento dos resultados dos dois fatores comuns que explicaram 82,4% da variância. Cabe ressaltar que foram

utilizados os dados mensais do CHIRPS de cada município para gerar todas estas informações, logo os valores discutidos foram identificados por municípios, facilitando então a análise de agrupamento, que foi realizada utilizando o método de Ward.

Figura 44 – Mapa das Regiões Pluviométricas Homogêneas do estado do Maranhão



Fonte: Elaborado pelo autor.

O agrupamento de municípios que possuem características pluviométricas semelhantes contribui para análise das chuvas no estado bem como para a gestão do território no que tange a gestão dos recursos hídricos. Para o estado do Maranhão identificou-se 5 regiões homogêneas, este resultado é semelhante ao que encontrado por Nascimento (2014) para o estado do Maranhão, porém o autor utilizou apenas 84 postos pluviométricos, impossibilitando a utilização dos limites municipais. No entanto, neste trabalho, utilizou-se os limites municipais devido o dado ser referente a cada município e por ter a possibilidade de ser utilizado para gestão do território.

Na tabela 9 é identificada a quantidade de municípios por RPH e o percentual que representa em relação ao total de municípios do estado. A RPH 1 é formada por 31 municípios, sobretudo do litoral ocidental e do Golfão Maranhense, onde está a Ilha do Maranhão, formada pelos municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. Estes se caracterizam pelo maior aglomerado urbano do estado e possuem em torno de 1.644.923 habitantes juntos.

Tabela 9 – Quantidade e Percentual de municípios por RPH.

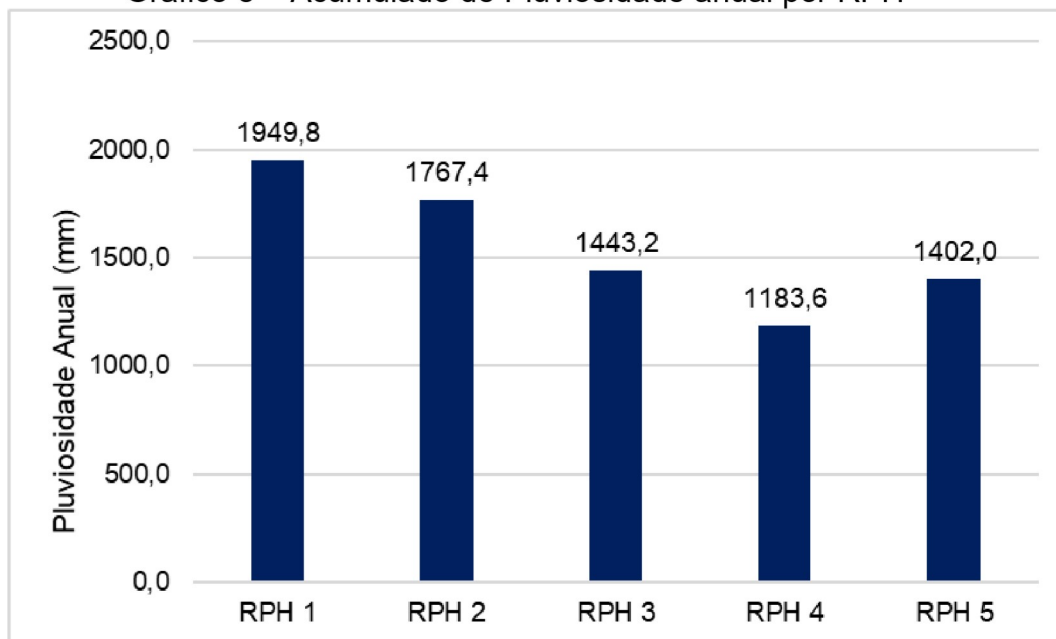
Região Pluviométrica	Municípios	%
RPH 1	31	14,29
RPH 2	90	41,47
RPH 3	19	8,76
RPH 4	46	21,20
RPH 5	31	14,29
Total	217	100

Fonte: Elaborado pelo autor.

A RPH 2 é maior de todas, representando 41,4% dos municípios do estado. A RPH 3 é formada por municípios da porção nordeste, área também chamada de Baixo Parnaíba, por estar próxima a foz do rio Parnaíba. A RPH 4 é composta por 46 municípios, muitos na porção central e leste do estado e por fim, a RPH 5 formada por 14,2% dos municípios e formada por municípios do oeste e sul do Maranhão. A lista completa dos municípios por RPH encontra-se no Apêndice C.

Observando os acumulados normais anuais de pluviosidade, a RPH 1 possui os maiores acumulados com 1.949,8mm, ou seja, a região que mais chove no estado. Em contrapartida, a RPH 4 possui o menor acumulado anual, 1.183,6mm. A RPH 2 possui volume anual de 1.767,4mm, a RPH 3, 1.443,2mm e a RPH 5 com 1.402mm. Estes valores foram obtidos a partir da média de todos os municípios que compõe cada RPH (GRÁFICO 8).

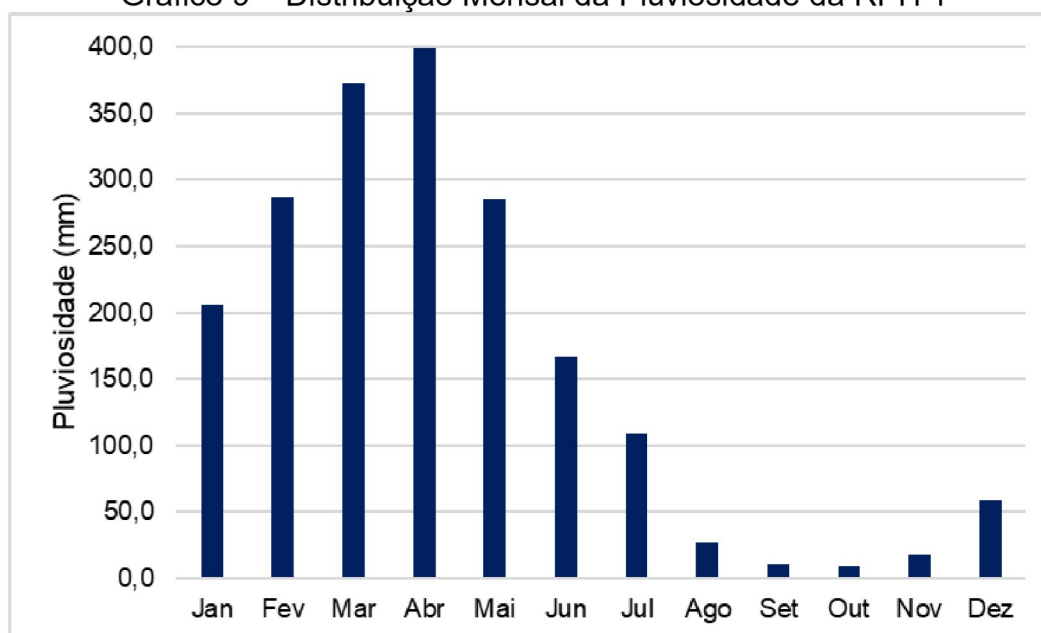
Gráfico 8 – Acumulado de Pluviosidade anual por RPH



Fonte: CHIRPS (1989-2020), elaborado pelo autor.

Fez-se necessário também observar a distribuição por mês das chuvas de cada RPH. Na RPH 1, o mês de abril é o mais chuvoso, com 398,4mm, seguido de março com 398,4mm, estes são meses de atuação marcante da ZCIT na área. Os meses mais secos foram outubro (9,8mm) e setembro (10,5mm), que representam o período seco na região (GRÁFICO 9).

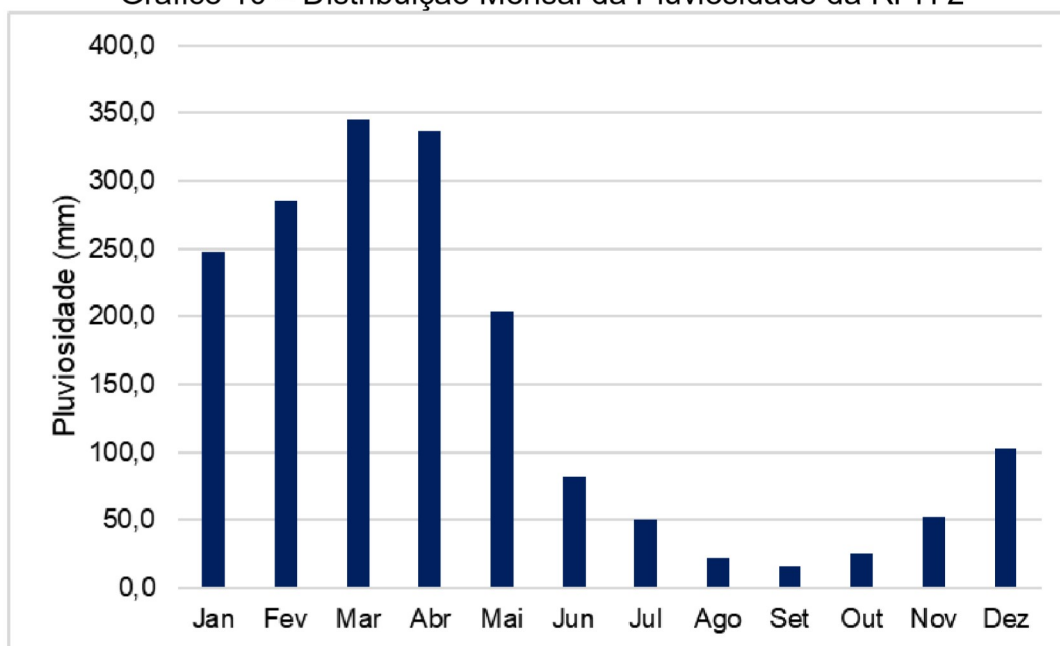
Gráfico 9 – Distribuição Mensal da Pluviosidade da RPH 1



Fonte: CHIRPS (1989-2020), elaborado pelo autor.

Na RPH 2, a distribuição é bem semelhante à RPH 1, porém o mês mais chuvoso é março com 344,8mm, seguido de abril com 338,4mm, já os meses mais secos são setembro (15,4mm) e agosto (21,8mm). De certo modo definindo um padrão espacial da porção centro-norte do estado com maiores acumulados de chuvas no primeiro semestre do ano, com atuação dos VCANs nos meses de janeiro e fevereiro, da ZCIT nos meses mais chuvosos (março, abril e maio), das LI e DOL nos meses de maio e junho. No inverno e primavera, considerado o período de estiagem, a atuação do ASAS possibilita a estabilidade do tempo e intensificando o vento de sudeste na costa do Nordeste brasileiro (BARBOSA, 1999). O avanço e posicionamento do ASAS durante o período chuvoso também pode inibir a formação de chuvas, caracterizando o fenômeno denominado de veranicos, ou seja, um curto período de estiagem durante um período chuvoso que pode durar de dez a vinte dias (PAIVA, 1995; SILVA DIAS; MARENGO, 2002) (GRÁFICO 10).

Gráfico 10 – Distribuição Mensal da Pluviosidade da RPH 2

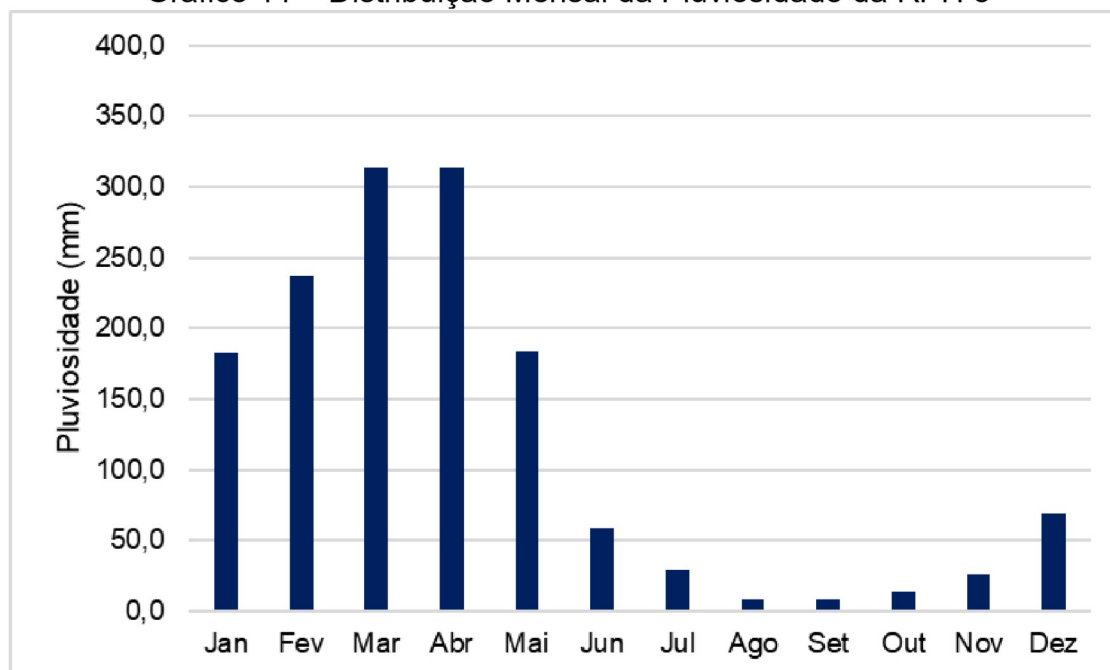


Fonte: CHIRPS (1989-2020), elaborado pelo autor.

Na RPH 3 que possui um acumulado anual de 1.443,2mm, os meses de março (313,9mm) e abril (313,1mm) também são os mais chuvosos, porém com valores menores que da RPH 1 e 2. E os mais secos são agosto (8,6mm), setembro (8,0mm) e outubro (13,2mm). Obedecendo um padrão de distribuição

das RPH 1 e 2, com maiores volumes nos meses de atuação da ZCIT e o semestre caracterizado pela estiagem (GRÁFICO 11).

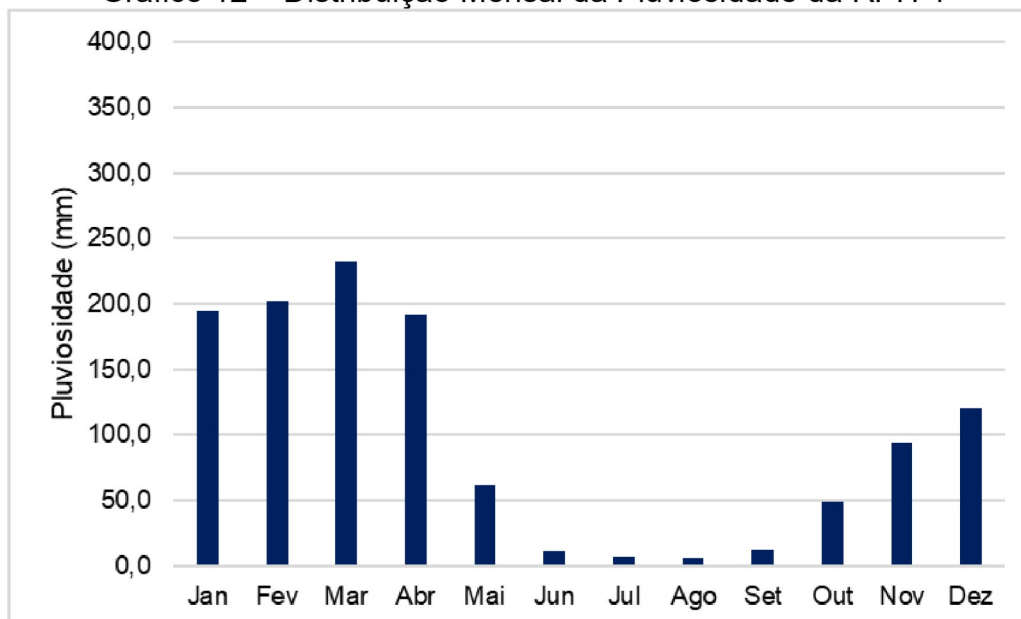
Gráfico 11 – Distribuição Mensal da Pluviosidade da RPH 3



Fonte: CHIRPS (1989-2020), elaborado pelo autor.

A RPH 4 possui os menores volumes de chuva do estado, março é o mais chuvoso com 233mm e a partir de junho já se observa uma redução acentuada da pluviosidade, com registros de 11,7mm em junho, 7,4mm em julho, 6,1mm em agosto e 11,8mm em setembro (GRÁFICO 12). Além da atuação predominante da ZCIT e de alguns episódios de VCAN's, os CCMs são importantes para a pluviosidade na região, porém o volume de chuva é muitas vezes concentrado e intenso (SEMA, 2014).

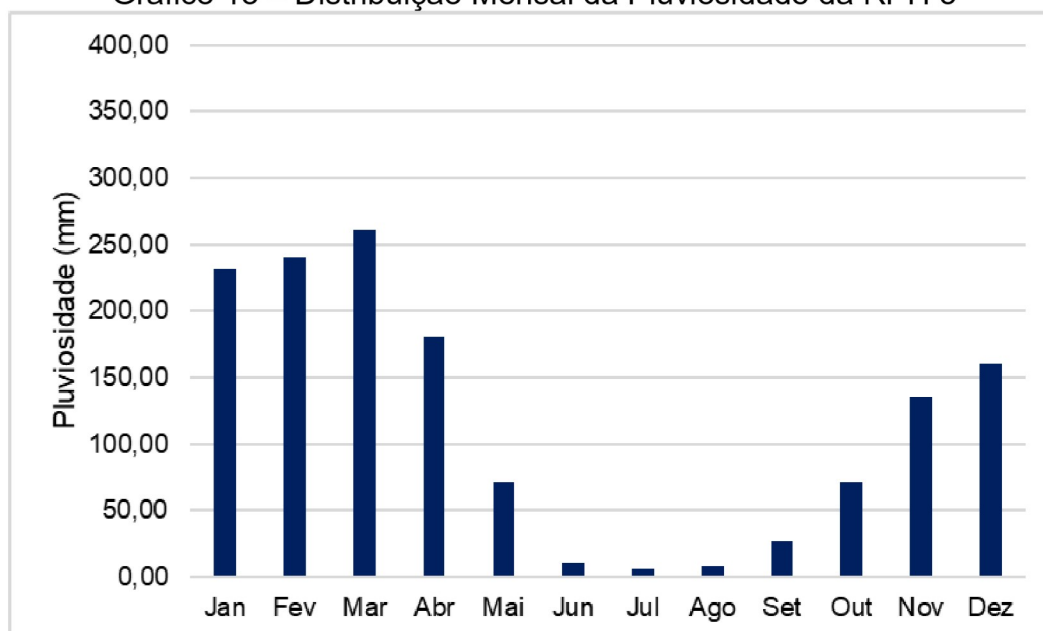
Gráfico 12 – Distribuição Mensal da Pluviosidade da RPH 4



Fonte: CHIRPS (1989-2020), elaborado pelo autor.

Formado sobretudo por municípios do sul do estado, a RPH 5 possui os maiores acumulados em março com 260,8mm, e o mês mais seco é julho com 6,2mm (GRÁFICO 13). Nesta região destacam-se os acumulados nos meses de outubro (70,7mm) e novembro (135,0mm), que são os maiores nestes meses para o estado. Destacando a contribuição da nebulosidade associada a ZCAS neste período para região sul do estado, bem como dos VCANs nos meses de dezembro e janeiro.

Gráfico 13 – Distribuição Mensal da Pluviosidade da RPH 5



Fonte: CHIRPS (1989-2020), elaborado pelo autor.

8 VARIABILIDADE DA PLUVIOSIDADE NO ESTADO DO MARANHÃO ENTRE 1989-2020

A distribuição anual da pluviosidade é um aspecto importante para compreender a variabilidade das chuvas, neste trabalho foram elaborados mapas com a distribuição da pluviosidade utilizando dados anuais do CHIRPS para os 217 municípios. A técnica de Krigagem foi utilizada para interpolação dos valores encontrados em cada município. Para facilitar as leituras e interpretação dos dados, a série foi dividida em décadas (1989-1999; 2000-2009; 2010-2020).

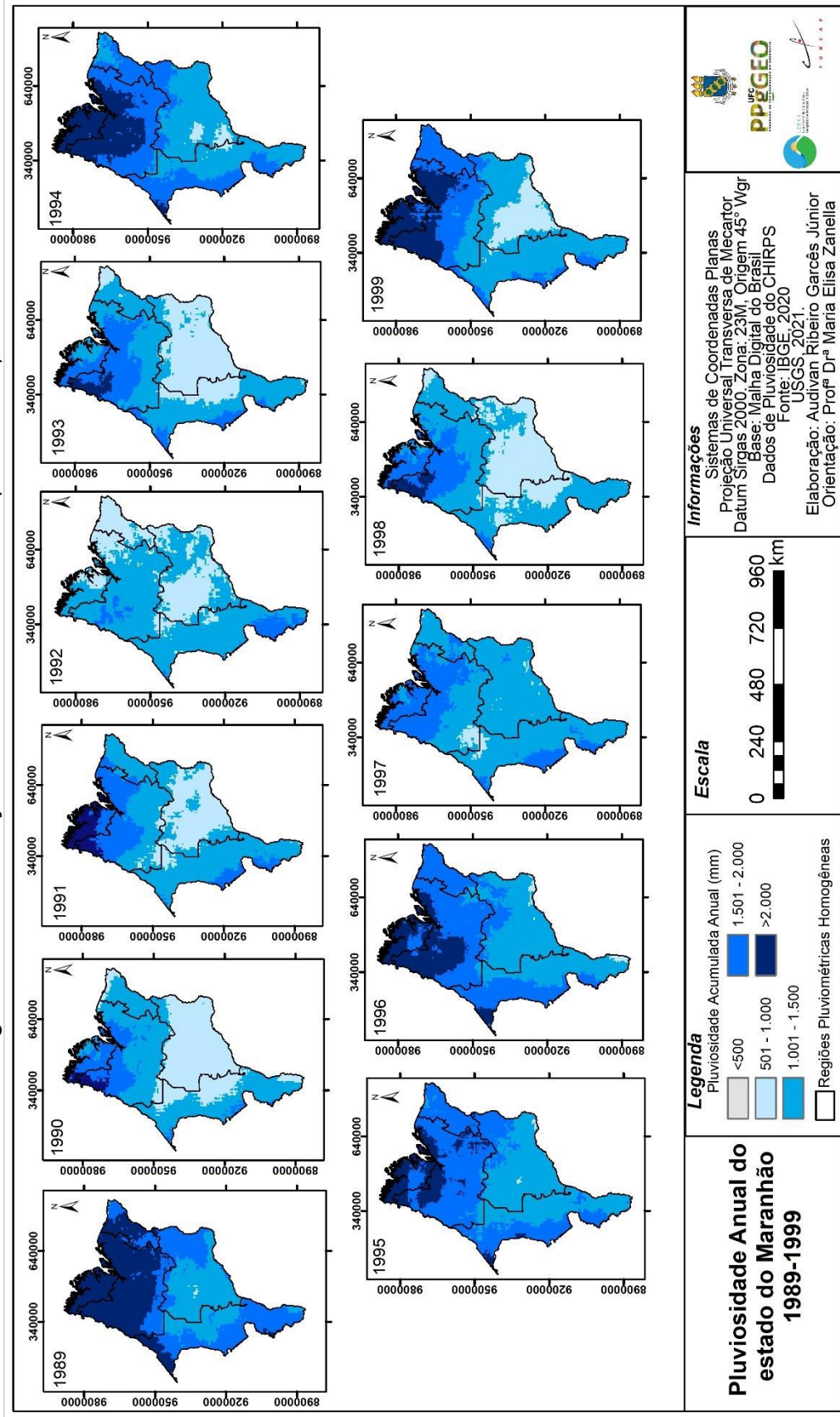
Entre 1989 e 1999, observa-se que o ano de 1989 foi o que apresentou a maior abrangência com pluviosidade anual acima de 2.000mm, concentrando-se neste ano na porção norte do estado, com volumes expressivos nos municípios da RPH 1, como Godofredo Viana com 3113,5mm e Luís Domingues com 3.060,4mm e na RPH 2, como em Boa Vista do Gurupi com 2.752,5mm e Amapá do Maranhão com 2.721,5mm (FIGURA 45).

Observa-se que para o período (1989 a 1999) há uma concentração de pluviosidade acima de 2.000mm na porção noroeste do estado, que abrange municípios da RPH 1 e RPH 2, exceto em 1992 e 1997 que foram anos em que não houve registros no estado destes acumulados.

No ano de 1999, os volumes acima de 2.000mm se distribuíram também entre as a RPH 1 e 2, registrando os maiores volumes nos municípios de Apicum-Açu (2.658,6mm), Carutapera (2.607,2mm) e Godofredo Viana (2.607,7mm), todos estes da RPH 1.

Os anos de 1990, 1991, 1992, 1993 e 1998 tiveram grande parte do estado com acumulados de chuvas entre 500mm e 1000mm, destacando-se nestes anos a área RPH 4. Em 1990, os municípios de Pastos Bons (550,3mm), Nova Iorque (583mm) e São Domingos do Azeitão (625,8mm) tiveram os menores acumulados anuais do estado, todos da RPH 4. Em 1991, novamente São Domingos do Azeitão e Pastos Bons tiveram os menos volumes, 728,1mm e 740,6mm respectivamente.

Figura 45 – Distribuição da Pluviosidade Anual (1989-1999)



Fonte: Dados CHIRPS. Elaborado pelo autor.

No ano de 1992, diversas porções do estado tiveram acumulados de pluviosidade abaixo de 1.000mm. Os menores volumes deste ano, foram registrados nos municípios de Tutoia (724,8mm), Paulino Neves (739,5mm) e Araiõeses (749,1mm), todos da RPH 3, enquanto que os maiores volumes foram Zé doca (1.953mm) da RPH 2, São Pedro da Água Branca (1.530,5mm) da RPH 5 e Alto Alegre do Pindaré (1.519,8mm) também da RPH 2.

Em 1993, percebe-se além da grande abrangência de chuvas entre 500mm e 1.000mm na RPH 4 e uma pequena porção no litoral oriental pertencente à RPH 3, neste ano o município de Araiõeses desta RPH teve o menor volume do estado, com 696,3mm.

Em 1998, as áreas com acumulados anuais entre abaixo de 1.000mm concentraram-se na RPH 3 e RPH 5, com uma pequena porção na RPH 3. Neste ano, os volumes acima de 2.000mm foram registrados na porção noroeste do estado. Os municípios com menores volumes foram em São Francisco do Maranhão (716,5mm), São Domingos do Azeitão (742,4mm), estes dois da RPH 4 e Tutoia (752,4mm) da RPH 3 e os maiores volumes em Zé Doca (2.359,8mm), Centro Novo do Maranhão (2.314,4mm) e Nova Olinda do Maranhão (2.245,6mm) todos da RPH 2.

Nos anos de 1995 e 1996, é possível identificar volumes acima de 2.000mm numa pequena porção do oeste da RPH 5. Estes registros foram nos municípios de São Pedro da Água Branca (2.182,4mm) e Campestre do Maranhão (2.153mm) em 1995 e em 1996, em Vila Nova dos Martírios (2.187,4mm), São Pedro da Água Branca (2.093,8mm), Campestre do Maranhão (2.031,3mm) e Cidelândia (2.019,6mm).

Na análise do IAC, observa-se que em 1992, 131 municípios foram considerados como extremamente secos, quando o valor do IAC é superior a 4. Em contrapartida, em 1989, 95 municípios foram considerados como extremamente úmidos e 99 como muito úmidos. Tais informações vão de acordo com a espacialização da pluviosidade para estes anos (TABELA 10).

Tabela 10 – Quantidade de municípios de acordo com a intensidade do IAC entre 1989 e 1999

Intensidade	Municípios										
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Extremamente úmido	95	0	2	0	0	12	5	15	0	0	11
Muito úmido	99	0	12	0	0	114	90	78	0	2	94
Úmido	23	4	31	7	8	79	103	100	33	12	107
Seco	0	55	64	30	74	11	19	24	110	60	5
Muito Seco	0	109	96	49	120	1	0	0	71	118	0
Extremamente seco	0	49	12	131	15	0	0	0	3	25	0

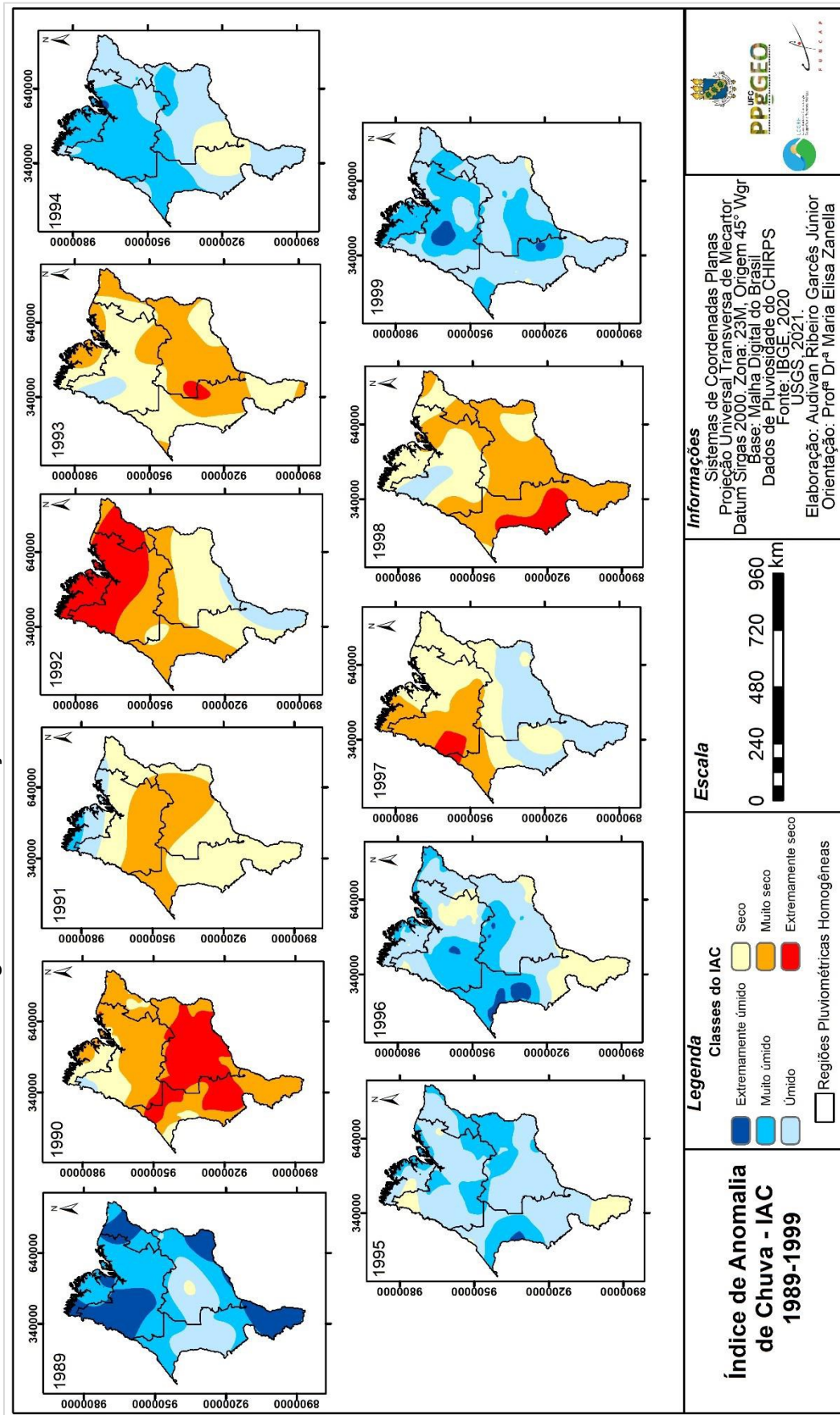
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se ainda que nos anos de 1990, 1991, 1993, 1997 e 1998 há uma quantidade expressiva de municípios considerados secos e muito secos. Na análise espacial, nota-se que em 1992 a área extremamente seca se concentra sobretudo na porção norte do estado, nesta área normalmente há maior concentração de chuvas por conta da atuação da ZCIT (FIGURA 46).

No ano de 1990 percebe-se também a grande abrangência da área com IAC considerado muito seco e extremamente seco, sobretudo na RPH 4, que é resultado dos baixos volumes de chuva na área neste ano, sendo que municípios como Santa Filomena, Nova Iorque, Jatobá e Pastos Bons desta RPH foram considerados como extremamente seco. Em 1998, os municípios considerados extremamente secos concentraram-se na RPH 5, destacando-se os municípios de Estreito, Riachão e Davinópolis.

Nos anos de 1994, 1995 e 1999, predominantemente o estado do Maranhão foi considerado como úmido. Em 1999, uma pequena área considerada extremamente úmida é observada na RPH 2, compreendendo os municípios de Zé Doca e Bom Jardim que tiveram IAC superior a 4.

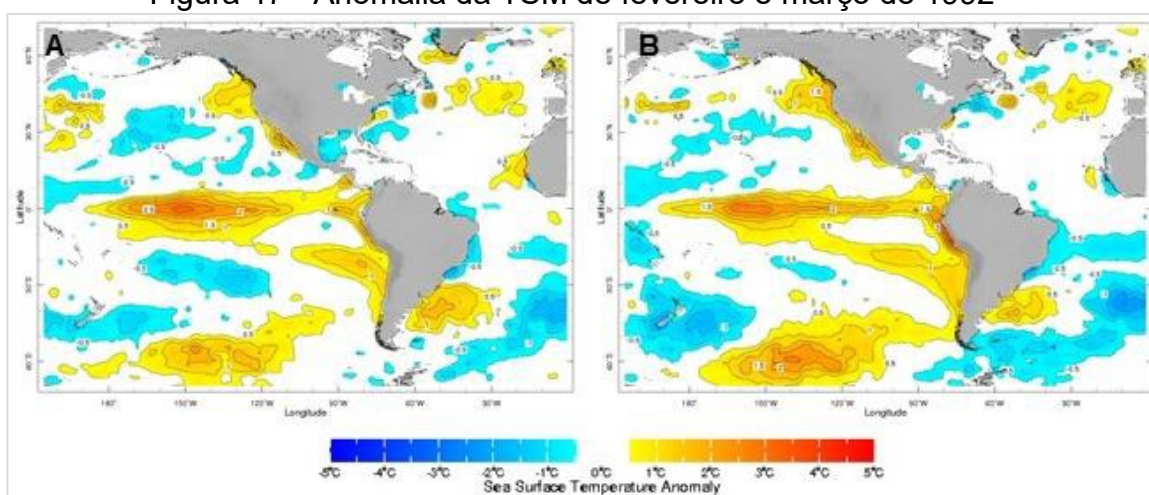
Figura 46 – Distribuição do IAC entre 1989 e 1999



Fonte: Elaborado pelo autor.

O ano de 1992 as TSMs do Pacífico indicavam fenômeno de El Niño forte e no Atlântico o fenômeno de Dipolo Positivo, sendo que tais condições devem ter favorecido as secas neste ano. Na figura 47, as imagens trazem as anomalias da TSM dos meses de fevereiro e março onde se pode observar anomalias positivas acima de 0,5 no Oceano Pacífico, enquanto que no Atlântico Sul notam-se anomalias negativas sobretudo na Costa brasileira. No trabalho realizado por Nóbrega e Santiago (2014) para o estado de Pernambuco notou-se que em anos que ocorrem simultaneamente eventos de El Niño e Dipolo Positivo há a diminuição de chuvas naquele estado. Os autores destacam em seus resultados a importância do Atlântico Sul para a variabilidade das chuvas no Nordeste, algo que também foi discutido por Andreoli e Kayano (2007) e Giannini *et al.* (2004).

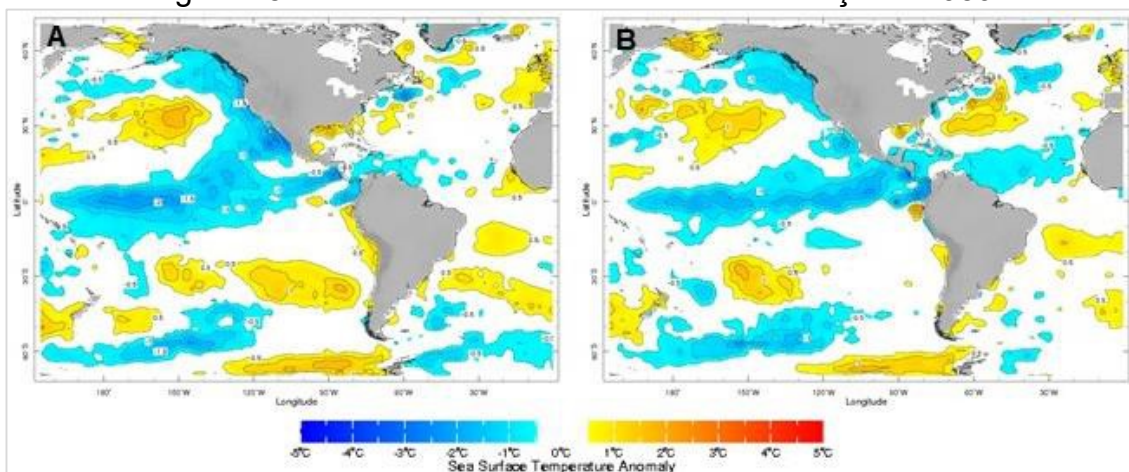
Figura 47 - Anomalia da TSM de fevereiro e março de 1992



Fonte: NOAA/NCEP (2021). (A) Anomalias da TSM do mês de fevereiro/1992. (B) Anomalias da TSM do mês de março/1992.

Em 1989, que foi o ano mais chuvoso, a TSM do Atlântico indicou Dipolo Negativo e no Pacífico em 1989 La Niña forte. Ferreira e Mello (2005) destacam que quando ocorre eventos de La Niña associado a Dipolo Negativo no Atlântico tem-se condições para que este período seja normal, chuvoso ou muito chuvoso no norte do Nordeste. Na Figura 48 são identificadas as anomalias da TSM nos meses de fevereiro e março de 1989, percebe-se em fevereiro anomalias acima de -1°C no Pacífico e no Atlântico Sul anomalias positivas, condições que se mantêm em março.

Figura 48 - Anomalia da TSM de fevereiro e março de 1989



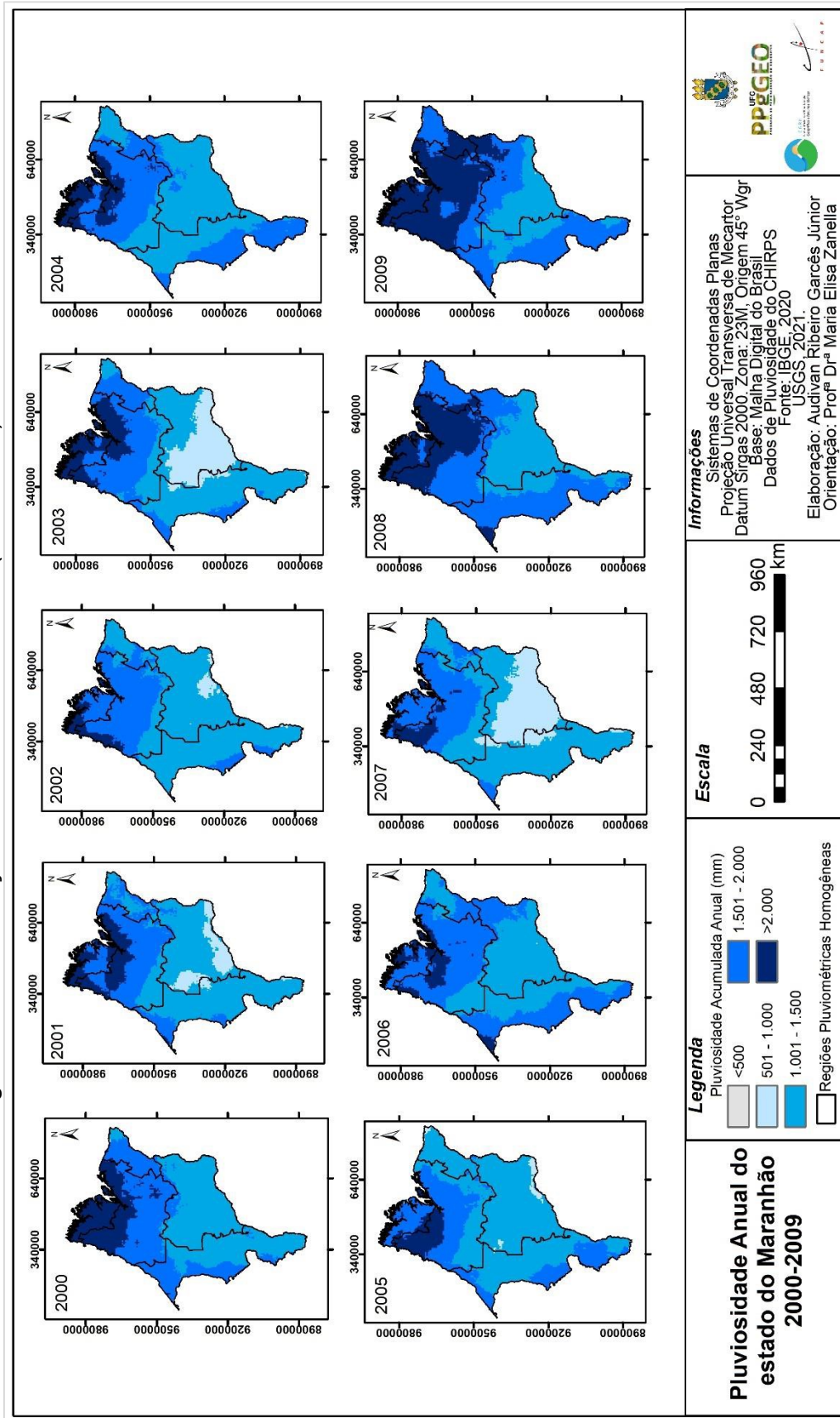
Fonte: NOAA/NCEP (2021). (A) Anomalias da TSM do mês de fevereiro/1989. (B) Anomalias da TSM do mês de março/1989.

Entre os anos de 2000 e 2009, destaca-se o ano de 2009 como o mais chuvoso, tendo boa parte da porção centro-norte com volumes superiores a 2.000mm e o sul do estado com volumes entre 1.500mm e 2.000mm (FIGURA 49). Neste ano na RPH 1 apenas 3 municípios não tiveram volumes acima de 2.000mm, Palmeirândia (1.982,9mm), Bacurituba (1.957,8mm) e São Bento (1.939,6mm), destacam-se ainda nesta RPH os acumulados de 3.054,5mm em Apicum-Açu e 3.031,2mm em Bacuri. Nas demais RPH também houve registros acima de 2.000mm, destacando-se São Mateus do Maranhão (2.738,7mm) e Alto Alegre do Maranhão (2.690,9mm) da RPH 2, Duque Bacelar (2.472,8mm) e Coelho Neto (2.413,3mm) da RPH 3, Caxias (2.179,6mm) e Senador Alexandre Costa (2.057,0mm) e apenas São Pedro da Água Branca com 2.058,8mm da RPH 5.

O padrão espacial estabelecido para este período (2000 a 2009) assim como em anos de 1989 a 1999 foi de maiores volumes de chuva no noroeste do Maranhão, com porções entre a RPH 1 e RPH 2, enquanto que os menos volumes de chuva concentraram-se no porção centro-leste do estado, sobretudo da RPH 4.

Nos anos de 2003 e 2007 nota-se as maiores áreas com volumes anuais abaixo de 1.000mm, concentrando-se na RPH 4 e pequenas porções da RPH 5. Em 2003, os municípios com menores volumes foram Pastos Bons (687,6mm) e Nova Iorque (771,7mm) e em 2007, Barão de Grajaú (776,9mm) e Pastos Bons (789,9mm), todas da RPH 4.

Figura 49 – Distribuição da Pluviosidade Anual (2000-2009)



Fonte: Dados CHIRPS. Elaborado pelo autor.

Considerando o IAC, o ano de 2009 registrou 88 municípios como extremamente úmido, 91 como muito úmido e 37 como úmido, apenas 1 como seco. Já em 2002, 138 municípios foram considerados secos, 24 muito seco e 1 extremamente seco. O ano de 2005 e 2007 também tiveram maior parte dos municípios considerados secos, 139 em 2005 e 124 em 2007 (TABELA 11).

Tabela 11 – Quantidade de municípios de acordo com a intensidade do IAC entre 2000 e 2009

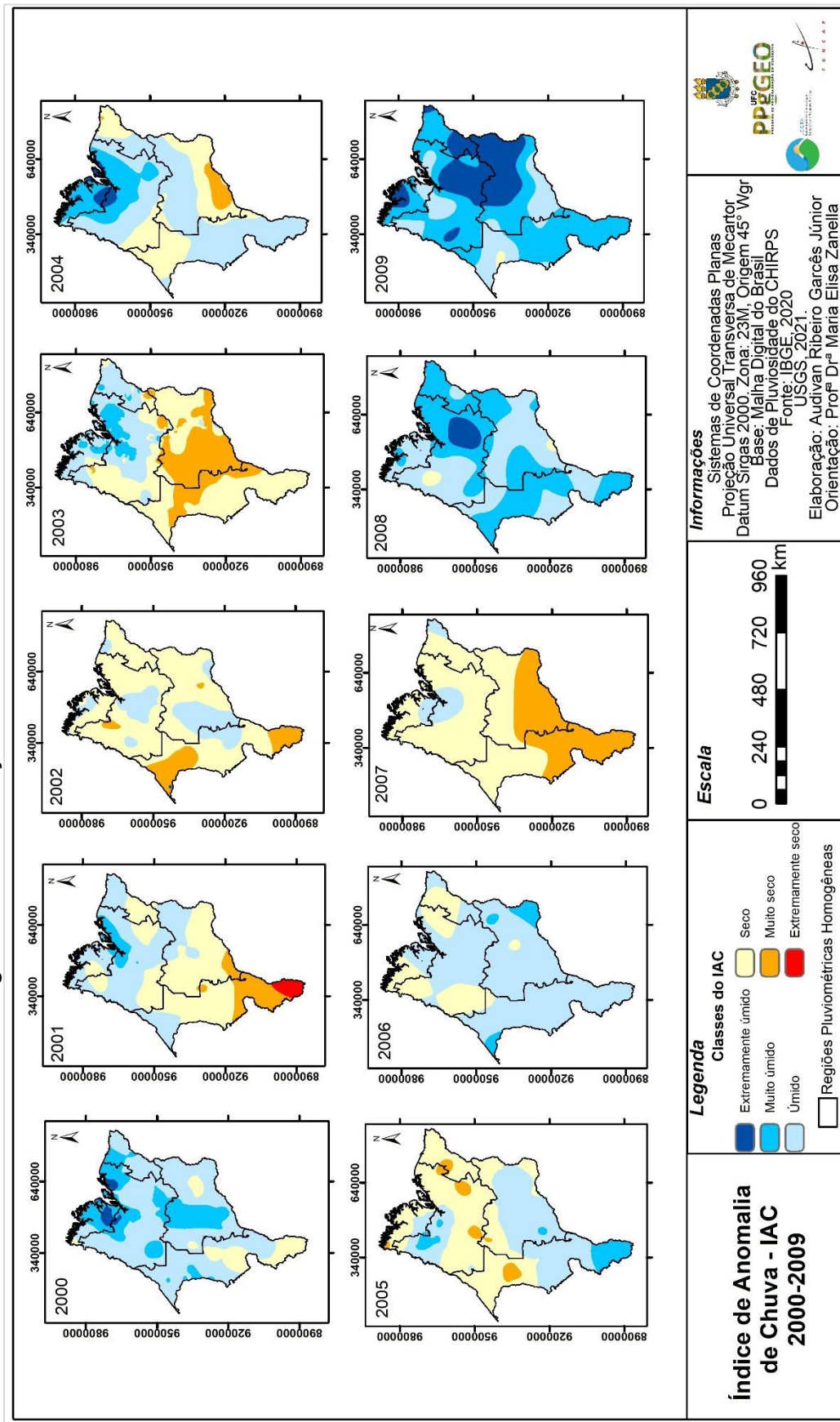
Intensidade	Municípios									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Extremamente úmido	9	0	0	0	32	0	0	0	33	88
Muito úmido	77	24	0	29	42	6	40	0	132	91
Úmido	119	115	54	85	77	58	138	37	51	37
Seco	12	71	138	68	49	139	38	124	1	1
Muito Seco	0	6	24	35	13	14	1	56	0	0
Extremamente seco	0	1	1	0	4	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na análise espacial, percebe-se que em 2002 boa parte do território maranhense foi considerado seco e 2007 os municípios considerados muito seco estavam na RPH 4 e 5, no sul e leste do estado, sendo que neste ano municípios como São Raimundo das Mangabeiras, Barão de Grajaú e Loreto da RPH 4 e Carolina e Alto Parnaíba da RPH 5 tiveram IAC superior a -4, considerando-os como extremamente secos (FIGURA 50). Em 2003, percebe-se também boa parte da porção centro-sul do estado considerado como seco, foram 68 municípios nesta classe, entre eles Barra do Corda e Colinas da RPH 4 e Cidelândia e Montes da Altos da RPH 5.

Em 2008 e 2009, os municípios considerados muito úmido distribuíram-se nas diferentes porções do estado. Em 2008 na RPH 2 há municípios que tiveram volumes acima de 2.000mm e foram considerados como extremamente chuvosos, como Bacabal, São Mateus do Maranhão, Trizidela do Vale e Pedreiras. Já em 2009, além destes mesmos municípios da RPH 2, municípios da RPH 3, tais como Duque Bacelar, Afonso Cunha, Coelho Neto e Buriti registraram muita chuva. Neste ano apenas o município de Imperatriz foi considerado como seco, com valor de IAC de -0,2, considerado bem próximo da intensidade considerada como normal.

Figura 50 – Distribuição do IAC entre 2000 e 2009

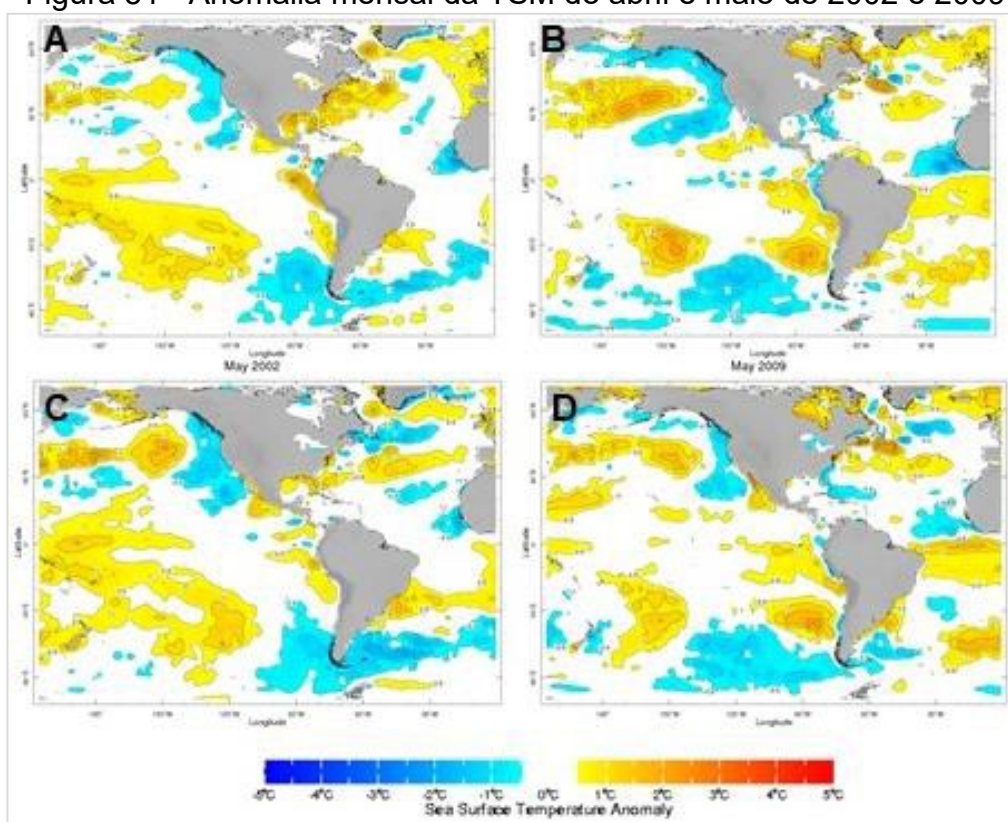


Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando os fenômenos que propiciaram os volumes de chuvas no estado do Maranhão no ano de 2009, a anomalia de TSM no oceano Pacífico equatorial apresentava valores positivos, caracterizando El Niño moderado, porém as TSMs do Atlântico Sul estavam mais elevadas que do Atlântico Norte, caracterizando fenômeno de Dipolo Negativo. Assim, para este ano as TSMs do Atlântico foram decisivas nos elevados volumes de chuvas no estado do Maranhão. Em 2002, os fenômenos oceânicos foram caracterizados por El Niño moderado e no Atlântico o período foi caracterizado pela alternância entre Dipolos Positivo (jan/fev), Neutro (mar) e Negativo (abr/mai).

Na figura 51, são apresentadas as anomalias das TSMs nos meses de abril e maio de 2002 e 2009. Em 2002, segundo os dados de Servain, no mês de abril as anomalias na costa leste do Pacífico estavam em torno de 1°C e no Atlântico Sul as anomalias em torno de $0,5^{\circ}\text{C}$, as anomalias do Atlântico em abril e maio foram de $-1,11^{\circ}\text{C}$ e $-1,03^{\circ}\text{C}$. Em 2009 fica evidente em abril e maio as anomalias positivas no Atlântico Sul, sobretudo na costa do Nordeste brasileiro.

Figura 51 - Anomalia mensal da TSM de abril e maio de 2002 e 2009



Fonte: NOAA/NCEP (2021). (A) Anomalias da TSM do mês de abril/2002. (B) Anomalias da TSM do mês de abril/2009. (C) Anomalias da TSM do mês de maio/2002. (D) Anomalias da TSM do mês de maio/2009.

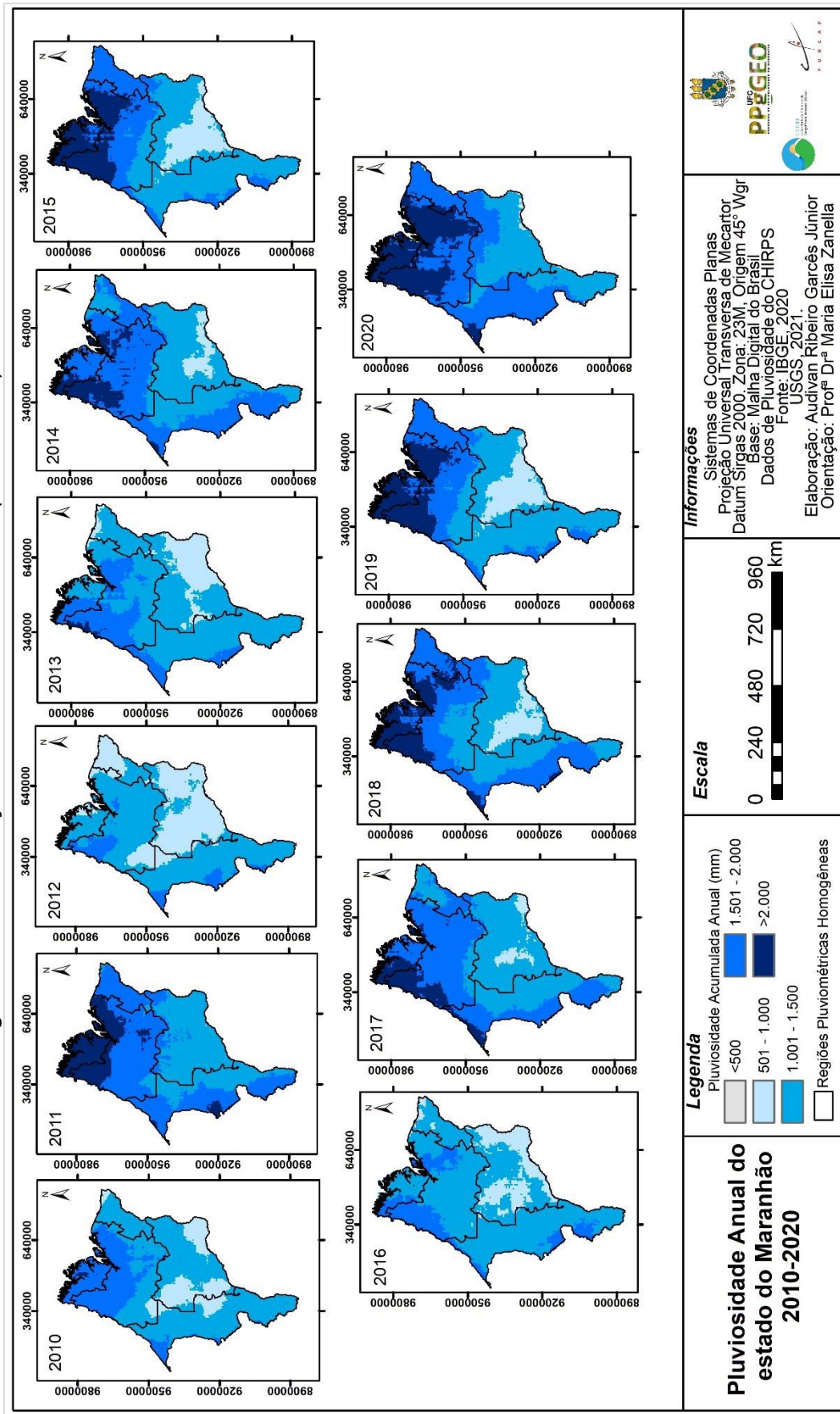
Entre 2010 e 2020, foi identificado um padrão espacial muito semelhantes dos demais anos analisados, com maiores volumes de chuva nas RPH 1 e 2, sobretudo em municípios localizados no noroeste do estado. Observa-se nos anos de 2014, 2015, 2017, 2018, 2019 e 2020 volumes acima de 2.000mm nesta área. Por exemplo, Carutapera, município da RPH 1, acumulou nestes anos os seguintes volumes: 2.489,8mm (2014), 2.133,6mm (2015), 2.646,7mm (2017), 2.646,7mm (2018), 3.171,8 mm (2019) e 2.140mm (2020). Enquanto que o centro-leste do estado, sobretudo a RPH 4, concentraram os volumes abaixo de 1.000mm, destacando-se os anos de 2012 e 2015. Na RPH 4 em 2015, os municípios de Sambaíba e Fernando Falcão registraram acumulados de 675,3mm e 686,9mm, respectivamente.

No ano de 2012 percebe-se que houve uma maior quantidade de municípios com chuvas abaixo de 1.000mm, foram 53 deles. Araisoses na RPH 3, registrou neste ano o menor volume de chuva que foi de 637,3mm. O quantitativo de municípios com acumulados abaixo de 1.000mm só foi inferior a 1992 e 1990 que tiveram 58 e 56 municípios, respectivamente. Destacam-se ainda com acumulados abaixo de 1.500mm os anos de 2013, 2015 e 2016 (FIGURA 53).

No ano de 2020, percebe-se uma grande variabilidade espacial das chuvas no estado, embora quase sua totalidade os acumulados foram acima de 1.000mm, concentrando-se no centro-sul. Há municípios das diferentes RPHs com volumes que ficaram abaixo da normal, o que irá refletir na quantidade de municípios considerados como extremamente secos no cálculo do IAC, como por exemplo, na RPH 1, São Bento (1.056,3mm) e Central do Maranhão (1.131,2mm); na RPPH 2, São Benedito do Rio Preto (1.090,6mm), Santa Inês (1.112,6mm), Tufilândia (1.122,6mm); na RPH 3, Barreirinhas (1.424,mm); na RPH 4, Presidente Dutra (1.202,9mm) e Tuntum (1.232,2mm) e na RPH 5, o município de Campestre do Maranhão (1.148mm).

Cabe ressaltar ainda que por conta da escala e da utilização da técnica de krigagem no mapeamento, estas informações podem ficar mascaradas, porém neste trabalho o cálculo do IAC comprova a variabilidade da chuva no ano de 2020.

Figura 52 – Distribuição da Pluviosidade Anual (2010-2020)



Fonte: Dados CHIRPS. Elaborado pelo autor.

Nos resultados do IAC, observa-se que o ano de 2012 apresentou o maior quantitativo de municípios considerados como extremamente secos, totalizando 82. Destacando-se ainda os anos de 2013, com 134 municípios considerados secos, 2015 com 136 e 2016 com 159 municípios. Em contrapartida, 2020 foi o ano com maior quantidade de municípios extremamente úmidos, foram 95, neste ano nota-se que há uma distribuição de municípios por todas as classes de intensidade do IAC, registrando inclusive 10 municípios com IAC extremamente seco. Em 2011 tiveram 105 municípios considerados muito úmidos (TABELA 12).

Tabela 12 – Quantidade de municípios de acordo com a intensidade do IAC entre 2010 e 2020

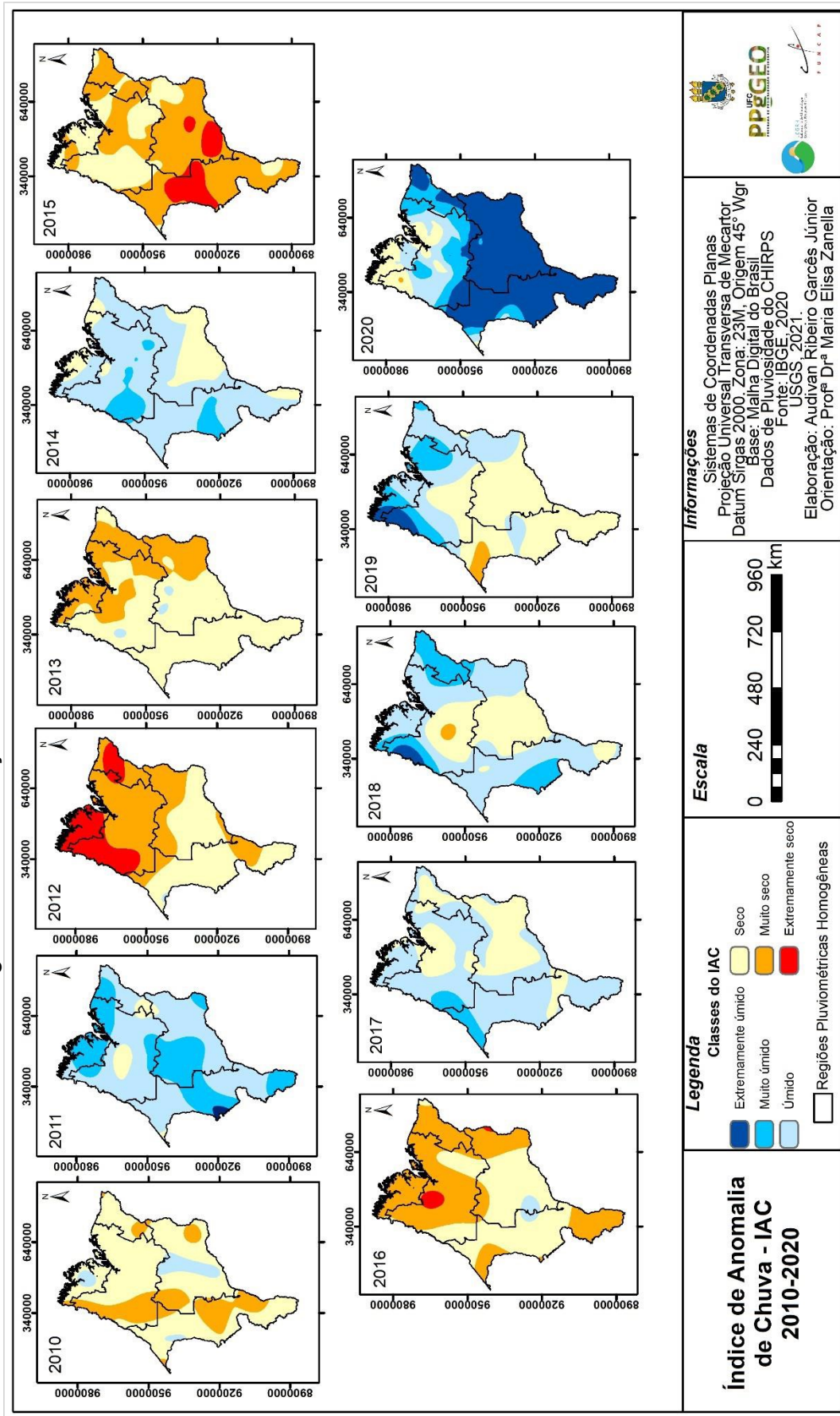
Intensidade	Municípios										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Extremamente úmido	0	6	0	0	0	0	0	1	7	14	95
Muito úmido	0	105	0	0	21	0	0	13	56	47	39
Úmido	13	91	0	9	149	1	4	104	76	58	23
Seco	146	15	35	71	47	51	28	99	61	77	31
Muito Seco	57	0	100	134	0	136	159	0	17	21	19
Extremamente seco	1	0	82	3	0	29	26	0	0	0	10

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os municípios considerados extremamente secos em 2020 foram: da RPH 1: Centro do Guilherme e São João Batista; da RPH 2: Santa Inês, Tufilândia, São Bento, Cajari, Presidente Juscelino, São Benedito do Rio Preto e Santa Luzia; e da RPH 5: Campestre do Maranhão. Todos estes tiveram volumes abaixo do normal neste ano.

Em 2012 os municípios extremamente secos se concentraram no noroeste do estado e na RPH 3, enquanto que em 2015, nas porções central e sul. O ano de 2013 também se destaca com uma boa porção do leste do estado com a condição de muito seco. Nos anos de 2011 e 2014, boa parte do estado foi considerado como úmido. Em 2018 e 2019, o noroeste foi extremamente úmido. No ano de 2018 nota-se uma área considerada muito seca na RPH 2, que compreende os municípios Altamira do Maranhão, Brejo de Areia e Bela Vista do Maranhão. Em 2019, na RHP 5 há municípios considerados muito secos, entre eles São Pedro da Água Branca, Vila Nova dos Martírios e Senador La Rocque. Em 2020, os municípios considerados extremamente úmidos concentraram-se na porção centro-sul. (FIGURA 53).

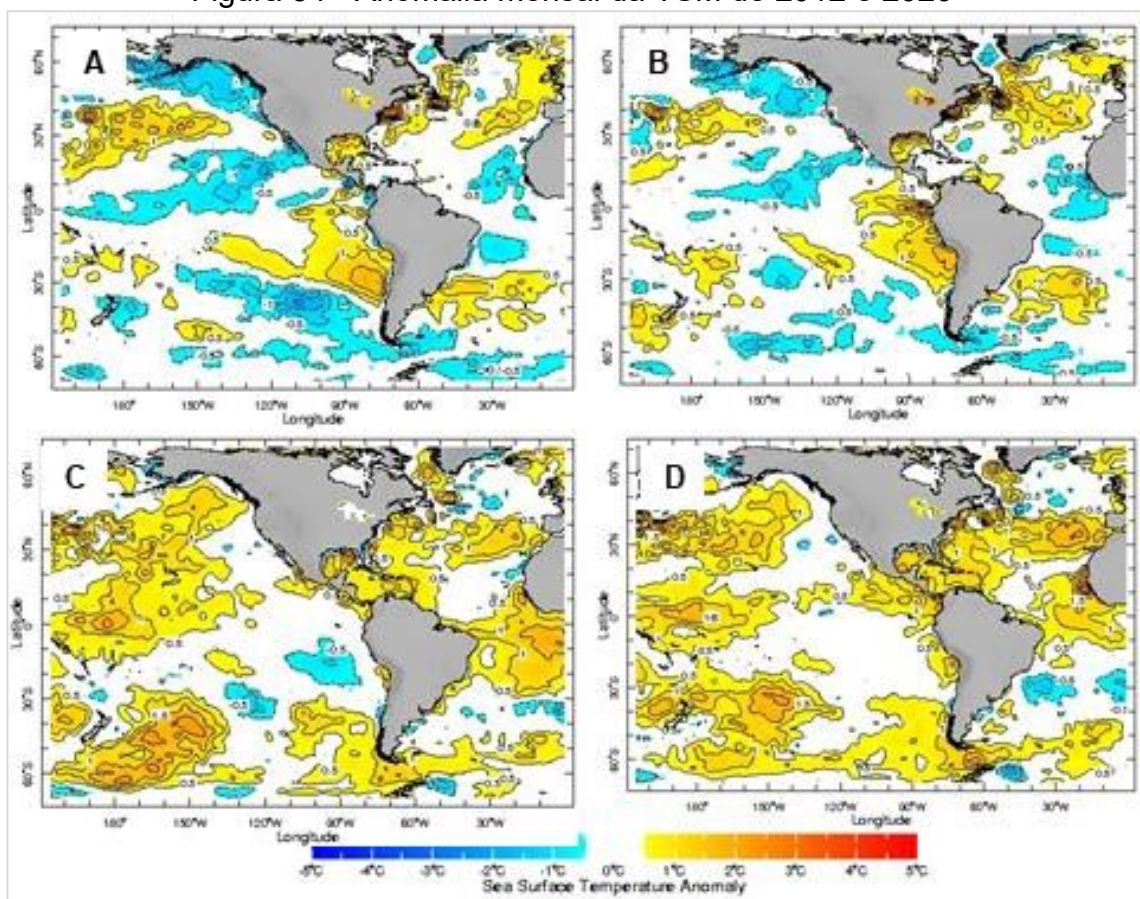
Figura 53 – Distribuição do IAC entre 2010 e 2020



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando as anomalias de TSM do Atlântico no ano de 2012 os meses de março e abril registraram anomalias neutras, enquanto que nos demais meses foram de Dipolo Positivo, e no Pacífico anomalias negativas, caracterizando La Niña fraca. Em 2020, tem-se no Pacífico fenômeno neutro, enquanto no Atlântico nos meses de janeiro e fevereiro Dipolo Negativo (FIGURA 54).

Figura 54 - Anomalia mensal da TSM de 2012 e 2020



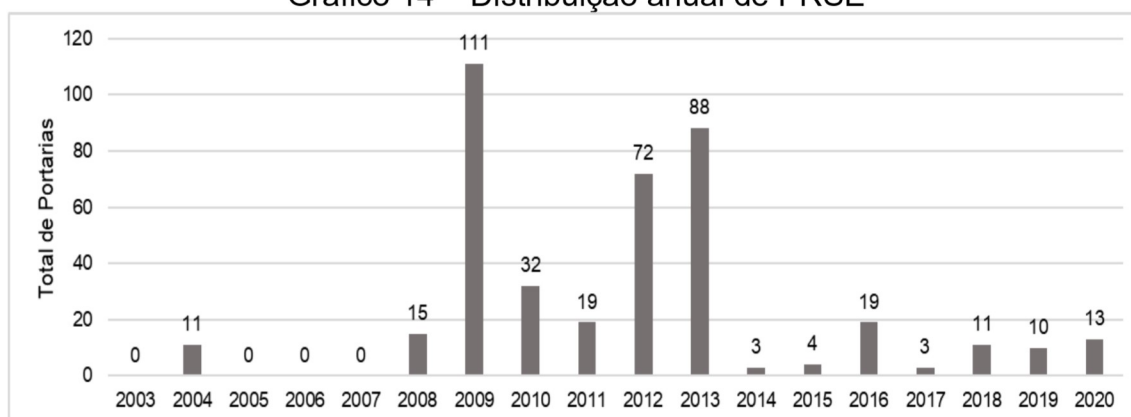
Fonte: NOAA/NCEP (2021). (A) Anomalias da TSM do mês de março/2012. (B) Anomalias da TSM do mês de abril/2012. (C) Anomalias da TSM do mês de janeiro/2020. (D) Anomalias da TSM do mês de fevereiro/2020.

9 DESASTRES ASSOCIADOS À DINÂMICA CLIMÁTICA NO ESTADO DO MARANHÃO

A partir da análise criteriosa dos dados informados pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) foi possível identificar que o estado do Maranhão entre 2003 e 2018 teve 411 registros de desastres, apenas duas destas portarias eram de Estado de Calamidade Pública¹⁵. Foram selecionados apenas os desastres hidrológicos (inundação/enchentes, enxurradas e alagamentos) e climáticos (estiagem e seca).

O ano de 2009 destacou-se como aquele com maior quantidade de portarias federais reconhecidas, foram 111, seguido do ano de 2013 e 2012, respectivamente com 88 e 72 registros (GRÁFICO 14). Observa-se que entre os anos de 2003 e 2007 há poucos registros, o que pode estar relacionado à deficiência na organização em nível federal destes dados, que passaram a ser centralizados no Sistema Integrado de Informações de Desastres Naturais (S2iD) em 2012.

Gráfico 14 – Distribuição anual de PRSE



Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autore.

Entre os tipos de desastres, as estiagens foram as mais registradas entre 2003 e 2020, representando 51,1% dos registros, seguido das inundações/enchentes com 120 portarias reconhecidas (29,2%) (TABELA 13). No trabalho sobre estiagens e secas no Nordeste, Olímpio (2017) destaca que

¹⁵ **Situação de emergência:** situação de alteração intensa e grave das condições de normalidade em um determinado município, estado ou região, decretada em razão de desastre, comprometendo parcialmente sua capacidade de resposta. **Estado de calamidade pública:** situação de alteração intensa e grave das condições de normalidade em um determinado município, estado ou região, decretada em razão de desastre, comprometendo substancialmente sua capacidade de resposta (BRASIL, 2012a, p. 30, grifo nosso).

os primeiros registros de estiagem no Maranhão começam a ser realizados em 2010, afetando 27 municípios em referido ano. Na análise por tipo de desastres, ressalta-se que os desastres hidrológicos tiveram percentual expressivo, dada a condição geoambiental do estado na qual algumas áreas possuem acumulados anuais em torno de 2000mm e sítios urbanos próximas a rios, resultante do processo inicial de colonização do estado (FEITOSA; TROVÃO, 2006), assim, alagamentos e enxurradas tiveram, respectivamente, 71 e 10 portarias publicadas.

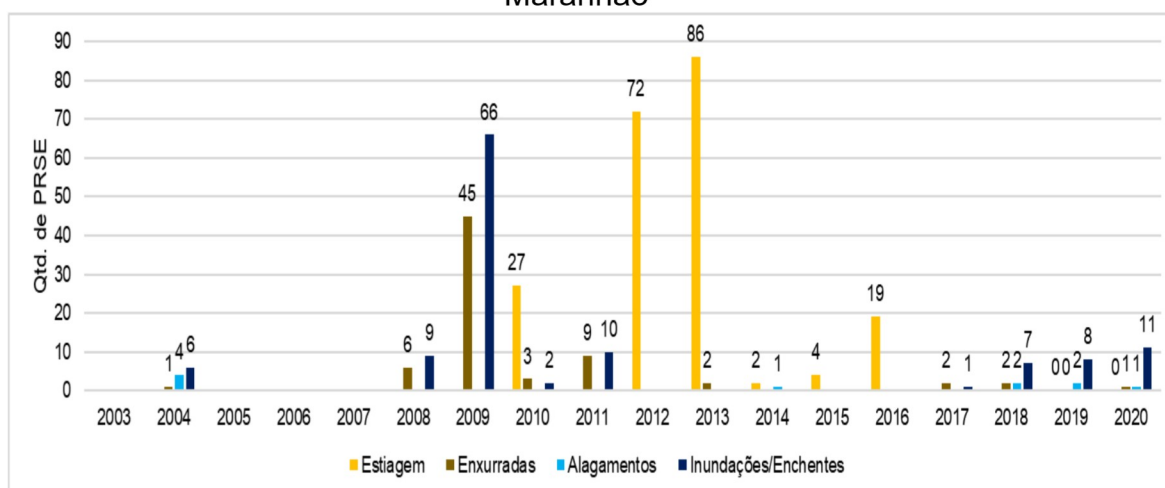
Tabela 13 - Frequência e percentual de desastres (Situação de Emergência) no estado do Maranhão, 2003 a 2020

Tipo	f	%
Estiagem	210	51,1
Inundação/enchentes	120	29,2
Enxurradas	71	17,3
Alagamentos	10	2,4
Total	411	100

Fonte: SEDEC (2021). Elaborado pelo autor.

Na análise temporal por tipo de desastres, observa-se que em anos em que há muitos registros de inundações/enchentes não há portarias publicadas de estiagens, exceto no ano de 2010 em que há 27 de estiagem e 2 de inundação. Na série analisada nenhuma portaria referente à seca foi registrada no Maranhão, mesmo resultado encontrado na pesquisa de Olímpio (2017) que analisou entre os anos de 2003 e 2014. As estiagens destacam-se nos anos de 2010, 2012, 2013, 2015 e 2016, com menor quantidade nestes dois últimos anos. Já inundação aparece com a maior quantidade de portarias em 2009 com 66 registros, assim como enxurradas com 45 portarias publicadas. Alagamentos destacam-se os anos de 2018 e 2019 com 2 registros cada um (GRÁFICO 15).

Gráfico 15 – Distribuição Temporal por tipos de desastre entre 2003 e 2020 – Maranhão



Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autore.

Utilizando o total de desastres por municípios entre 2003 e 2020, fez-se a divisão em classes, identificou-se 16 municípios com alta frequência de desastres, 95 com média frequência e 106 com baixa frequência, que os municípios com nenhum ou 1 registro (TABELA 14).

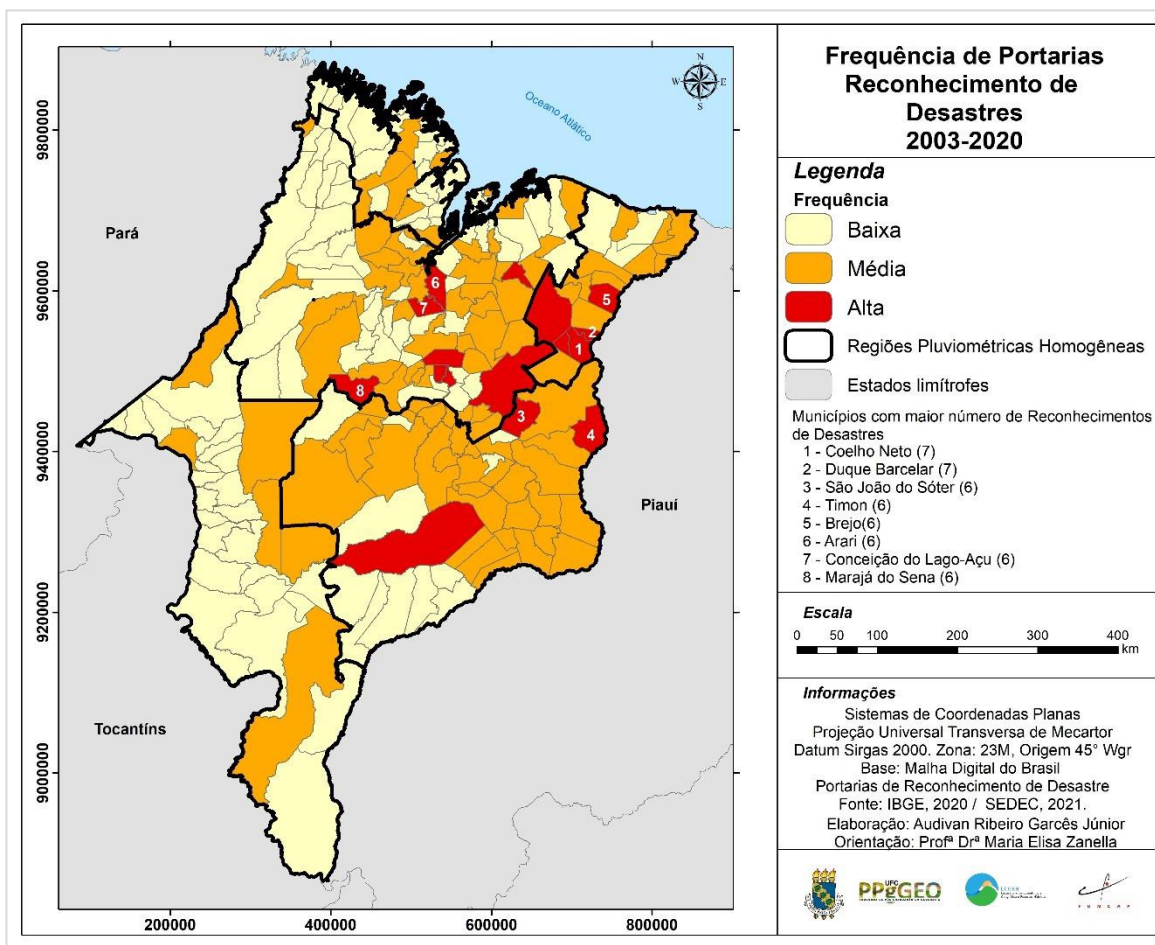
Tabela 14 – Frequência e Percentual de Portarias de Reconhecimento Federal de desastre por município – Maranhão (2003-2020)

Frequência	n	%
Alta (5-7)	16	7,4
Média (2-4)	95	43,8
Baixa (0-1)	106	48,8
Total	217	100

Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

A partir da distribuição espacial da frequência de desastres é possível inferir que na porção leste há maior concentração de municípios com alta frequência de registros de portarias de reconhecimento federal (FIGURA 55). Com alta frequência tem-se 16 municípios, destes, Coelho Neto e Duque Bacelar possuem 7 registros cada. Os municípios de Arari, Brejo, Conceição do Lago-Açu, Marajá do Sena, São João do Soter e Timon possuem 6 registros cada um, destacando que Arari e Conceição do Lago-Açu que em 2020 tiveram os dois únicos decretos de Estado de Calamidade Pública para a série analisada.

Figura 55 – Distribuição da frequência de Portarias de Reconhecimento de Desastres



Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

No Oeste do estado nota-se a concentração de municípios com baixa frequência de desastres, esta classe representa 106 municípios, destes, 61 não possuem nenhum registro, representando 28,1% dos municípios maranhenses. Com média frequência foram 95 municípios, ou seja, 43,8% dos municípios do Maranhão tiveram entre 2 a 4 portarias publicadas.

Analisando a distribuição por Regiões Pluviométricas Homogêneas do estado do Maranhão, nota-se que a RPH 1 situada ao norte do estado teve 77,4% dos municípios considerados com baixa frequência e 22,6% com média frequência, não houve municípios com 5 ou mais portarias (alta frequência) (TABELA 12). Nesta região está o maior percentual proporcional à região pluviométrica de municípios sem nenhuma portaria reconhecida entre 2003 e 2020, cerca de 54,8% dos municípios desta região.

Tabela 15 – Frequência e Percentual de Portarias de Reconhecimento Federal de desastre por RPH – Maranhão (2003-2020)

RPH	Frequência (%)		
	Alta	Média	Baixa
1	0,0	22,6	77,4
2	8,9	43,3	47,8
3	26,3	57,9	15,8
4	6,5	69,6	23,9
5	0,0	19,4	80,6
Total	7,4	43,8	48,8

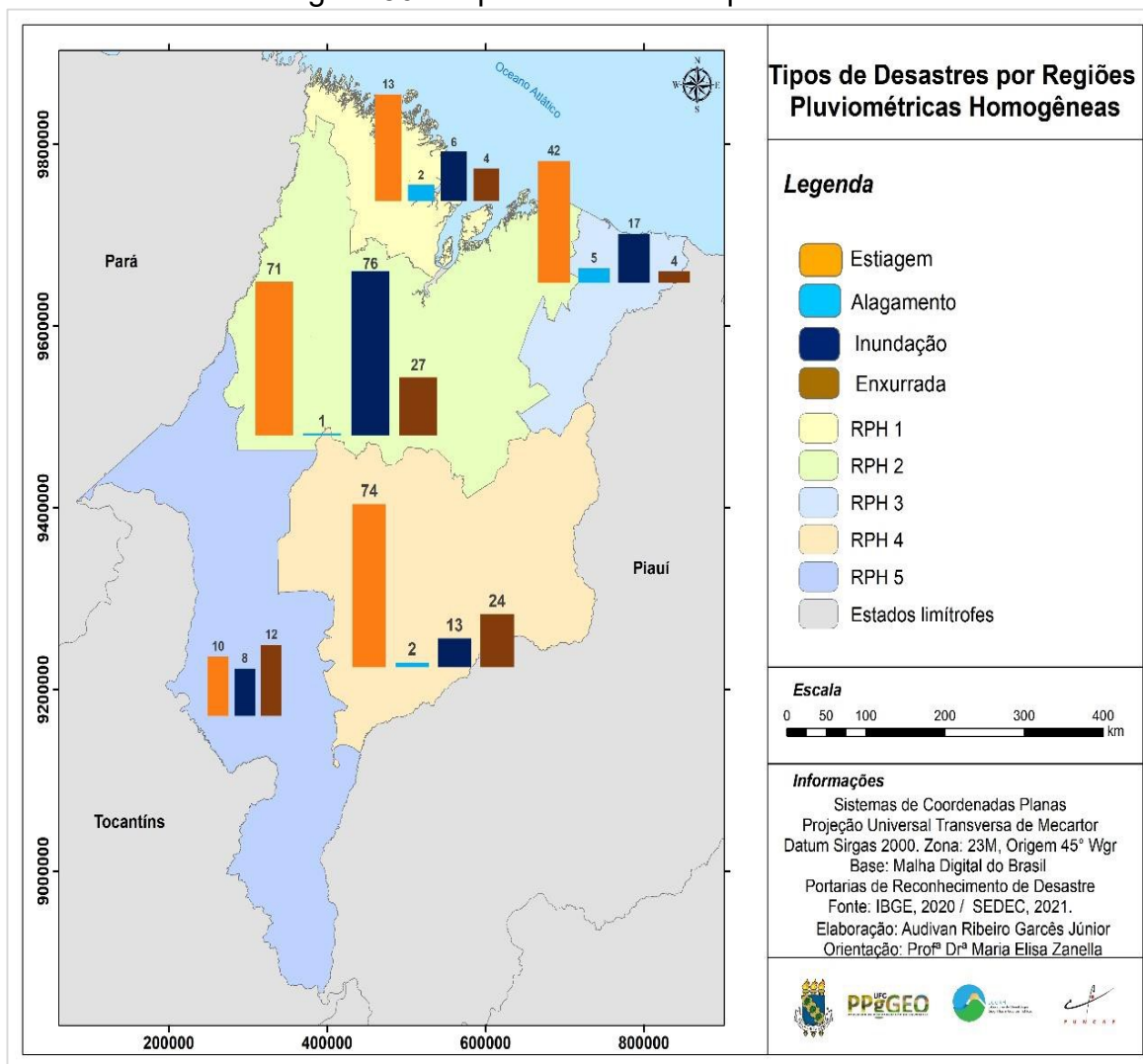
Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

Na RPH 2 que compreende 90 municípios, houve 8 municípios com alta frequência (8,9%), 39 com média frequência (43,3%) e 43 com baixa frequência (47,8%). Na RPH 3, no nordeste do estado, identificou-se o maior percentual proporcional à região de municípios com alta frequência, representando 26,3%, com média frequência 57,9% e com baixa frequência 15,8%. Nesta região apenas 3 municípios não registraram nenhuma portaria.

A RPH 4, na porção centro-leste do estado, 6,5% dos municípios tiveram alta frequência de registros, 69,6% média frequência, o que corresponde a 32 municípios e com baixa frequência 23,9% dos municípios desta região. Assim como a RPH 1, a RPH 5 localizada na porção leste-sul do estado não houve nenhum município com alta frequência, tendo apenas 19,4% dos municípios desta região com média frequência e 80,6% com baixa frequência.

A maior quantidade de portarias foi registrada na RPH 2 com 175 portarias, seguido da RPH 4 com 113 registros, 68 portarias na RPH 3 e na RPH 5 e 1, respectivamente 30 e 35 registros. Na RPH 1 a maior quantidade de portarias refere-se ao desastre do tipo estiagem com 13 registros, seguido de 6 de inundações/enchentes, 4 enxurradas e 2 alagamentos (FIGURA 56).

Figura 56 – Tipos de desastres por RPH



Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

Na RPH 2 tem-se um número expressivo de desastre do tipo inundação, foram 76 portarias publicadas. Nesta região está localizado o município de Conceição do Lago-Açu que possui o maior registro de inundação do estado com 6 portarias publicadas e que em 2020 decretou Estado de Calamidade Pública por este tipo de desastre, além dos municípios de Pedreiras e Trizidela do Vale com 5 registros cada. Estes dois municípios estão localizados às margens do rio Mearim, e historicamente possuem problemas relacionados a inundação. Além destes, destaca-se o município de Arari que possui 4 portarias do tipo inundação e 1 portaria de ECP em 2020.

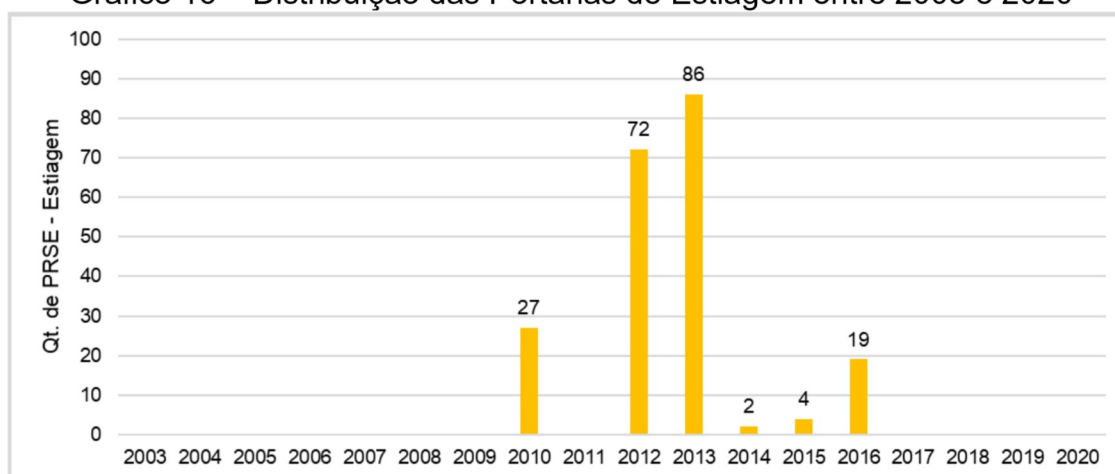
A RPH 3 possui 42 registros de estiagem, este número proporcionalmente a quantidade de municípios da região representa 40,5% de

todas as portarias publicadas, um número bastante expressivo. Além deste tipo de desastre, tem-se 17 de inundação, 5 portarias do tipo alagamento e 4 de enxurradas. Na RPH 4 está a maior quantidade de portarias do tipo estiagem do estado, com 74 registros, de enxurradas foram 24 portarias, inundação 13 e para alagamentos 2. Já na RPH 5 as enxurradas foi o tipo de desastre mais registrado, com 12 portarias publicadas, seguido de estiagem com 10 registros e 8 de inundação, não houve registro de alagamentos nesta RPH.

9.1 Análise dos desastres climáticos: Estiagem

As estiagens foram o tipo de desastre com maior número de portarias publicadas entre 2003 e 2020, representando 51,1% do total de registros. O ano de 2013 possuiu a maior quantidade de registros de estiagens com 86 portarias publicadas. Nota-se que há uma concentração de registros de estiagens entre os anos de 2010 e 2016 no estado do Maranhão (GRÁFICO 16).

Gráfico 16 – Distribuição das Portarias de Estiagem entre 2003 e 2020



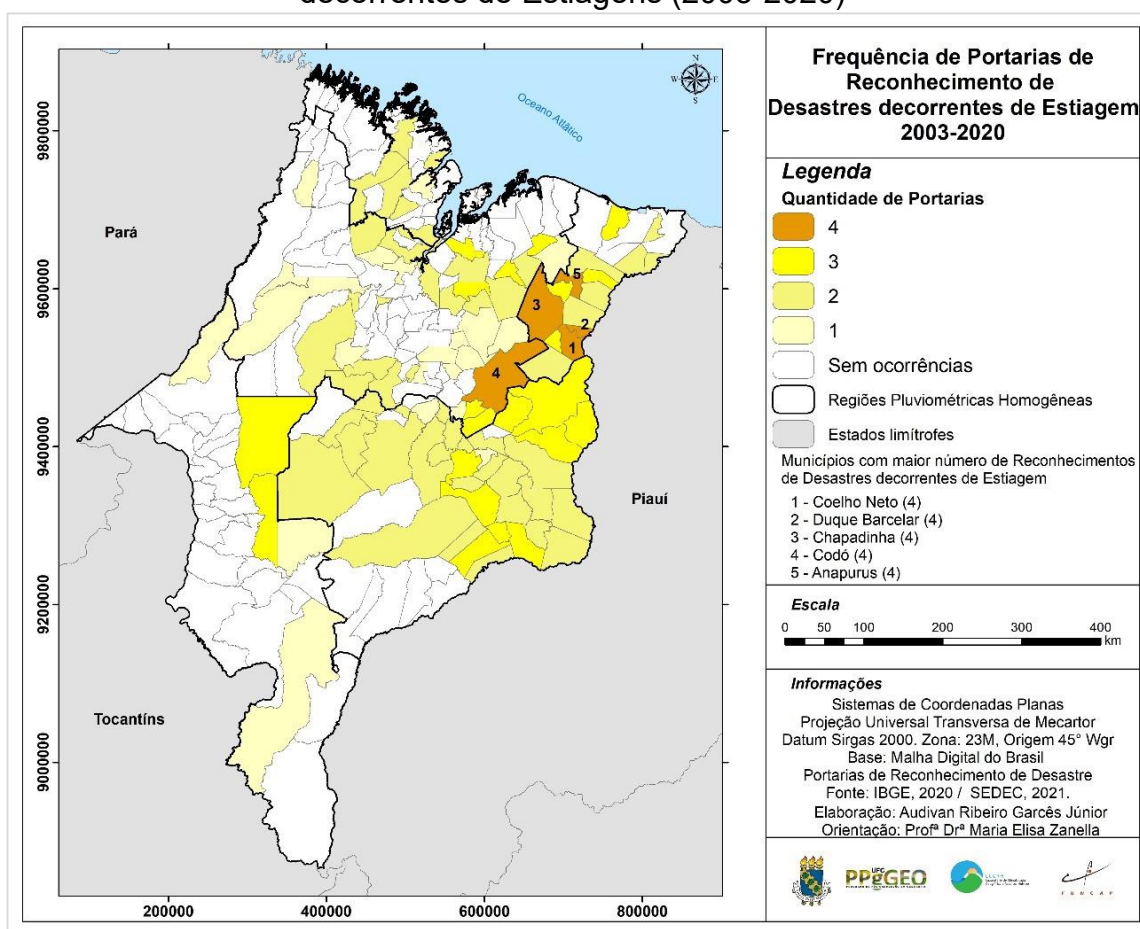
Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

Silva *et al.* (2017) destacam os principais impactos dos episódios de estiagem no estado do Maranhão entre 2010 e 2017, dentre eles as queimadas provocando implicações na saúde humana, perda de áreas agricultáveis, perda de biodiversidade, alterações dos ecossistemas. Os autores destacam que embora o Maranhão apresente um padrão climático sazonal diferente dos demais estados do Nordeste referente às secas e estiagens, é necessária

atenção com relação às políticas públicas voltadas para esta condição vulnerável do estado a ocorrência de eventos deste tipo, seja anual ou sazonal.

Na análise espacial, percebe-se uma grande quantidade de registros de estiagens na porção leste do estado, mesmo resultado encontrado no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais com dados de 1991 a 2012 (CEPED, 2013). Neste estudo esta porção refere-se a áreas das RHP 3 e RPH 4 (FIGURA 57).

Figura 57 – Distribuição espacial das Portarias de Reconhecimento Federal decorrentes de Estiagens (2003-2020)



Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

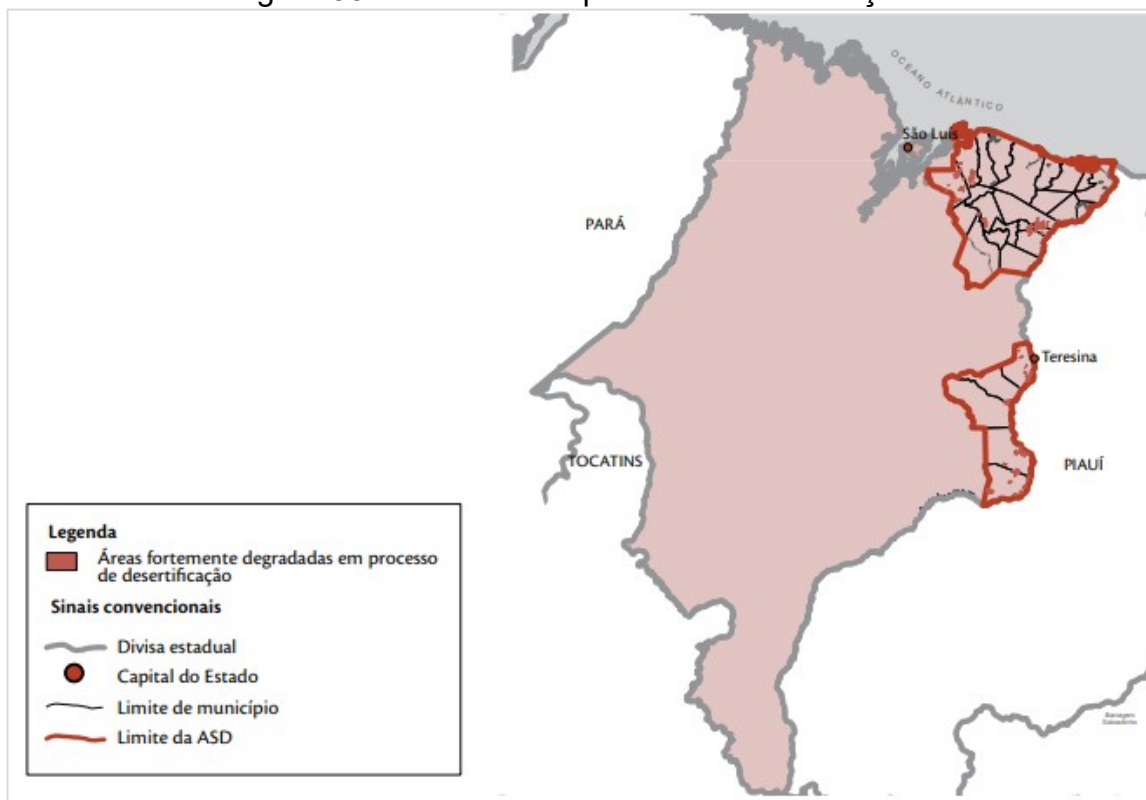
Na RPH 2 o município de Codó possuiu 4 registros de estiagem e com 3 registros os seguintes municípios: Nina Rodrigues, Capinzal do Norte, Cachoeira Grande, Santa Rita, Belágua, Gonçalves Dias e Governador Archer. Nesta RPH embora o município de Arari apresentou a maior quantidade de portarias do tipo inundação, para estiagem o município apresentou 2 registros. Na RPH 3 destacaram-se os municípios de Coelho Neto, Duque Bacelar,

Chapadinha e Anapurus com 4 registros cada, os dois primeiros municípios estão localizados às margens do rio Parnaíba.

Sobre esta área, Botelho e Alencar (2019, p. 552) destacam que o Leste Maranhense “tornou-se um ponto estratégico para a implantação e expansão de produtos agrícolas, principalmente do eucalipto e da soja, atraindo produtores de diversas regiões do país”, isto tem acarretado na mudança nas características naturais do ambiente de cerrado típico da região, além de diversos conflitos territoriais. Entre os motivos que levam a expansão agrícola nesta área, está a redução de áreas disponíveis no sul do estado, onde se concentra o maior polo do agronegócio, o regime pluviométrico, tipo de solo, o predomínio de terrenos planos e localização próxima ao porto, possibilitando a exportação (PRESOTI, 2008; NOGUEIRA *et al.* 2014).

Em seu trabalho sobre a variabilidade espaço-temporal da razão de mistura, que estima as possíveis alterações da umidade do ar em algumas estações meteorológicas do Maranhão, Nogueira *et al.* (2014) levantou a hipótese que a mudança no uso da terra na região de Chapadinha, que situa-se na RPH 3, tem afetado o padrão de comportamento de variáveis meteorológicas, sobretudo a umidade do ar. No relatório do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2016), o Maranhão possui uma área de 40.809,6km² suscetível à Desertificação, esta área compreende predominantemente a porção leste do Maranhão (FIGURA 58).

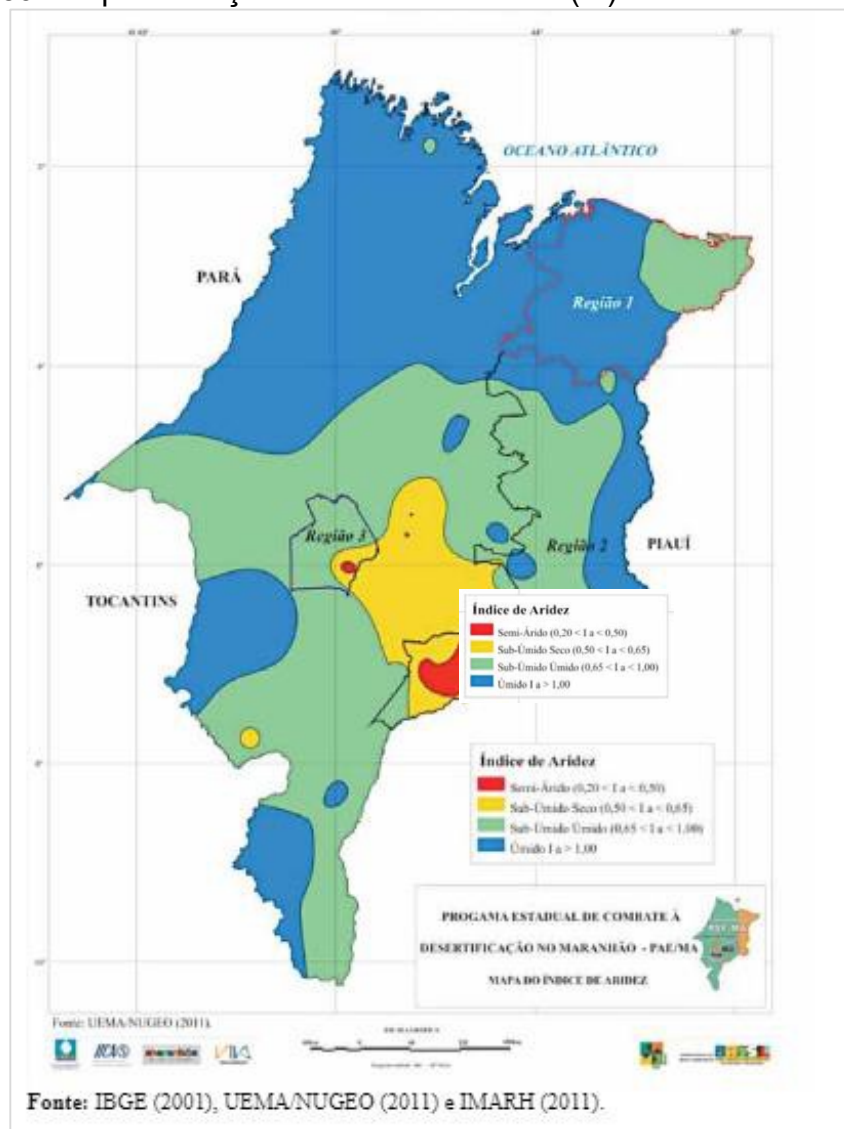
Figura 58 – Áreas Susceptíveis à Desertificação



Fonte: Elaborado por Funceme e CGEE, 2015.

O Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado do Maranhão (MARANHÃO, 2012), revela que a Área Susceptível a Desertificação apresentou uma área de 95.101,42km², cerca de 28,6% do território maranhense, compreendendo 63 municípios, levando em conta variáveis econômicas, sociais e ambientais. No que tange a parte climática utilizou-se o Índice de Aridez proposto pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), no entanto, embora traga discussões interessantes, o relatório apresenta fraquezas já que deixa clara a fragilidade quanto aos dados meteorológicos devido a presença de poucas estações na área (FIGURA 59).

Figura 59 - Espacialização do Índice de Aridez (Ia) no Estado do Maranhão

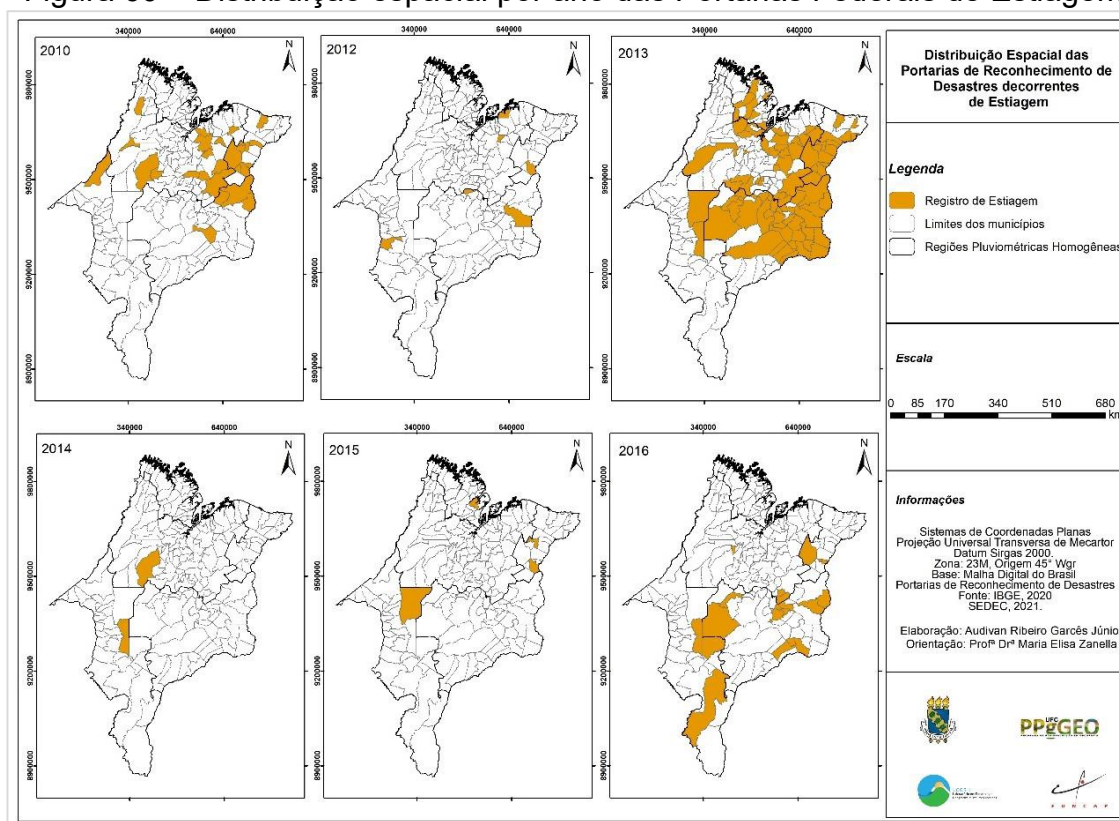


Fonte: Maranhão (2012).

Lemos (2016) destaca que o Maranhão possui 15 municípios com Índice de Aridez que os classificam como semiárido segundo as Nações Unidas, além disso o autor destaca que os indicadores econômicos dos municípios maranhenses são bem piores em relação aos demais já incluídos no Semiárido Brasileiro. Neste contexto, em 2017 os municípios de Araiões e Timon foram inseridos no Semiárido Brasileiro pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (SUDENE, 2017). Araiões pertence a RPH 3 e Timon à RPH 4, o primeiro não teve nenhuma portaria federal de estiagem, enquanto que Timon registrou 3 portarias. Há ainda um Projeto de Lei (PL) 2492/2019 sugerindo a inserção de outros 44 municípios na área que abrange o Semiárido Brasileiro (AGÊNCIA SENADO, 2021).

Na distribuição espacial por ano, nota-se que apenas nos anos de 2010 e 2013 houve um padrão homogêneo, com municípios da porção leste registrando portarias de estiagem, nos demais anos (2012, 2014, 2015 e 2016) estes registros foram em áreas diferentes do território maranhense. Em 2014, por exemplo, só há dois registros, em Sítio Novo na RPH 5 e Santa Luzia na RPH 2 (FIGURA 60).

Figura 60 – Distribuição espacial por ano das Portarias Federais de Estiagem



Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

O ano de 2013 se destaca como o ano que possuiu a maior quantidade de registros de estiagem, foram 6 registros na RPH 1, 30 na RPH 2, 15 na RPH 3, 33 na RPH 4 e 2 na RPH 5. Na análise do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) dos municípios do Maranhão para os anos com maior quantidade de registros de estiagens, percebe-se que todos os anos a maior parcela dos municípios foi classificada como seco, muito seco ou extremamente seco, exceto no ano de 2014, com grande parte sendo considerada como úmido. O ano de 2012, por exemplo, apresentou cerca de 82 municípios com IAC extremamente seco e 2013, 134 muito seco. Estes dois anos compreendem o período de maior registro de estiagens no estado (TABELA 16).

Tabela 16 – Dados do IAC em anos com registros de estiagem

	2010	2012	2013	2014	2015	2016
Extremamente úmido	0	0	0	0	0	0
Muito úmido	0	0	0	21	0	0
Úmido	13	0	9	149	1	4
Seco	146	35	71	47	51	28
Muito Seco	57	100	134	0	136	159
Extremamente seco	1	82	3	0	29	26

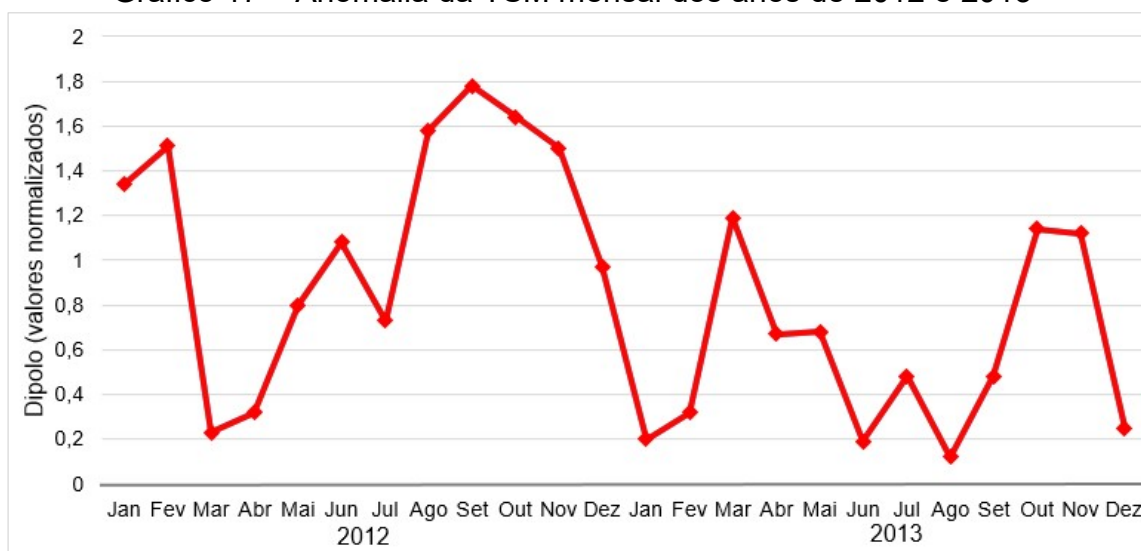
Fonte: Elaborado pelo autor.

No caso de 2014 quando grande parte dos municípios foi classificado como úmido, identificou-se apenas 2 portarias de estiagem no estado, nos municípios de Santa Luzia e Sítio Novo. De maneira geral, nota-se que há uma relação entre as condições pluviométricas identificadas pelo IAC e os decretos de estiagem para o estado do Maranhão.

Considerando as condições atmosféricas deste ano, Olímpio (2017) destaca que em 2013 as chuvas no Nordeste foram em grande parte da região abaixo das normais climatológicas, observando que a TSM do Pacífico e do Atlântico tem respectivamente, uma condição neutra e dipolo positivo.

Observando os dados do Dipolo do Atlântico (GRÁFICO 17) dos anos de 2012 e 2013, em todos os meses os valores estiveram acima de 0, ou seja, com Dipolo Positivo, condição desfavorável para as chuvas no Nordeste do Brasil (ANDREOLI; KAYANO 2007).

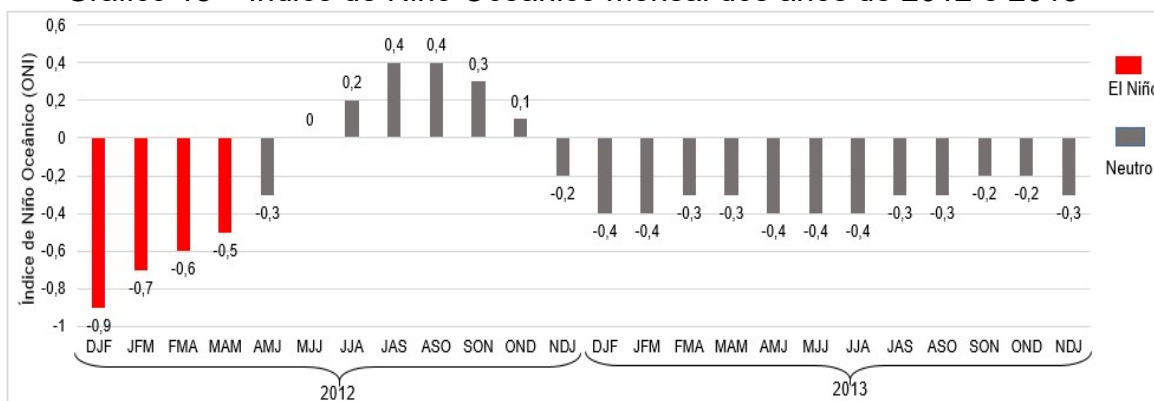
Gráfico 17 – Anomalia da TSM mensal dos anos de 2012 e 2013



Fonte: FUNCEME (2021), elaborado pelo autor.

No Pacífico apresentou em grande parte das anomalias trimensais a condição neutra para o fenômeno ENOS, no início de 2012 havia uma condição de El Niño, porém a partir das médias de abril-maio-junho (AMJ) se estabeleceram anomalias entre -0,5 e 0,5 (GRÁFICO 18).

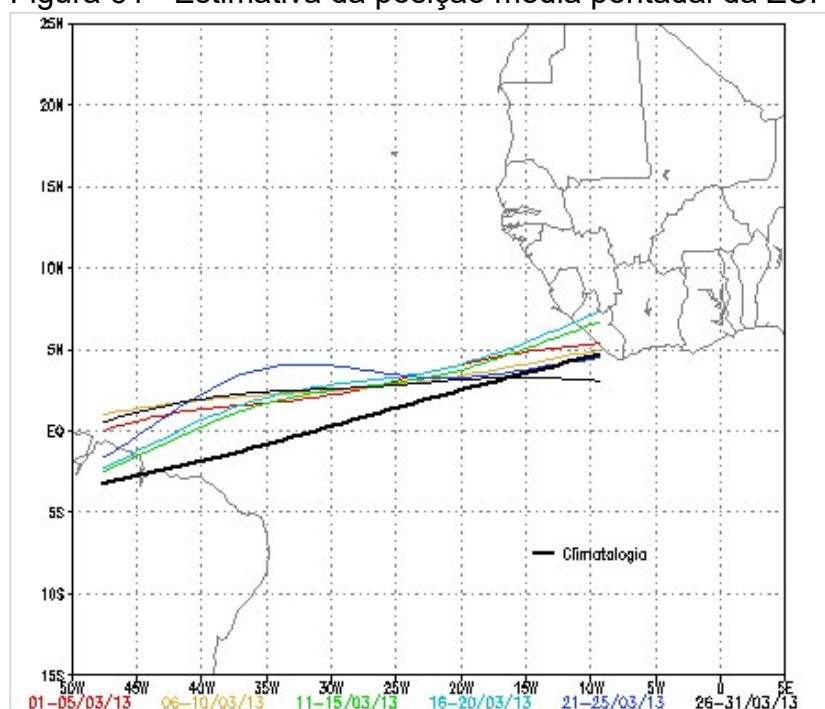
Gráfico 18 – Índice de Niño Oceânico mensal dos anos de 2012 e 2013



Fonte: NOAA, elaborado pelo autor.

No Boletim Climanálise de março de 2013 (CPTEC, 2013) é destacado que a ZCIT se posicionou mais a norte de sua posição climatológica, considerando um posicionamento anômalo e que este comportamento teve relação com a atuação de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis na alta troposfera. Na figura 61, observa-se a posição média pentadal da ZCIT em março de 2013, a linha preta representa sua posição climatológica para o mês.

Figura 61 - Estimativa da posição média pentadal da ZCIT

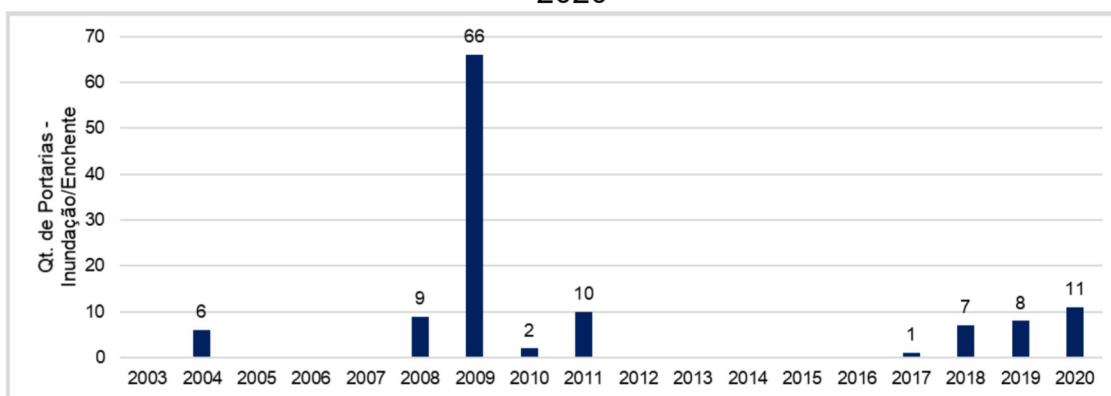


Fonte: CPTEC/INPE (2013).

9.2 Análise dos desastres hidrológicos: inundação/enchente, enxurrada e alagamento

Os eventos hidrológicos representaram 201 das publicações de portarias de reconhecimento federal. Dentre estes, 110 foram do tipo inundação/enchentes. Na análise temporal, este tipo de desastre teve seu maior registro no ano de 2009, com 66 municípios com reconhecimento federal por conta de inundação/enchente, seguido do ano de 2020 com 11 registros. Salienta-se que em 2020 há duas portarias de Estado de Calamidade Pública e 10 registros em 2011 (GRÁFICO 19).

Gráfico 19 – Distribuição das Portarias de Inundação/enchente entre 2003 e 2020

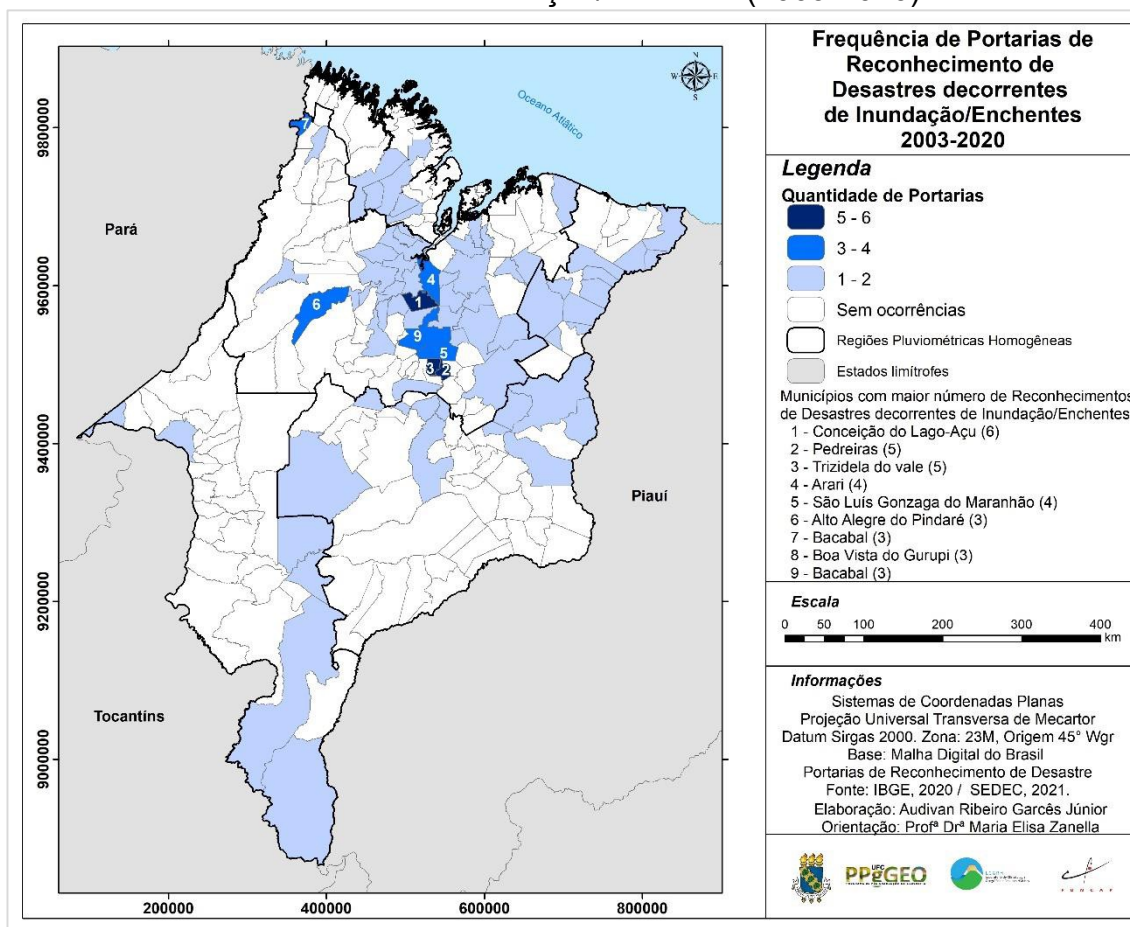


Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

Os anos de 2008, 2019 e 2018 tiveram respectivamente 9, 8 e 7 registros para este tipo de desastre. O ano de 2004 com 6 registros, 2010 com 1 e 2017 com 2 registros. Os demais anos da série analisada não tiveram nenhum registro.

Observando a distribuição espacial dos registros de inundação/enchente percebe-se que há uma maior quantidade de municípios com mais de 3 portarias na porção central do estado. Como os municípios de Conceição do Lago-Açu com 6 registros, Pedreiras e Trizidela do Vale com 5 registros cada um, com 4 registros os municípios de Arari, São Luiz Gonzaga, Bacabal, Alto Alegre do Pindaré e Boa Vista do Gurupi, embora estejam todos na RPH 2 estes dois últimos municípios não estão na porção central do estado (FIGURA 62).

Figura 62 – Distribuição espacial das Portarias de Reconhecimento Federal decorrentes de Inundação/enchente (2003-2020)



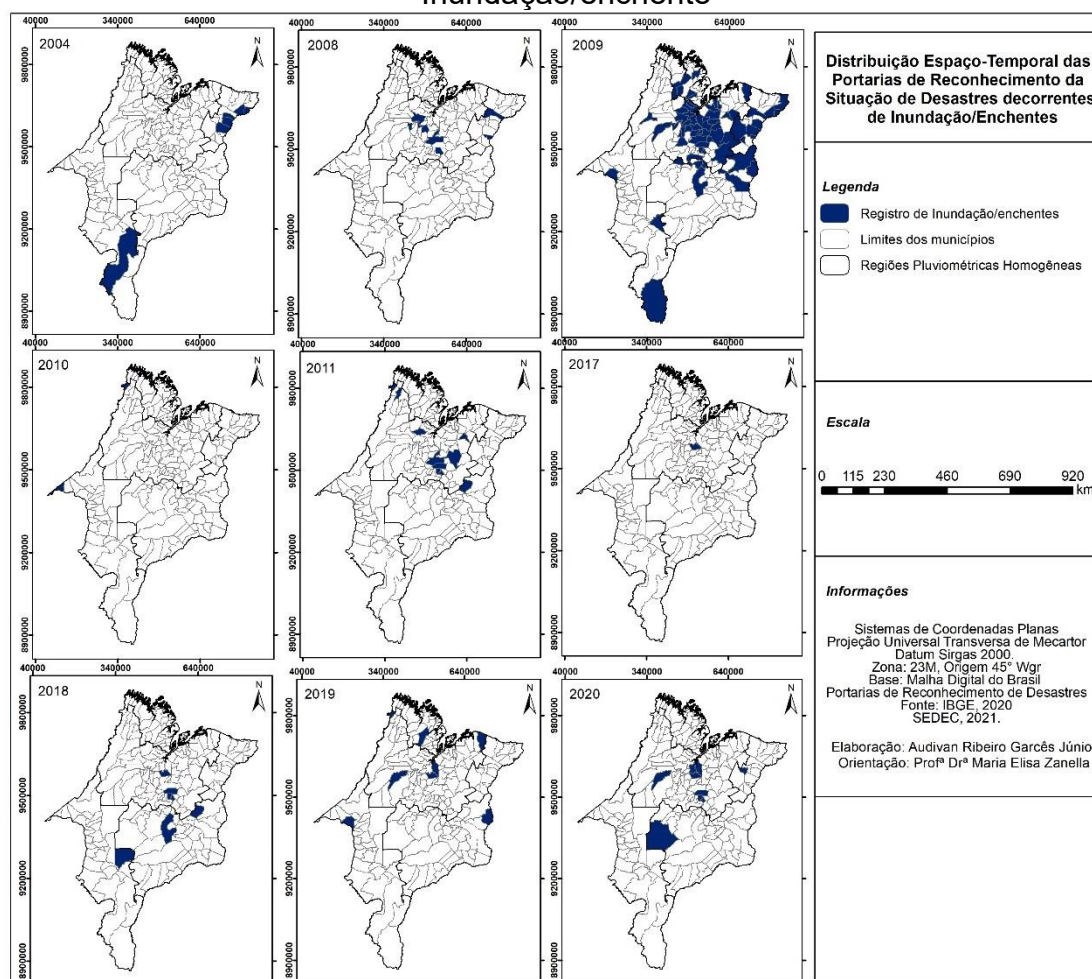
Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

A grande concentração de registros de inundação/enchentes na porção central coincide com a área da Bacia Hidrográfica do rio Mearim. Esta é a maior bacia localizada totalmente dentro do território maranhense, além do rio Mearim, possui importante afluentes, como o rio Pindaré e Grajaú. A bacia é ocupada por 83 municípios e possui população em torno de 2.089.095 habitantes, representando 34,14% do estado. Os municípios mais urbanizados são Santa Inês, Trizidela do Vale e Pedreiras com taxas de urbanização respectivamente de 94,7%, 85,3% e 83,4% (IBGE, 2012; MARANHÃO, 2014).

Na distribuição espacial por ano é notória a recorrência de registros de eventos na área da bacia do rio Mearim, exceto nos anos de 2004 e 2010. Em 2004, dos 5 registros, 4 estavam localizados na RPH 3, nos seguintes municípios: Brejo, Magalhães de Almeida, Milagres do Maranhão e São Bernardo. O outro registro foi no município de Balsas na RPH 5. Já em 2010, foram apenas 2 registros, nos municípios de Boa Vista do Gurupi na RPH 2,

município localizado às margens do rio Gurupi na divisa com o Pará, e no município de São Pedro da Água Branca na RPH 5 (FIGURA 63).

Figura 63 – Distribuição espacial por ano das Portarias Federais de Inundação/enchente



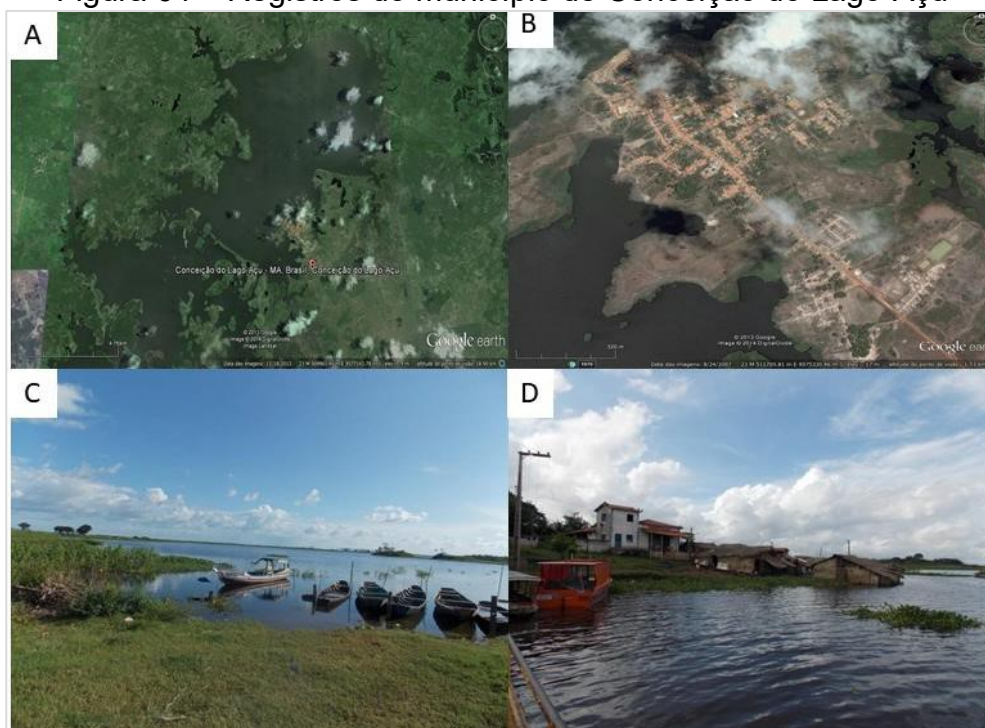
Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

Em 2008 foram 9 portarias publicadas, destas, 7 eram da RPH 2 e 2 da RPH 3. Em 2009 foram 80 registros de inundação/enchente na RPH 2, área que compreende boa parte da Bacia do rio Mearim. No ano de 2011 tiveram 9 registros da RPH 2 e 1 na RPH 4, no município de São João do Soter. Já em 2017, o município de Conceição do Lago-Açu foi o único com registro deste tipo de desastre. Em 2018, 7 municípios tiveram decretada situação de emergência por inundação/enchentes, sendo 4 da RPH 2, 2 registros na RPH 4 e 1 na RPH 5. Em 2019 e 2020 novamente a RPH 2 apresentou a maior quantidade de registro de inundação/enchente, com 5 em 2019 e 7 em 2020.

Nesta análise, destacaram-se três municípios: Conceição do Lago-Açu com 6 registros, sendo 1 de Estado de Calamidade Pública em 2020, Trizidela do Vale e Pedreiras com 5 cada um. Os três localizados na RPH 2, sendo que esta região foi a que apresentou a maior quantidade de registros de inundação/enchentes.

Conceição do Lago-Açu possui como característica natural a presença de planícies fluviais e flúvio-marinhas, no seu território encontram-se os rios Grajaú e Mearim, além do Lago-Açu (FIGURA 64). Segundo o relatório da Serviço Geológico do Brasil (CORREIA FILHO, 2011), a área do município é sujeita a inundação destes três principais corpos d'água, sobretudo devido ao amplo espriamento das águas dado seu relevo plano, dificultando o escoamento, além do assoreamento de alguns trechos dos rios e grande presença de vegetação aquática.

Figura 64 – Registros do município de Conceição do Lago-Açu



Fonte: CPRM (2014). (A) imagem do Google Earth mostrando o Lago Açu. (B) Imagem do Google Earth mostrando a área urbana. (C) e (D) Margens do Lago Açu.

Já os municípios de Pedreiras e Trizidela do Vale estão localizados às margens do rio Mearim (FIGURA 65). Trizidela do Vale era um bairro de Pedreiras que foi emancipado em 1994, estes dois municípios formam uma conurbação com uma população de pouco mais de 60 mil habitantes (IBGE, 2021). As inundações são recorrentes nestes municípios. Aragão *et al.* (2011)

ênfatizam que as inundações no município de Pedreiras interferem diretamente no desenvolvimento desta cidade, já que estes eventos em intervalos anuais possuem impactos socioeconômicos. Nas inundações de 2009, por exemplo, cerca de 24 mil pessoas afetadas, gerando diversos danos como desalojados, bloqueio de vias, fechamento de escolas e outros (MARANHÃO, 2014).

Figura 65 – Registros fotográficos dos municípios de Pedreiras e Trizidela do Vale

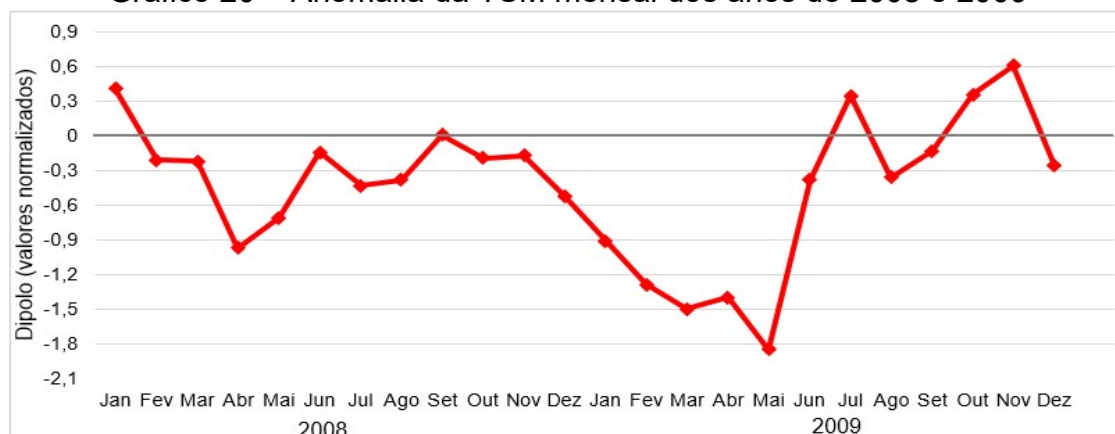


Fonte: Maranhão (2014). (A) Inundação em 2009 no município de Pedreiras. (B) Vista área das cidades de Pedreiras e Trizidela do Vale, entre os municípios está rio Mearim e ligando as duas cidades a Ponte Francisco Sá.

Dados do CEPED (2013) demonstram que 2009 foi o ano com maiores registros de inundações/enchentes no Maranhão, considerando-se as condições atmosféricas marcadas pelo excesso de chuvas na porção norte do estado como causa, sobretudo devido a atuação da ZCIT e de linhas de instabilidades.

Observando as TSM do Atlântico de 2008 e 2009 (GRÁFICO 20), observa-se que grande parte do período foi de Dipolo Negativo, com condições favoráveis às chuvas no Nordeste, sobretudo no período chuvoso para o estado do Maranhão no ano de 2009, entre meses de janeiro e maio. Corroborando com este dado, Monteiro (2016) destaca que para o estado do Ceará, o ano de 2009 apresentou grande acumulado pluviométrico anual nos municípios, enfatizando que tal característica não era identificada há mais de duas décadas.

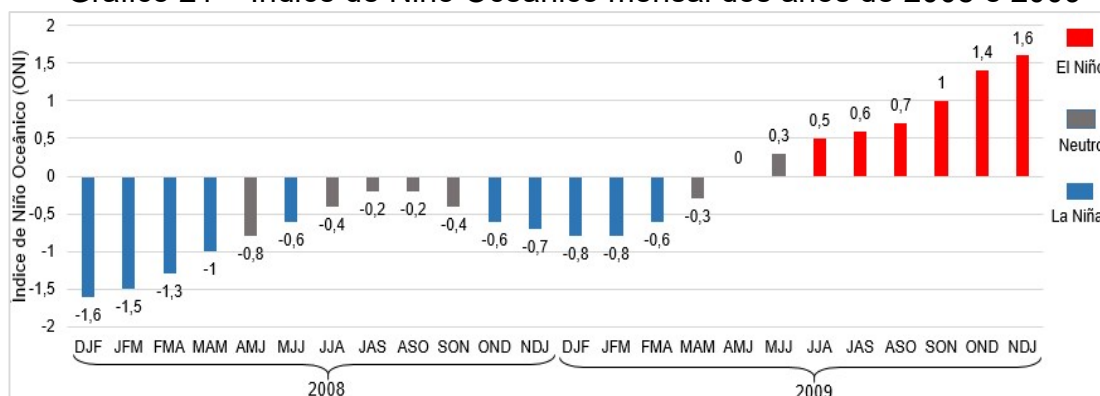
Gráfico 20 – Anomalia da TSM mensal dos anos de 2008 e 2009



Fonte: FUNCEME (2021), elaborado pelo autor.

Observando as anomalias da TSM do Pacífico para o mesmo período (GRÁFICO 21), percebe-se que em 2008 não houve anomalias positivas, estas começaram a aparecer a partir do trimestre junho-julho-agosto (JJA) quando o período chuvoso, sobretudo no Maranhão já está chegando ao fim.

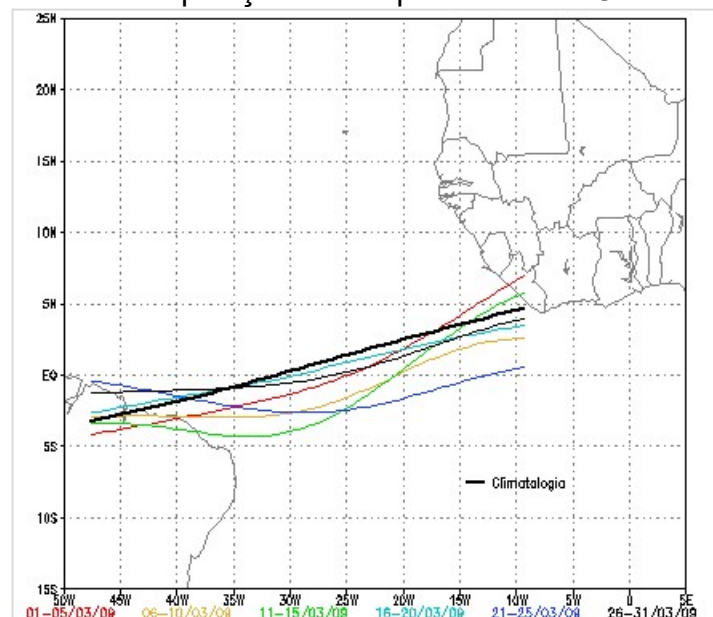
Gráfico 21 – Índice de Niño Oceânico mensal dos anos de 2008 e 2009



Fonte: NOAA, elaborado pelo autor.

Com estas condições o principal sistema produtor de chuvas no Maranhão atuou de forma predominante, sobretudo nos meses de março e maio, chegando a posicionar-se nestes meses entre o Equador e 5°S (FIGURA 66).

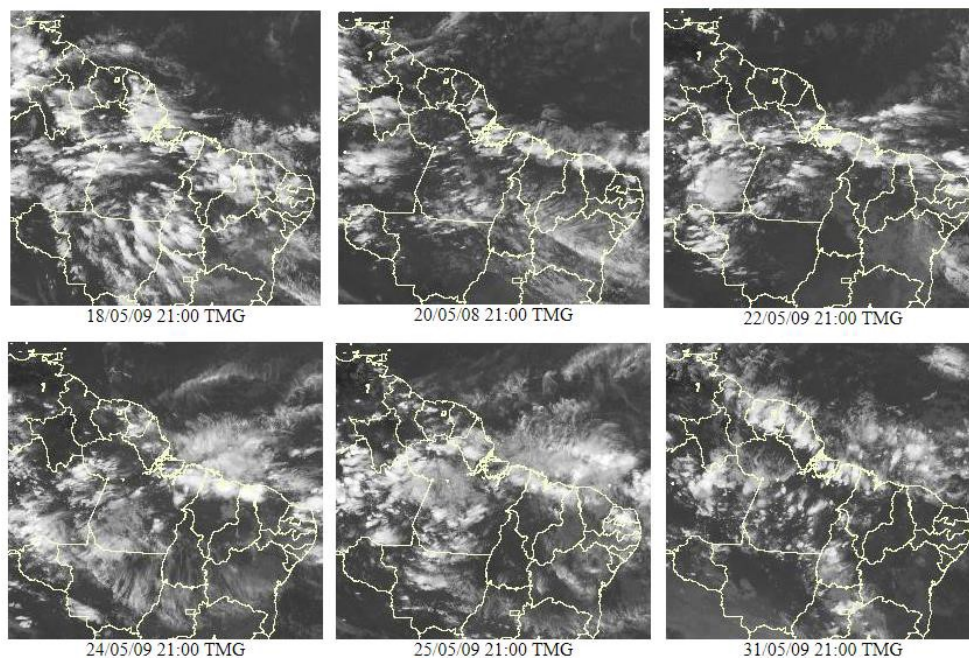
Figura 66 - Estimativa da posição média pentadal da ZCIT em março de 2009



Fonte: CPTEC/INPE (2009).

Esta posição da ZCIT também favoreceu ao logo do período chuvoso a formação de Linhas de Instabilidades, sobretudo na costa norte do Maranhão, a atuação destes sistemas ocorreu durante o período chuvoso, porém de forma mais predominante durante o mês de maio (CPTEC, 2008) (FIGURA 67).

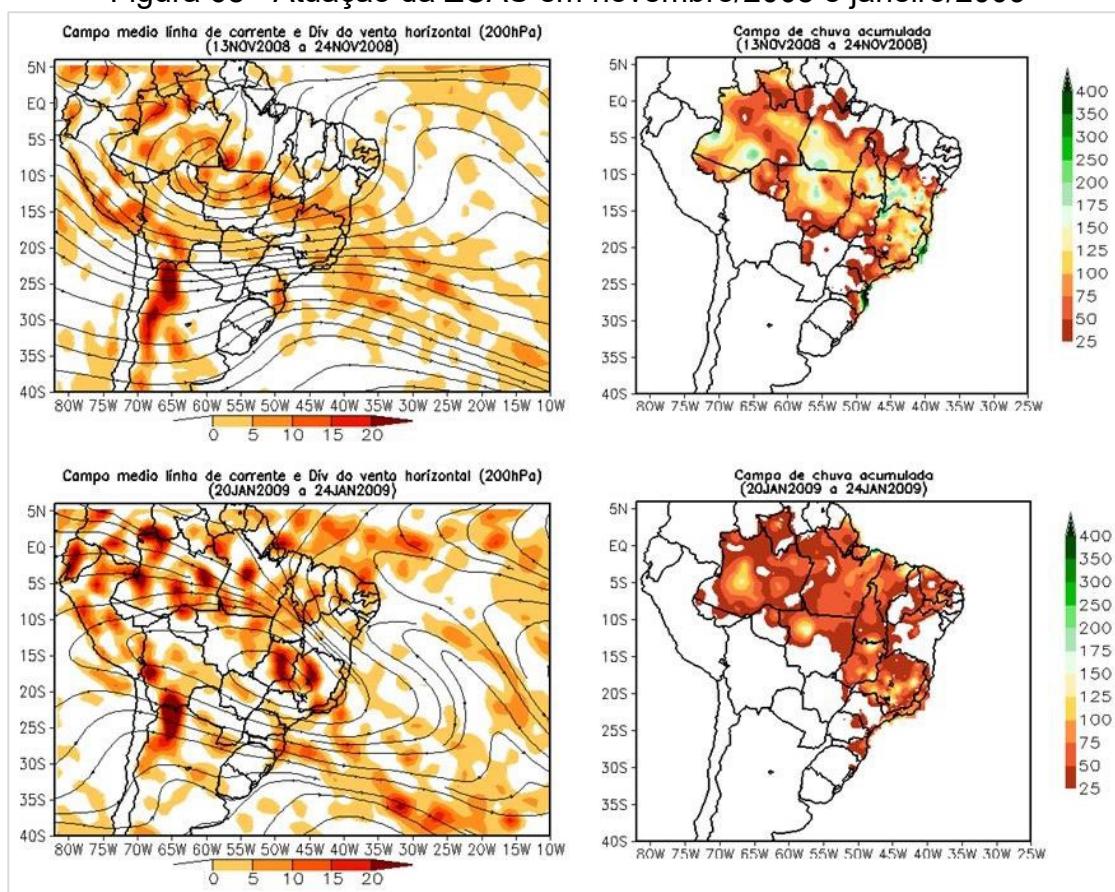
Figura 67 – Recortes de imagens do satélite GOES-10 de maio de 2009



Fonte: CPTEC/INPE (2009). Recortes das imagens do satélite GOES-10, no canal infravermelho, mostrando os dias nos quais ocorreram linhas de cumulonimbus em maio/2009.

A ZCAS também teve grande importância nos acumulados deste período, em novembro de 2008 é possível notar a presença da ZCAS causando chuvas no sul do estado do Maranhão bem como em toda porção sul do Nordeste (FIGURA 68). No mês de janeiro de 2009 também houve registro de ZCAS, contribuindo para os acumulados de chuvas na porção sul do Maranhão, bem como juntamente com outros sistemas como os VCAN que atuam no período (CPTEC, 2009).

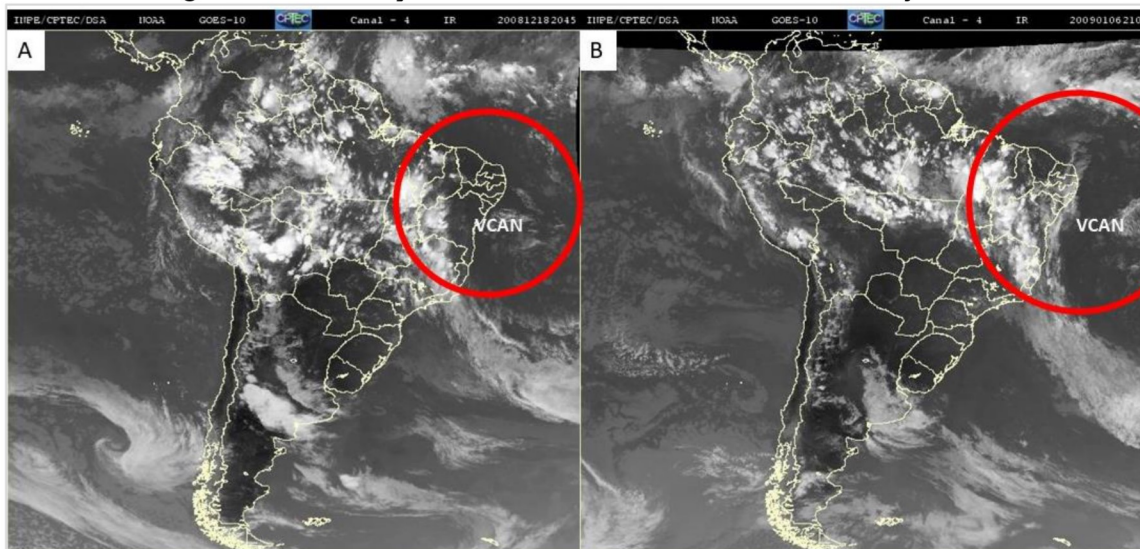
Figura 68 - Atuação da ZCAS em novembro/2008 e janeiro/2009



Fonte: Boletim Climanalise do CPTEC (2008; 2009).

Os VCANs atuaram de forma predominante no mês de janeiro, porém inibindo a formação de chuvas em boa parte do Nordeste, sendo responsável por volumes mais expressivos apenas no oeste do Maranhão e uma porção do Piauí. Em dezembro de 2008 também houve a atuação de VCAN contribuindo para as chuvas no Maranhão (CPTEC, 2008) (FIGURA 69).

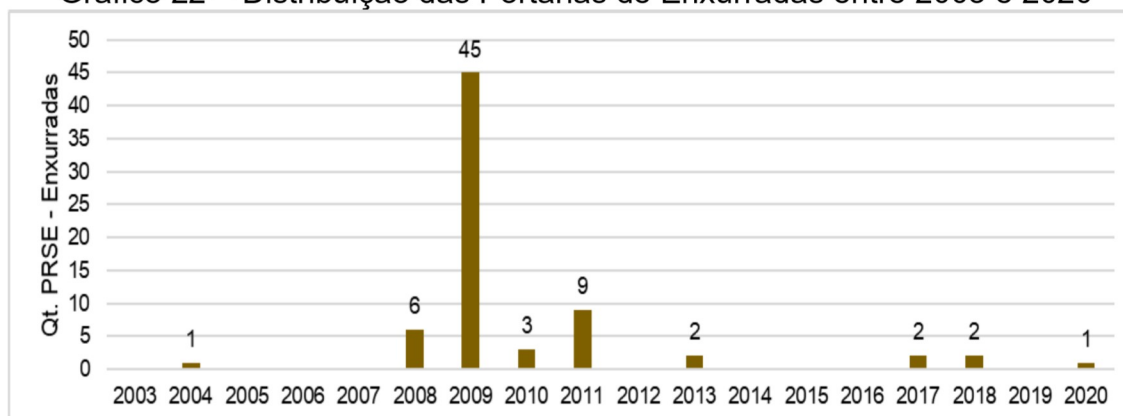
Figura 69 – Atuação de VCAN em dezembro/2008 e janeiro/2009



Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2008, 2009). Imagens do satélite GOES-10, canal 4. (A) Nebulosidade associada a borda do VCAN no dia 18/12/2008. (B) Nebulosidade associada à borda do VCAN no dia 06/01/2009.

As enxurradas foram responsáveis por 71 dos registros de desastres no estado do Maranhão entre 2003 e 2020, a maior parte dos registros foi no ano de 2009, com 45 portarias federais publicadas, seguida de 2011 com 9 registros. Os anos de 2004, 2008, 2010, 2013, 2017, 2018 e 2020 também tiveram registros de enxurradas (GRÁFICO 22).

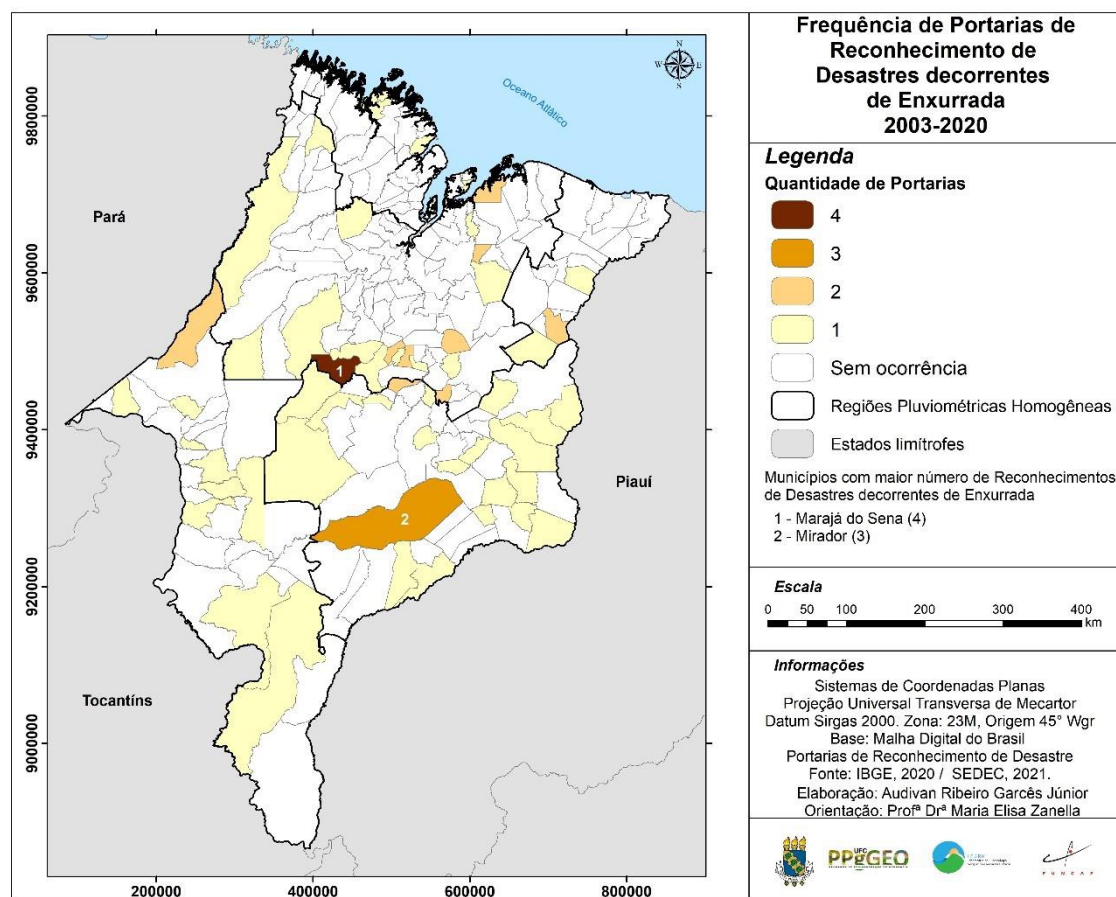
Gráfico 22 – Distribuição das Portarias de Enxurradas entre 2003 e 2020



Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

Os registros de enxurradas tiveram uma distribuição bastante heterogênea, sem predomínio em uma RPH, destacando-se o município de Marajá do Sena com 4 episódios e Mirador com 3. Nove municípios tiveram 2 registros de enxurradas, são eles: Coelho Neto, Dom Pedro, Esperantinópolis, Icatu, Igarapé Grande, Itinga do Maranhão, Lago do Junco, Peritoró e Presidente Vargas, outros 46 municípios tiveram 1 registro (FIGURA 70).

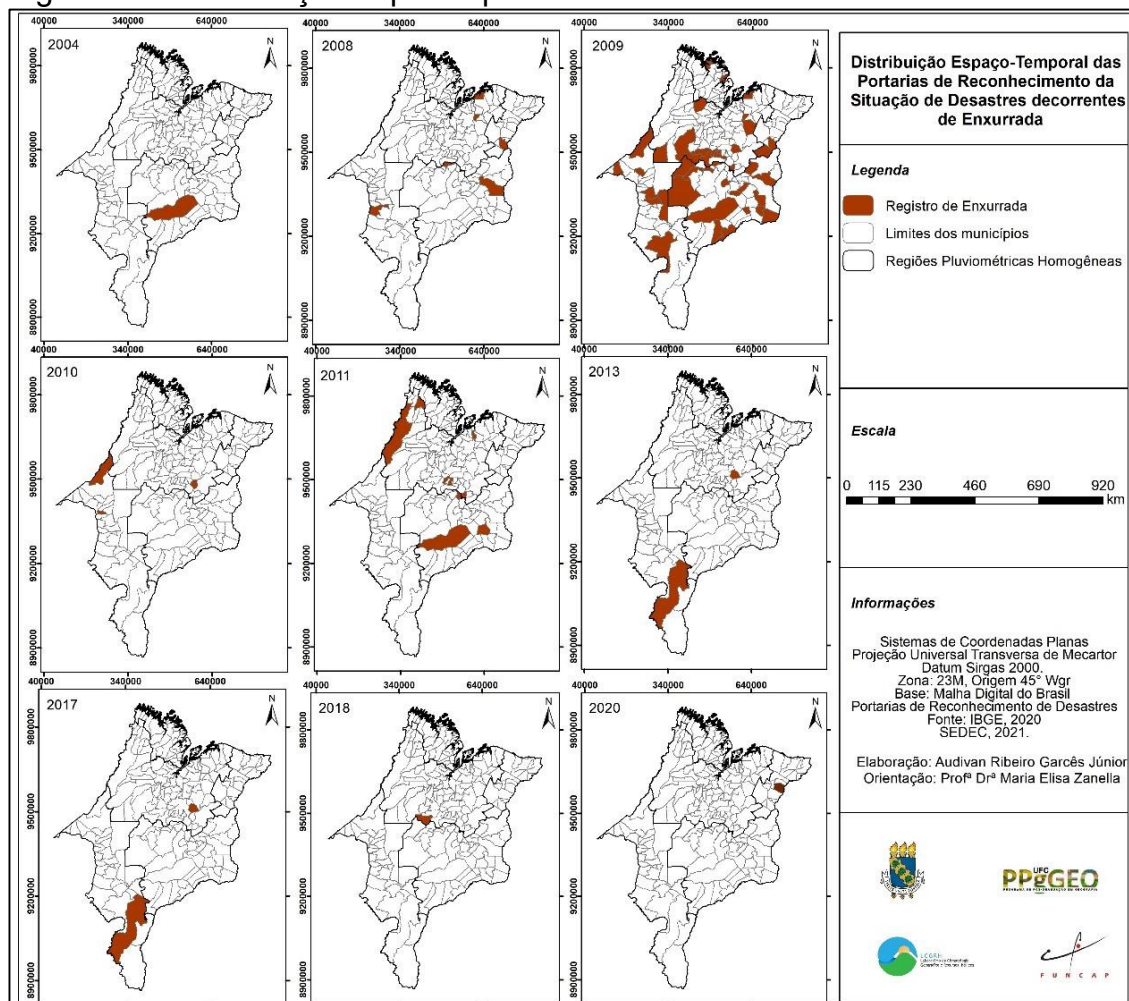
Figura 70 – Distribuição espacial das Portarias de Reconhecimento Federal decorrentes de Enxurradas (2003-2020)



Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

Na análise espacial por ano (FIGURA 71), nota-se o ano de 2009 houve o maior número de municípios com registros de enxurradas, neste ano as condições atmosféricas foram propícias para os elevados acumulados de pluviosidade, com atuação marcante da ZCIT e de outros sistemas atmosféricos importantes para o período chuvoso no estado. Esta condição aliada ao tipo de relevo e solo pode favorecer a ocorrência de enxurradas.

Figura 71 – Distribuição espacial por ano das Portarias Federais de Enxurradas



Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

O município de Marajá do Sena, que pertence a RPH 2, teve um registro em 2009 e 2017 e dois registros em 2018, um com decreto no dia 23 de fevereiro de 2018 e outra com publicação em 31 de março de 2018. Oliveira (2015) destaca que este município maranhense possui como característica um desenho urbano simples e com topografia bastante acidentada, com a área urbana localizada às margens da MA-008 (FIGURA 72). O município apresentou em 2020, segundo dados do Atlas de Desenvolvimento Humano¹⁶, o 4º pior Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) do Brasil. Olímpio (2017) considerando indicadores sociais, econômicos e ambientais para estabelecer a vulnerabilidade a Desastres, identificou que Marajá do Sena foi o município de maior vulnerabilidade da região Nordeste.

¹⁶ Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/ranking>. Elaborado por PNUD Brasil, IPEA e FJP, 2020.

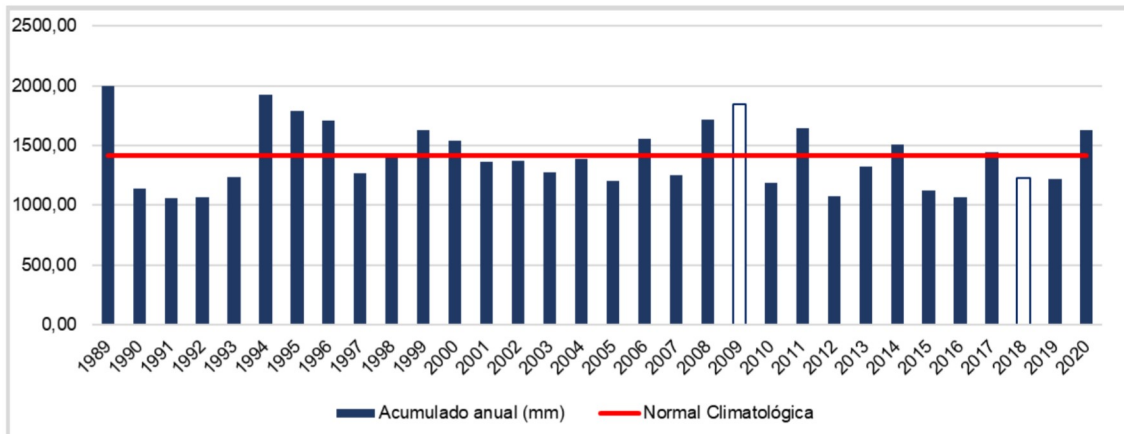
Figura 72 – Registros do município de Marajá do Sena



Fonte: Oliveira (2015). (A) moradias em área de risco de movimentos de massas. (B) Vista da área urbana de Marajá do Sena.

Analisando então os acumulados pluviométricos do município a partir dos dados do CHIRPS observou-se que o ano de 2009 esteve bem acima da média que é de 1.412,1mm/ano, assim como no ano de 2017 que teve um acumulado de 1.445,2mm. Já no ano de 2018, em que houve dois registros de enxurradas, o acumulado pluviométrico foi 1.230,0mm (GRÁFICO 23).

Gráfico 23 – Distribuição da pluviosidade anual do município de Marajá do Sena



Fonte: USGS (2021), elaborado pelo autor.

No relatório da SEDEC não há disponível a ficha com as informações do episódio, porém a partir de buscas em sites de jornais e emissoras de TV identificou-se que no dia 30 de março de 2018 houve um episódio de chuva que causou grandes impactos em diversos municípios maranhenses. Observando a imagem de satélite deste dia é possível identificar a atuação da ZCIT e do VCAN (FIGURA 73) que propiciaram expressivos volumes de chuvas no estado do Maranhão, há então um episódio de chuva

concentrada, o que é comum em episódios de enxurradas já que se trata de um escoamento superficial com alta energia (AMARAL; GUTJAHR, 2011).

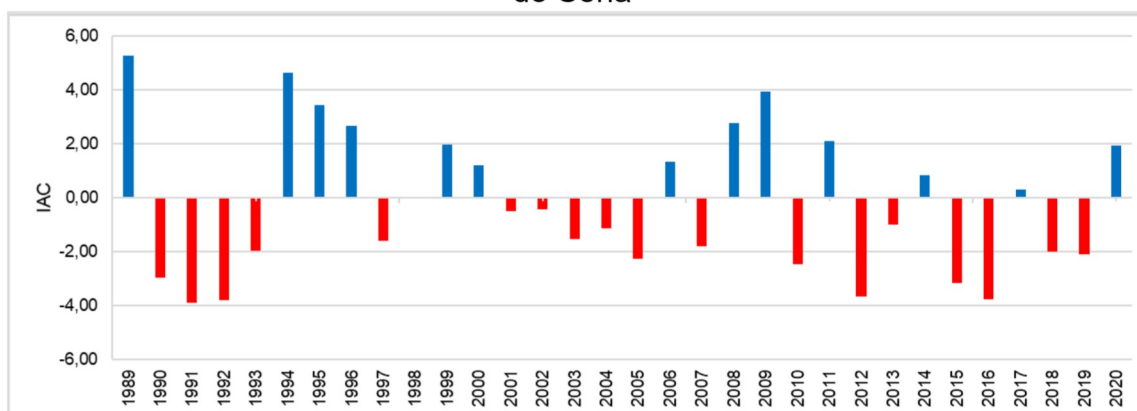
Figura 73 – Atuação da ZCIT e VCAN sobre o Nordeste em 30/03/2018 e notícia publicada em site de notícias



Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2018) e G1 Maranhão. (A) Imagem do satélite GOES-16, banda 13 do dia 30/03/2018. (B) Notícia publicada no site g1.com/maranhão no dia 30/03/2018 sobre fortes chuvas no Maranhão.

O IAC revela estas condições da variabilidade interanual no município, com anos mais secos e outros mais chuvosos, entre os anos secos destacam-se os anos de 1991, 1992, 2012 e 2016, inclusive há registros de estiagem em 2012 e 2013 neste município. Dentre os anos mais chuvosos destacaram-se 1989, 1994 e 2009, tendo registros de enxurradas neste último e em 2017, considerado um ano úmido (GRÁFICO 24).

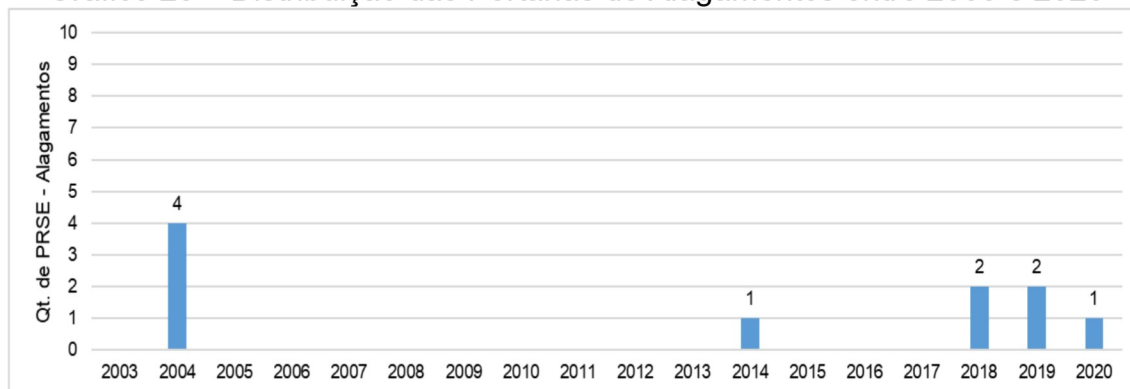
Gráfico 24 – Índice de Anomalia de Chuva (1989-2020) do município de Marajá do Sena



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os desastres do tipo alagamentos foram os menos expressivos no estado, com 10 registros na série analisada, sendo que a maior quantidade foi registrada entre 2018 e 2020 (GRÁFICO 25).

Gráfico 25 – Distribuição das Portarias de Alagamentos entre 2003 e 2020

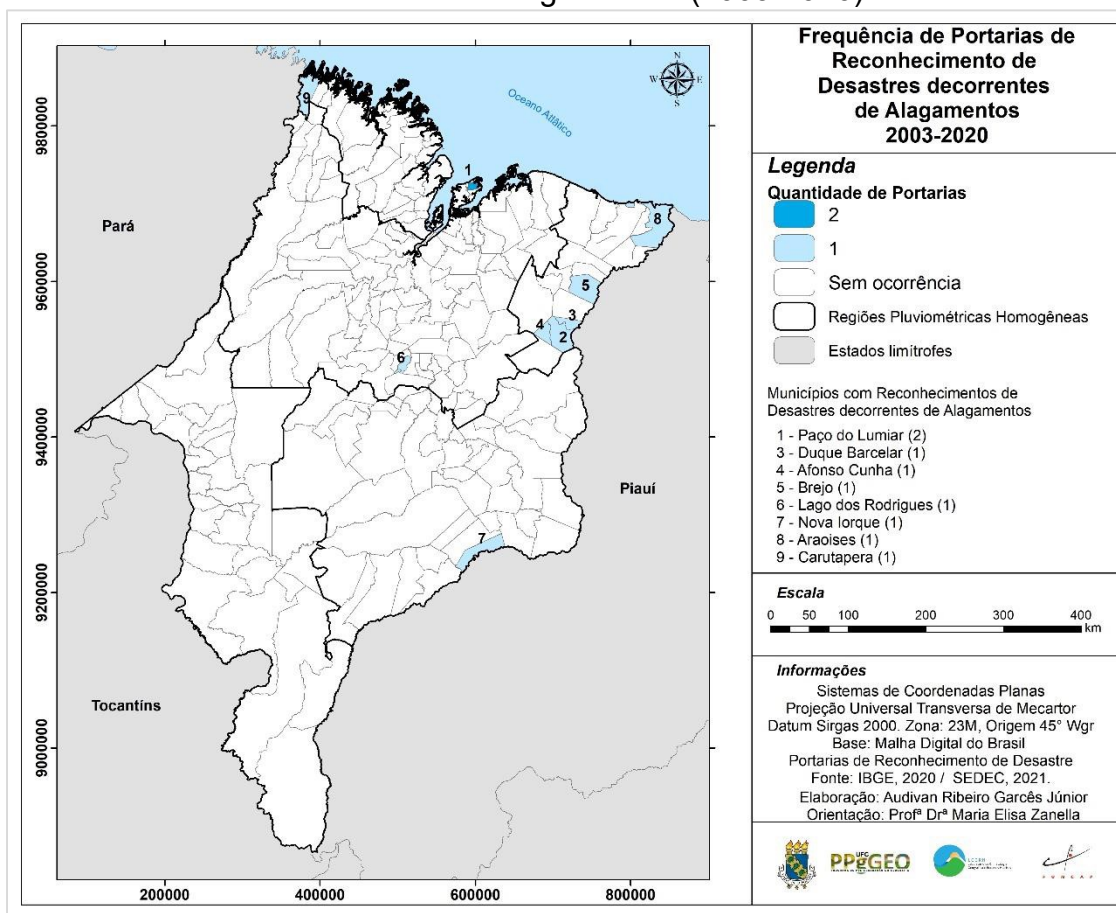


Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

A RPH 3 foi a que mais registrou portarias federais do tipo alagamento, foram 5 registros, estes foram nos municípios de Afonso Cunha, Araiases, Brejo, Coelho Neto e Duque Bacelar (FIGURA 74). Para Tucci *et al.* (2007) os eventos de alagamentos estão relacionados sobretudo a drenagem urbana, ou seja, o acúmulo de água em ruas, calçadas, praças e etc. decorrentes de chuvas. Observando então a população dos municípios com registros de alagamentos, o município de Afonso Cunha na RPH 3, segundo dados do Censo de 2010, possui uma população em torno de 5.905hab com densidade demográfica de 15,9hab/km², embora possua o quantitativo populacional baixo, a infraestrutura do município é precária, por exemplo, com apenas 2,5% com esgotamento sanitário adequado e 0% de domicílios urbanos com urbanização adequada¹⁷ (IBGE, 2010).

¹⁷ Para o IBGE, urbanização adequada refere-se à presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio

Figura 74 – Distribuição espacial das Portarias de Reconhecimento Federal decorrentes de alagamentos (2003-2020)



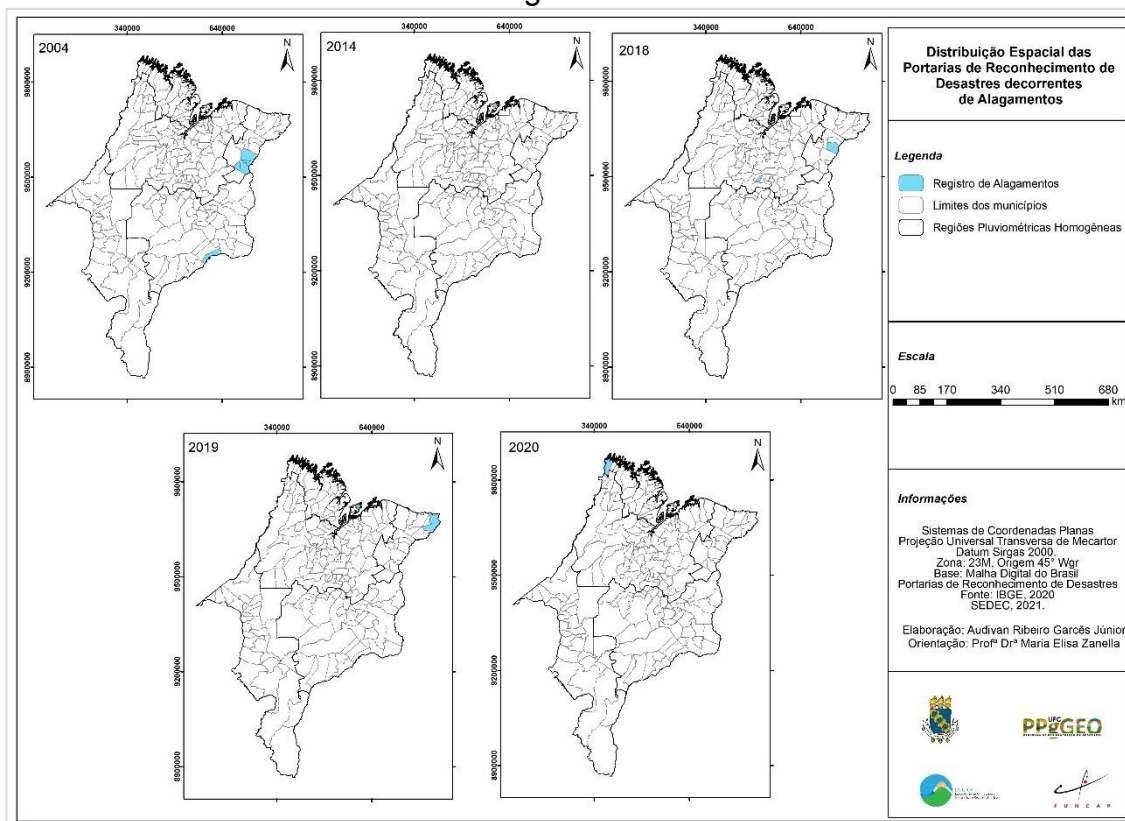
Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

Em 2004, além dos registros na RPH 3 nos municípios de Duque Bacelar, Coelho Neto e Afonso Cunha que são municípios próximos, tem-se 1 registro na RPH 4 no município de Nova Iorque (FIGURA 75). Segundo dados informados pela Avaliação de Dados (AVADAN) disponibilizado no S2iD, o evento ocorreu no dia 28 de janeiro de 2004, e esteve associado a inundação em lavouras próximas a Barragem Boa Esperança, não há muitos detalhes sobre o evento no AVADAN.

A história deste município tem um aspecto bem interessante relacionado aos desastres, primeiro que há registros em 1929 de enchentes do rio Parnaíba, sendo necessário a construção da cidade em outro local e na década de 1960 com a construção da Hidrelétrica de Boa Esperança, a cidade fora inundada novamente pelo lago artificial formado na área (SOUSA, 2008). Nova Iorque possui cerca de 4.590 habitantes, com problemas muito

semelhantes de outros pequenos municípios do estado, com a precária ou ausência de infraestrutura urbana (IBGE, 2012).

Figura 75 – Distribuição espacial por ano das Portarias Federais de Alagamentos



Fonte: SEDEC (2021), elaborado pelo autor.

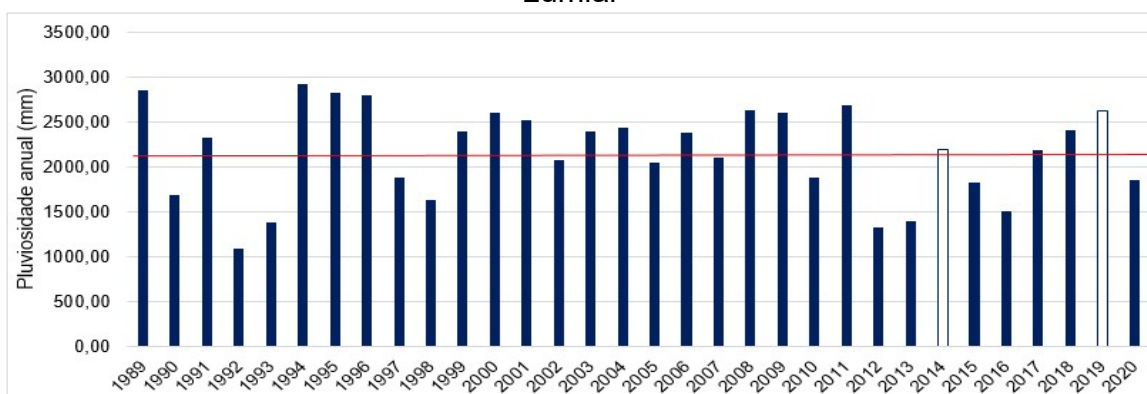
Em 2014, houve apenas um registro em Paço do Lumiar, que dentre os municípios com este tipo de registro é o que possui a maior população, em torno de 105.121 habitantes, localiza-se na região metropolitana da Grande São Luís (IBGE, 2012). No ano de 2018 ocorreram dois registros: Brejo (RPH 3) e Lago do Rodrigues (RPH 2). Em 2019, foram dois registros, um novamente em Paço do Lumiar e outro em Araisos, na extremidade do litoral oriental. Um registro também em 2020 já no extremo litoral ocidental no município de Carutapera (RPH 1).

Dentre os municípios com registros de alagamentos, destacou-se o município de Paço do Lumiar, com dois registros de alagamentos, um em 2014 e outro no ano de 2019. Como já mencionado, este município possui um contingente populacional bastante expressivo, sendo o terceiro município mais populoso da região metropolitana da Grande São Luís. Possui 54,6% de

esgotamento sanitário considerado adequado pelo IBGE e 11,2% com urbanização de suas vias públicas (IBGE, 2021).

Analisando então a distribuição dos acumulados anuais (1989-2020) dos dados do CHIRPS, observa-se que nos anos com registro de inundação houve acumulado superior à normal climatológica (2.169,8mm), em 2014 registrou um acumulado de 2.191,09mm e 2019 com 2.625,1mm (GRÁFICO 26).

Gráfico 26 – Distribuição da pluviosidade anual do município de Paço do Lumiar

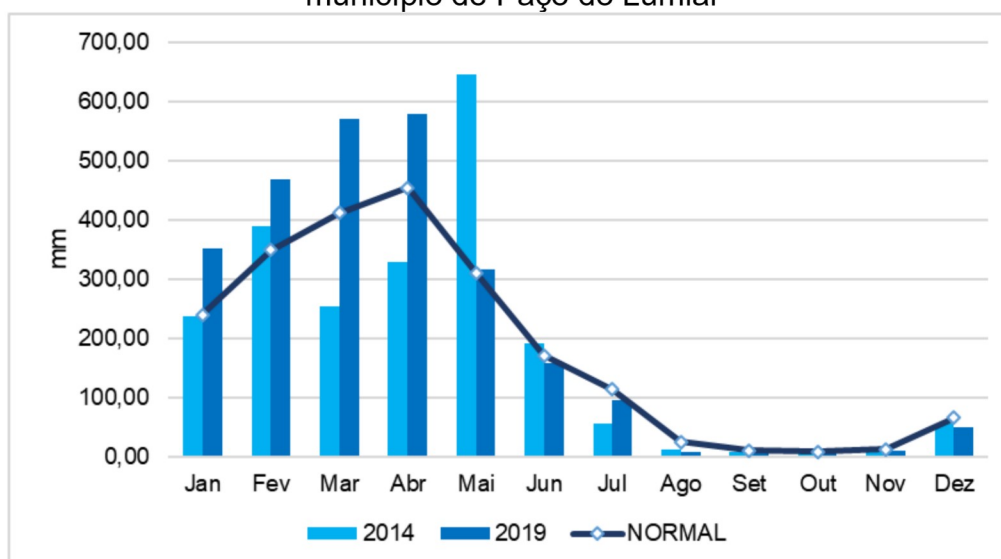


Fonte: USGS (2021), elaborado pelo autor.

A partir da busca no S2iD, encontrou-se no Formulário de Informações do Desastre (FIDE) do evento de 2014, já de 2019 encontrou-se apenas a data de publicação do decreto (27/03/2019). No FIDE é informado que o evento de 2014 ocorreu no dia 24 de maio de 2014, afetando áreas urbanas e rurais no município. Como justificativa para o pedido, foi informado que naquele mês já havia chovido 135mm no dia 10 e que com os acumulados de 34,2mm em 24 de maio a situação foi agravada.

Analisando a distribuição mensal das chuvas a partir de dados mensais do CHIRPS para os anos de 2014 e 2019, observa-se que em 2014 houve um volume superior a normal nos meses de fevereiro e maio, sendo que os acumulados nestes meses foram, respectivamente, 389,02mm e 645,05mm. Em 2019, nota-se que entre janeiro e maio, todos os meses foram acima da normal (GRÁFICO 27).

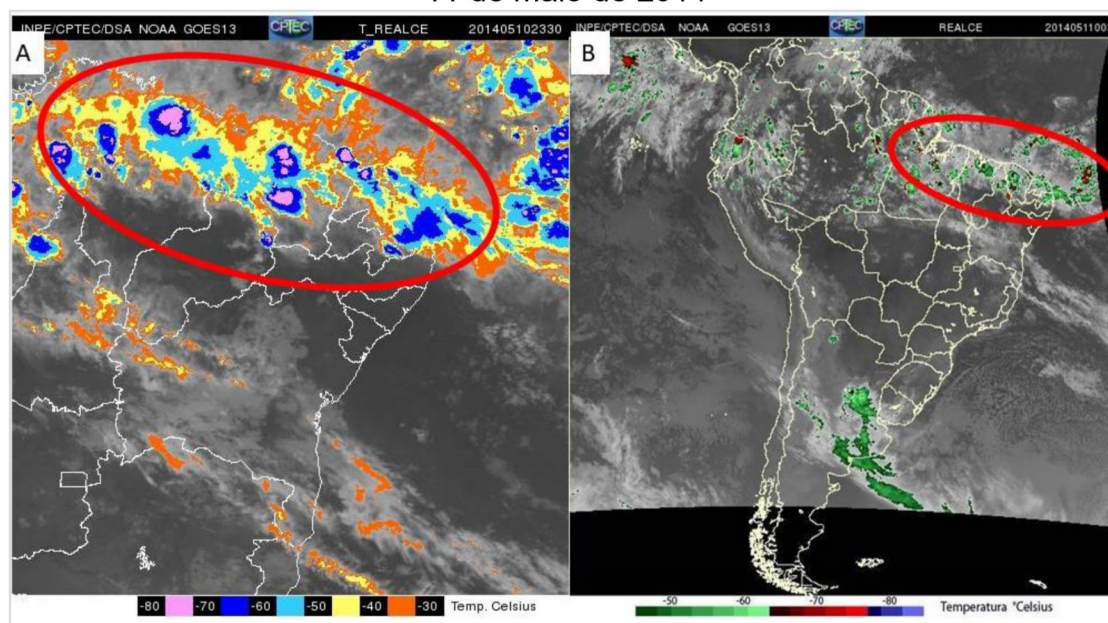
Gráfico 27 – Distribuição Mensal dos dados do CHIRPS de 2014 e 2019 no município de Paço do Lumiar



Fonte: USGS (2021), elaborado pelo autor.

O trabalho de Garcês Júnior *et al.* (2016) analisou o mês de maio de 2014 com dados da estação meteorológica da INMET em São Luís, cidade vizinha de Paço do Lumiar, e constatou que no dia 11/05/2014 houve um acumulado de 181,6mm, este evento foi ocasionado, segundo o autor, pela forte atuação da ZCIT sobre o norte do Maranhão, provocando volumes expressivos durante todo mês de maio de 2014 (FIGURA 76).

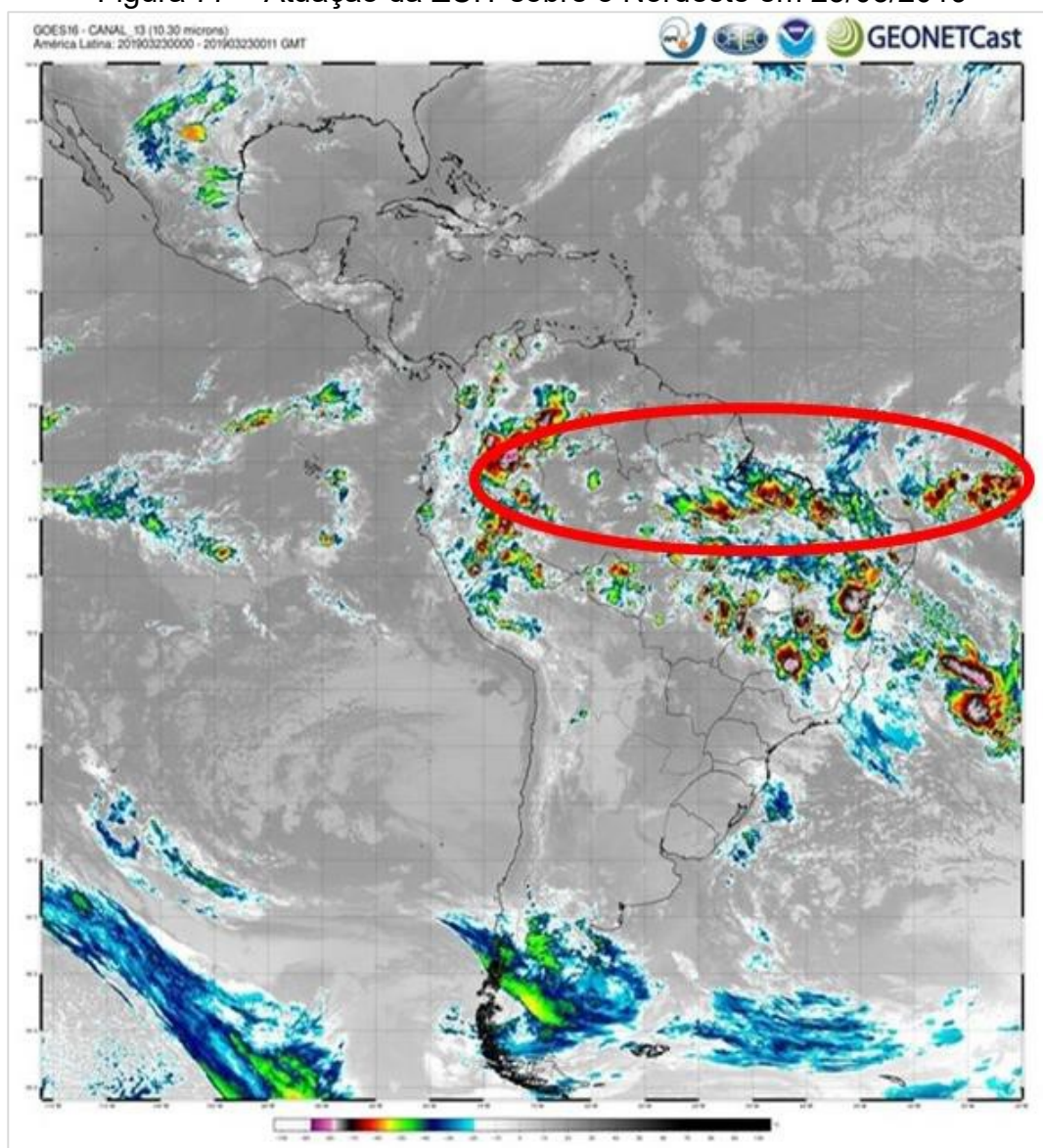
Figura 76 – Atuação da ZCIT sobre o norte do Nordeste brasileiro nos dias 10 e 11 de maio de 2014



Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2014). (A) Imagem do satélite GOES-13, canal T_realce do dia 10/11/2014 com recorte para o Nordeste. (B) Imagem do satélite GOES-13, canal Realce do dia 11/05/2014

Em 2019, segundo os dados do INMET para estação de São Luís, o acumulado de chuva no mês de março foi de 570,3mm, sendo que entre os dias 23 e 24 de março choveu cerca de 236,2mm, esta foi considerada a maior chuva em 24h já registrada numa série de 48 anos, correspondendo a 51% do acumulado normal para este mês nesta estação meteorológica. É possível notar a atuação da ZCIT sobre a porção norte do estado do Maranhão no dia 23 de março de 2019 (FIGURA 77).

Figura 77 – Atuação da ZCIT sobre o Nordeste em 23/03/2019

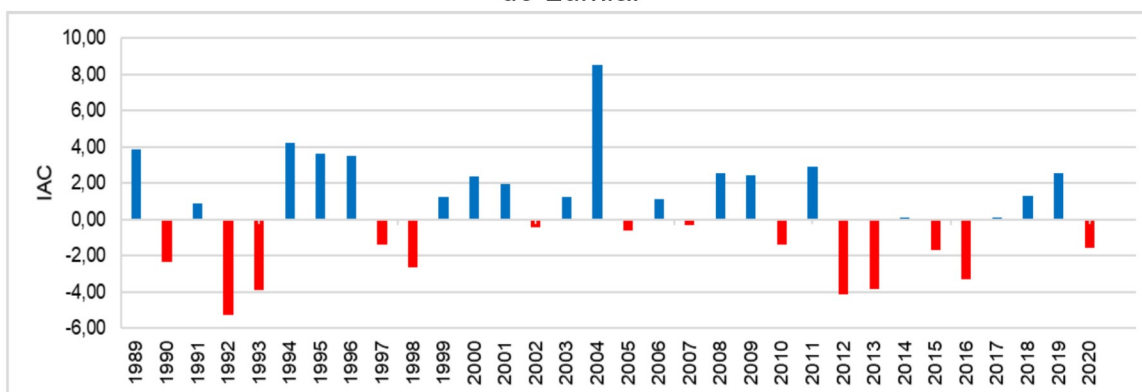


Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2019). Imagem do satélite GOES-16, canal 13 do dia 23/03/2019.

Os dados do IAC de Paço do Lumiar classificou o ano de 2014 como sendo um ano úmido, enquanto que 2019 considerado muito úmido. Na série

analisada, destaca-se o ano de 2004 considerado extremamente úmido e 1992 como extremamente seco (GRÁFICO 28).

Gráfico 28 – Índice de Anomalia de Chuva (1989-2020) do município de Paço do Lumiar



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise integrada entre as repercussões no espaço a partir dos registros de desastre permitiu identificar que estes eventos estiveram relacionados com as condições climáticas no ano e período de registro. Ressaltando que além do IAC e análise sinótica, é preciso considerar as condições ambientais e sociais de cada município como indutor ou resposta a vulnerabilidade a desastre ou mesmo as mudanças que ocorrem no campo climático.

14 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização desta pesquisa só foi possível devido a utilização de dados CHIRPS, desta forma ressalta-se que ausência de dados meteorológicos com boa abrangência é uma das limitações para realização de pesquisas em climatologia no âmbito do estado do Maranhão, no que tange a análises de dados históricos isso é ainda mais difícil. Além da ausência de estações meteorológicas no estado, a manutenção das poucas que existem e organização dos bancos de dados existentes é posto como empecilho para realização de pesquisas na área.

Como saída para tal problema encontrou-se boa correlação entre dados CHIRPS e INMET, podendo os dados estimados de satélite serem utilizados nas análises climatológicas para o estado do Maranhão. As estações de São Luís, Bacabal, Caxias, Barra do Corda e Turiaçu apresentaram altas correlações, enquanto Zé Doca, Balsas, Colinas, Alto Parnaíba, Carolina, Chapadinha e Imperatriz apresentaram correlação forte, dentre estas Zé Doca apresentou a menor correlação.

A análise fatorial dos dados do CHIRPS entre 1989 e 2020 permitiu conhecer o padrão espacial e temporal da pluviosidade, foi possível extrair dois fatores, um fator que representa a porção centro-norte do estado, com chuvas distribuídas no primeiro semestre, entre janeiro e julho, e o segundo fator representando a porção do sul do estado, onde já se observa o início das chuvas nos meses de setembro e outubro.

A partir deste padrão espacial e temporal, e baseado na bibliografia escrita para o estado do Maranhão e para o Nordeste, identificou-se que a ZCIT é o principal sistema atmosférico atuante no estado do Maranhão, influenciando nas chuvas em todo estado, porém com maior influência nos volumes expressivos no norte do estado, sobretudo na porção noroeste. Além disso, destaca-se a influência da ZCAS da formação de nebulosidade na porção sul do estado, possibilitando que já nos meses de outubro e novembro haja volumes entre 70mm e 140mm/mês.

Considerando os dados normais mensais por municípios, fez-se a análise de agrupamento e foi possível identificar cinco regiões pluviométricas homogêneas. A RPH 1 compreendendo os municípios com maiores volumes

de chuvas e com mês de abril mais chuvoso. A RPH 2 com maior quantidade de municípios, 90, com altos volumes anuais, porém com o mês de março sendo o mais chuvoso. A RPH 3 caracterizado por municípios com períodos de estiagem com volumes abaixo de 10mm/mês nos meses de agosto e setembro. A RPH 4 que compreende a porção com menor volume de chuva do estado. E a RPH 5 que compreende a porção sul e alguns municípios do oeste nos quais, nos meses de outubro, novembro e dezembro já são registrados volumes de chuva.

Na análise de distribuição espacial das chuvas entre 1989 e 2020, destaca-se a concentração em vários anos de volume acima de 2.000mm na porção norte do estado, enquanto que municípios localizados na RPH 4, na porção central e leste do estado, tiveram em vários anos volumes abaixo de 1.000mm, esse padrão pode ser observado em 1990, 1993, 1998, 2007, 2011, 2012 e 2015.

Com análise do IAC foi possível identificar que os anos com maiores volumes de chuvas possuíam também maior quantidade de municípios considerados como muito úmido e extremamente úmido. Destacando-se os anos de 1989, 2009 e 2020, que tiveram respectivamente 95, 88 e 95 municípios considerados como extremamente úmido. Na análise do ano de 1989, identificou-se a influência de Dipolo Negativo e La Niña forte, 2009 caracterizou-se por El Niño moderado e Dipolo Negativo e 2020 tem-se ENOS neutro e Dipolo Negativo. Desta forma, indicando que embora as anomalias do Pacífico tenham sua influência no volume de chuvas no estado do Maranhão, são as anomalias do Atlântico que mais exercerão influência na caracterização da dinâmica das chuvas, sobretudo porque em anos mais chuvosos foram identificados fenômeno de Dipolo Positivo, ou seja, com anomalias negativas no Atlântico Tropical Sul nos meses que antecedem o período o chuvoso e até mesmo no período chuvoso.

Os anos de 1992 e 2012 foram identificados como os anos mais secos. Em 1992, 131 municípios foram considerados como extremamente secos, a maior quantidade da série analisada, neste ano as condições de TSM do Pacífico indicaram El Niño forte e no Atlântico Dipolo Positivo. Em 2012, foram 82 municípios considerados extremamente secos, predominando nos meses Dipolo Positivo e La Niña Fraca. Estas condições indicam que em anos

de Dipolo Positivo e ocorrência de El Niño, há diminuição considerável das chuvas e condições para situação de estiagens e seca, como ocorreu em 2002.

De maneira geral, o IAC permitiu verificar que em anos que a porção norte possui volumes de chuvas abaixo da normal, sendo considerado seco, muito seco ou extremamente seco, todo o estado do Maranhão possuirá a mesma característica, exceto no ano de 2020, isso deve ao fato de nestes anos a atuação da ZCIT estar enfraquecida, influenciada pela TSM no Atlântico, como pode ser observado em 2012, evidenciando que este além de ser o sistema que mais contribui para os altos volumes de chuvas na porção norte, também tem relevância nos volumes de chuvas das demais regiões.

Na análise das repercussões da dinâmica climática considerando os desastres, observou-se que há maior quantidade de registros de estiagens no estado, com 210 entre 2003 e 2020, seguido de Inundações/enchentes. De maneira geral, há maior quantidade de registros de estiagens nas RPH 2 e RPH 3 que são as regiões que também possuem a maior quantidade de municípios, porém destaca-se que na RPH 4 observou-se em vários anos volumes de chuvas abaixo de 1.000mm além de diversos municípios com IAC classificado como muito seco e extremamente seco.

Ainda sobre os registros de estiagens, destacam-se os municípios da RPH 3, que tiveram a maior frequência deste tipo de desastre, dentre eles, destacam-se os municípios de Coelho Neto, Duque Bacelar, Chapadinha e Anapurus.

Os maiores registros de inundações/enchentes encontram-se na RPH 2, esta área é caracterizada pela presença dos vales dos principais rios maranhenses, como Mearim e Itapecuru, atrelado ao processo de ocupação várias cidades estão localizadas às margens dos rios e desta forma é recorrente a deflagração de situação de emergência ligado a inundações/enchentes, destacando-se os municípios de Conceição do Lago-açu, Pedreiras, Trizidela do Vale e Arari.

Os anos de 2009 e 2020 foram os que mais registraram desastres associados a Inundações/enchentes, enquanto que em 2012 e 2013 observaram-se maior quantidade de estiagens. Ressalta-se que em 2009 e 2020 a maior parte dos municípios tiveram IAC considerado como úmido, muito úmido e extremamente úmido, enquanto que 2012 e 2013, muito seco e

extremamente seco. Desta forma, o IAC é uma metodologia que possibilita a comprovação da repercussão dos fenômenos climáticos, como a decretação de situação de emergência e estado de calamidade pública.

Sugere-se que para melhorar as análises relacionados aos desastres no estado do Maranhão, a criação de banco de dados acessíveis e organizados, da forma como já acontece com os decretos publicados no âmbito federal no Sistema Integrado sobre Desastres (S2ID), assim os decretos emitidos a nível municipal e pelo estado poderiam ser melhor aproveitados nas análises.

Além disso, é salutar a formulação de políticas públicas voltadas para o enfrentamento de questões relacionadas a variabilidade climática e a repercussões dos eventos climáticos, pois já se identificou que existem características socioambientais que prevalecem em determinadas regiões, como por exemplo na porção centro-leste do estado os volumes de chuvas são menores condicionando as estiagens, enquanto que em municípios localizados nas planícies e próximos aos vales de rios, como na porção centro-norte, tem-se problemas relacionados à inundação/enchentes.

Neste sentido, deve-se ainda propiciar o incentivo às pesquisas relacionadas aos estudos dos possíveis impactos das alterações do regime de chuva no estado, haja vista as os baixos indicadores sociais aumentam a vulnerabilidade a desastres no estado do Maranhão.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. DE O.; PEREIRA, P. DE C.; QUEIROZ, M. G. de.; SILVA, T. G. F. da; FERREIRA, J. M. da S.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N. Índice de anomalia de chuva para diferentes Mesorregiões do estado de Pernambuco. **Pensar Acadêmico**, Manhuaçu, v. 14, n. 1, p. 37-47, jan/jul, 2016.

ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. Estudo preliminar entre as chuvas no setor norte do Nordeste e os eventos El Niño – Oscilação Sul (ENOS). In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7., São Paulo. Anais [...]. São Paulo: 1992.*

ALVES, L. E. R.; GOMES, H. B.; CORREIA FILHO, W. L. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. de; GONÇALVES, L. G. G. de; HERDIES, D. L.; SILVA, F. D. dos S. Identificação das regiões pluviométricas homogêneas e início e fim da estação chuvosa na Bacia do Médio São Francisco (Brasil). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 22, n. 80 abr. 2021.

AMARAL, R.; GUTJAHR, M. R. **Desastres naturais**. 3^o ed. São Paulo: IG/SMA, 2015.

ANA. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado**. Brasília, DF: ANA: ENGECORPS/COBRAPE, v. 2 2010.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. A importância relativa do atlântico tropical sul e pacífico leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 22, n. 1, abril, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862007000100007 . Acesso em: 31 jul. 2019.

ARAGÃO, J. O. R. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bull Inst. Fr. Études Andines**, v.27, n.3, p.839-844, 1998.

ARAGÃO, L. S.; SOUSA, A. M. A.; OLIVEIRA, C. dos S.; BRITO, C. D. dos S. B. A GEOGRAFIA DA CIDADE DE PEDREIRAS – MA: uma análise da dinâmica socioespacial urbana. In: 63^a Reunião Anual da SBPC, 63., 2011, Goiânia. **Anais [...].** Goiânia, 2011. Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/resumos/resumos/4232.htm> . Acesso em: 06 jun. 2020.

ARCANGELI, A. O mito da terra: uma análise da colonização da Pré-Amazônia Maranhense. São Luís: UFMA/PPPG/EDUFMA, 1987.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. 2^a. ed. São Paulo: Difel, 1988.

BALDO, M. C. **Variabilidade Pluviométrica e a Dinâmica Atmosférica na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí – PR**. Tese (Doutorado em Geografia) –

Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Estadual Paulista, 2006.

BANDEIRA, I. C. N. Adequabilidades/potencialidades delimitações frente ao uso e à ocupação. In: BANDEIRA, I. C. N. **Geodiversidade do estado do Maranhão**. In: Organização Iris Celeste Nascimento. – Teresina: CPRM, 2013. 299 p. Cap.12, p. 159.

BARATTO, J. **Variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Alto Jacuí-RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Programa de pós-graduação em Geografia e Geociências, 2017.

BARBOSA, H. A. **Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

BARBOSA, Z. M. O Global e o Regional: A experiência de desenvolvimento no Maranhão contemporâneo. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, Universidade Regional de Blumenau, p. 113-128, 2013.

BARROS, J. R.; ZAVATTINI, J. A. BASES CONCEITUAIS EM CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, vol. 8, núm. 16, 2009.

BARROS, S. S. **Precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara: aspectos observacionais e de modelagem**. 2008. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, 2008.

BARROS, S. S.; OYAMA, M. D. Sistemas Meteorológicos Associados à Ocorrência de Precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 333-344, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/mxkzdnPbdnq8r9hFk4qxfND/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 25 ago. 2021.

BATTISTI, I. D. E.; SMOLSKI, F. M. da S. **Software R: Análise estatística de dados utilizando um programa livre**. Bagé, RS: Faith, 2019. Disponível em: <http://www.editorafaith.com.br/ebooks/grat/978-85-68221-44-0.pdf> . Acesso em: 03 de jan. 2021.

BAYISSA, Y.; TADESSE, T.; DEMISSE, G.; SHIFERAW, A. Evaluation of SatelliteBased Rainfall Estimates and Application to Monitor Meteorological Drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **Remote Sensing**, v. 9, n. 7, p. 669, 2017.

- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña**: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2003.
- BÖHRINGER, C., JOCHEM, P. E. P. Measuring the Immeasurable: A Survey of Sustainability Indices. **Ecological Economics**, v. 63, jun, 2007.
- BORSATO, V. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. 1 ed. Curitiba, PR: CRV, 2016.
- BOTELHO, A. C.; ALENCAR, F. A. G. de. Resistência nas chapadas do Baixo Parnaíba: conflitos de lógicas entre a silvicultura e os camponeses do povoado Todos os Santos em Urbano Santos-Maranhão. **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 71, Dossiê Agronegócios no Brasil, p. 550-572, Abril. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/1982-5153.2019v34n71p550/39349> . Acesso em: 03 mar. 2021.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Manual de Desastres**: desastres naturais. Volume 1. Brasília: 2003.
- BRASIL. **Instrução Normativa nº 1, 24 de agosto de 2012**. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. Diário Oficial da União, DF, seção 1, p. 30-39, 30 de ago. de 2012a.
- BRASIL. **Lei nº 12.608**, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC e dá outras providências. Diário Oficial da União, DF, 10 de abr. de 2012b.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC**. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2012c.
- BRASIL. **Instrução Normativa nº 2 de 20 de dezembro de 2016**. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências, 2016. Disponível: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/24789597/do1-2016-12-22-instrucao-normativa-n-2-de-20-de-dezembro-de-2016--24789506 . Acesso em: 04 jan. 2022.
- BURNETT, C. F. L. *et al.* **Planejamento e gestão de cidades no Maranhão: o executivo municipal e o controle do solo urbano**. São Luís: EDUEMA, 2016.

CABRAL, M. do S. C. **Caminhos do gado: conquista e ocupação do sul do Maranhão**. São Luís: SIOGE, 1992.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Tradução. [s.l.] Artmed Editora, 2009.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. ESTRATIGRAFIA E SEDIMENTAÇÃO DA BACIA SANFRANCISCANA: UMA REVISÃO. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27(3):269-282, setembro de 1997.

CANE, M. A. Understanding and predicting the world's climate system. In: Impacts of El Niño and climate variability on Agriculture. **ASA Special Publication**, Madison, 2001, p.1-20.

CASTELHANO, F. J.; PINHEIRO, G. M.; ROSEGHINI, W. F. F. Correlação entre Precipitação Estimada por Satélite e dados de Superfície para Aplicação em Estudos Climatológicos. **Geosul**, Florianópolis, v. 32, n. 64, p. 179-192, mai./ago. 2017.

CASTRO, A. L. C de. **Glossário de Defesa Civil**: Estudos de riscos e medicina de desastres. 5ª ed. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2004.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. **Influência da Circulação da escala Sinótica na Circulação da Brisa Marítima na Cota NNE da América do Sul**. São José dos Campos, INPE, 1982.

CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; DIAS, M. A. F. da S. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CEPED, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais**: 1991 a 2012. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED, UFSC, 2013.

CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2016. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/DesertificacaoWeb.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2021.

CNM, Confederação Nacional dos Municípios. **Estudo – Proteção E Defesa Civil / Estudos Técnicos**. 2018. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/documentos/Decretacoes-de-anormalidades-causadas-por-desastres-nos-Municipios-Brasileiros-10-10-2018-v2.pdf> . Acesso em: 25 mar. 2021.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 4, n. 11, p. 34-40, nov. 1989. Disponível em: <http://urlib.net/rep/6qtX3pFwXQZ3r59YCT/GTiGB> . Acesso em: 25 ago. 2020.

COIMBRA, A. M., RICCOMINI, C., SANT'ANNA, L. G., VALARELLI, J. V. Bacia de Curitiba: estratigrafia e correlações regionais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39., Salvador. **Anais** [...]. Salvador-BA: SBG, 1996.

Condie, K. C. **Plate Tectonics and Crustal Evolution**. New York, Pergamon Press, 1982.

CORREIA FILHO, F. L.; GOMES, E. R.; NUNES, O. O.; LOPES FILHO, J. B. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de Marajá do Sena. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15526> . Acesso em: 06 nov, 2021.

COSTA, A. de S. **Modulação regional das chuvas no estado do Maranhão**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Campina Grande-PB, 2016.

COSTA, J.; PEREIRA, G; SIQUEIRA, M. E; CARDOZO, F.; SILVA, V. V. da. Validação dos dados de Precipitação estimados pelo Chirps para o Brasil. **Revista brasileira de climatologia**. Ano 15, vol. 24, 2019.

COUTINHO, E. C.; FISCH, G. Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) na região do Centro de Lançamento de Alcântara – MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, p. 193-203, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/h9vRBKzRfhPCQf47fzkXGHx/?lang=pt> . Acesso em: 08 set. 2020.

CPTEC, Centro de Previsão e Estudos Climáticos. Boletim Climanálise. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Volume 23, nº1, Janeiro/2008.

CPTEC, Centro de Previsão e Estudos Climáticos. Boletim Climanálise. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Volume 24, nº1, Janeiro, 2009.

CPTEC, Centro de Previsão e Estudos Climáticos. Boletim Climanálise. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Volume 27, nº1, Janeiro, 2012.

CPTEC, Centro de Previsão e Estudos Climáticos. Boletim Climanálise. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Volume 28, nº1, Janeiro, 2013.

CRUZ, J. da. **Ecología social de los desastres**. Montevideo: Coscoroba, 2003.

CUNHA, G. R. El Niño Oscilação Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas de soja no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n.2, p. 277-284, Jul-Dez, 1999.

CUNHA, M. **Semiárido pode ganhar 44 novos municípios**. Agência Senado, Brasília, 10 jun. 2019. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/audios/2019/06/semiariado-pode-ganhar-44-novos-municipios> . Acesso em: 09 set. 2020.

CUPOLILLO, F. **Diagnóstico hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, 2008.

DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; BANDEIRA, I. C. N.; SOUZA, L. V. de.; RENK, J. F. C. Compartimentação geomorfológica. In: BANDEIRA, I. C. N. (Org). **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.

DUBREUIL, V. *et al.* Monitoramento de secas na Bretanha: reconstituição histórica e abordagem por teledeteção. **Revista Mercator**, v. 9, n. especial (1), 2010:

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Relatório do diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico do Estado do Maranhão**. Campinas, SP: Embrapa, 2013. Disponível em: http://homologacao.zee.ma.gov.br/wp-content/uploads/2021/11/relatorio_diagnostico_v2_macrozeema.pdf . Acesso em: 19 jan. 2022.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Guia de Campo da XIII Reunião Brasileira de correlação e Classificação de solos**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, São Luís, MA, 2020. 485 p. Cap 1, p.20. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1127220/guia-de-campo-da-xiii-reuniao-brasileira-de-classificacao-e-correlacao-de-solos-rcc-do-maranhao>. Acesso em: 06 nov. 2021.

ESCOBAR, G. C. J. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): Critério de Detecção para uso em Centros Operacionais de Previsão de Tempo. **Nota técnica**. INPE, São José dos Campos, 2019. Disponível em: <http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/01.07.12.08/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2021.

FÁVERO, L. P. et al. **Análise dos dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Primeira Edição. Rio de Janeiro. Elsevier. 2009.

FEDOROVA, N. **Meteorologia sinótica**. Pelotas: UFPEL, 1999.

FEITOSA, A. C.; TROVÃO, J. R. **Atlas Escolar do Maranhão: espaço geográfico e cultural**. João Pessoa: Editora Grafset, 2006.

FEITOSA, A. C. RELEVO DO ESTADO DO MARANHÃO: UMA NOVA PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO TOPOMORFOLÓGICA. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6., Goiânia. **Anais [...]** Goiânia-GO, SINAGEO,

2016. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/6/11/476.pdf> . Acesso em: 06 mai. 2020.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da 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**, vol. 1, ano 1, 2005. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25215/16909> . Acesso em: 03 jun. 2019.

FERREIRA, A. J. de A. **Políticas territoriais e a organização do espaço maranhense**. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2008.

FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; DIAS, M. A. F. S. Composição da zona de convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 89-98, 2004.

FIELD, A. **Descobrimos a Estatística usando o SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

FIELD, A.; MILES, J.; FIELD, Z. **Discovering statistics using R**. Sage Publications, 2012.

FIGUEIREDO FILHO, D. B. *et al.* Precisamos falar sobre métodos quantitativos em Ciência Política. **Revista Latinoamericana de Metodología de la Investigación Social**, v. 6, n. 11, p. 21-39, 2016.

FLORES, E. F. **Modelagem em climatologia geográfica: um ensaio metodológico aplicado ao Oeste Paulista**. Tese (Doutorado em Geociências e Ciências Exatas) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

FORSDYKE, A. G. **Previsão do tempo e clima**. São Paulo: Melhoramentos/Edusp, 1975.

GALLARDO, A. Geostatística. **Ecosistemas**, Mósteles, v. 15, n. 3, p. 1-11, 2006.

GALVANI, E.; LIMA, N. G. B de (org). **Climatologia aplicada: resgate aos estudos de caso**. 1. Ed. Curitiba: editora CRV, v. 1, 2012.

GARCES JÚNIOR, A. R.; MARQUES, L. R.; TORRES, M. A. N.; AQUINO JUNIOR, J. ANÁLISE DE UM EPISÓDIO DE PRECIPITAÇÃO INTENSA NO ANO DE 2014 NA CIDADE DE SÃO LUÍS - MA. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 12., 2016, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: UFG. p. 1047-1059. Disponível em: [http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20\(20\).pdf](http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20(20).pdf) . Acesso em: 03 jun. 2020.

GIANNINI, A.; SARAVANAN, R.; CHANG, P. The preconditioning role of Tropical Atlantic variability in the development of the ENSO teleconnection: implications for the prediction of Nordeste rainfall. **Climate Dynamics**, v. 22, p. 839-855, 2004.

GLANTZ, M. H. Introduction. In: GLANTZ, M. H.; KATZ, R. W.; NICHOLLS, N. (org). **Teleconnection linking worldwide climate anomalies**. New York: Cambridge University, 2001.

GÓES, A. M. **A formação Poti (Carbinífero inferior da bacia do Parnaíba)**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Universidade de São Paulo, 1995.

GÓES, A. M.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 57-67, jan./mar, 1994.

GOUDARD, G. **Eventos pluviiais extremos e riscos hidrometeorológicos Híbridos na Bacia do Alto Iguaçu (Paraná)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

GUEDES, R. V. S.; MACEDO, M. J. H.; SOUSA, F. A. S. de. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro – RJ, v.1, n. 23, p. 55-65, 2012.

HAIR, J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HASTENRATH, S. Interannual variability and annul cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. **Monthly Weather Review**, v. 112, p. 1097-1107, 1984.

HERRMANN, M. L. de P. As contribuições do GEDN, e do LabClima, nas análises dos desastres socionaturais em Santa Catarina. **Cadernos Geográficos**, Santa Catarina, n.36, p.20-26, 2016.

HO, R. **Handbook of univariate and multivariate data analysis and interpretation with SPSS**. CRC Press, 2006.

HOUZE JR, R. A. Structure and dynamics of a tropical squall-line system. **Monthly Weather Review**, v. 105, n. 12, p. 1540-1567, 1977.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Macrocaracterização dos Recursos Naturais do Brasil**. PGI – Plataforma Geográfica Interativa, 2019a.

Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/macrocaracterizacao/> . Acesso em: 03 set. 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Províncias Estruturais Compartimentos de Relevo Tipos de Solos Regiões Fitoecológicas e Outras Áreas**. Rio de Janeiro: 2019b. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&id=2101648> . Acesso em: 03 set. 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019c.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal**, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html> . Acesso em: 30 jan. 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Séries históricas e estatísticas**. Disponível em: <https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=10&op=0&vcodigo=CD93&t=taxa-crescimento-anual-populacao-situacao-domicilio> . Acesso em: 08 dez. 2021.

INMET. **Normais climatológica do Brasil (1981-2010)**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais> . Acesso em: 03 dez. 2021.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; PESSÔA, S. C. P.; BURGOS, N.; MEDEIROS, L. A. R.; LOPES, O. F.; MELO-FILHO, H. F. R. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN, 1986. 2 v. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de pesquisa, 35; SUDENE-DRN. Recursos de solos, 17).

KAISER, H. F. Computer program for varimax rotation in factor analysis. **Journal of Educational and Psychological Measurement**, Hillsdade, v. 19, p. 413-420, 1959.

KAYANO, M. T. **Um estudo climatológico e sinótico utilizando dados de radiossondagem (1968-1976) de Manaus e Belém**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 1979.

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

KOUSKY, V. E.; KAGANO, M. T. A Climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon Region. **Acta Amazonica**, v.11, p. 743-753, 1981.

KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, United States of America, v. 108, n.4, p. 488-498, 1980.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 217-231, 1988.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2.ed., Editora UNESP, 2003.

LEMOS, J. de J. S. INCLUSÃO DO MARANHÃO NO SEMIÁRIDO: JUSTIFICATIVAS TÉCNICAS, ECONÔMICAS E SOCIAIS. In: I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 1., 2016, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande-PB, 2016.

LIMA JÚNIOR, H. M. **Colonização de Fronteira Agrícola: um modelo de desenvolvimento rural**. São Luís: PPG/EDUFMA, 1987.

LOPES, E. C. dos S.; TEIXEIRA, S. G. Contexto Geológico. In: BANDEIRA, I. C. N (Org). **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.

LOPES, G. M.; BARBIERI, P. R. B.; SANTOS, A. C. S. Influência de um vórtice ciclônico de ar superior no regime de chuvas do estado do Ceará em 2006 (estudo de caso). In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14., 2006, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: SBMET, 2006.

LUCENA, D. B.; SERVAIN, J.; GOMES FILHO, M. F. Evolução do impacto de eventos climáticos extremos nos oceanos Pacíficos e Atlântico sobre a estação chuvosa no Nordeste do Brasil. In: SERVAIN, J.; CAMPOS, J. N. B.; MARTINS, E. S. P. R.; REIS JR., D.S. **Clima do Atlântico Tropical e impactos sobre o Nordeste (CATIN)**. Climat de l'Atlantique tropical et impacts sur le Nordeste (CATIN). Série Oceanografia e Meteorologia da Funceme 1. Fortaleza Funceme, 2010. Disponível em: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-06/010050936.pdf . Acesso em: 15 mai. 2020.

MACHADO, L. A. T.; GUEDES, R. L.; ALVEZ, M. A. S. Características estruturais de sistemas convectivos e forçantes da convecção na América do Sul observados por satélites. **Climaanálise 10 anos**. CPTEC/INPE, p. 110-122, 1997.

MALFATTI, M. G. L.; CARDOSO, A. de O.; HAMBURGER, D. S. Identificação de Regiões Pluviométricas Homogêneas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná. **Revista Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 37, n. 2, p. 409 - 421, 2018.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. Trad. Laura Bocco. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MARANHÃO, Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. **Atlas do Maranhão**. São Luís: GEPLAN, 2002.

MARANHÃO, Governo do Estado do Maranhão. **Decreto Estadual 27.845 de 18 de novembro de 2011**. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, 2011a. Disponível em: <https://stc.ma.gov.br/legisla-documento/?id=4690> . Acesso em: 12 dez. 2021.

MARANHÃO, Governo do Estado do Maranhão. **Decreto nº 27.317, de 14 de abril de 2011**. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Estado do Maranhão, 2011b. Disponível em: <http://www.oads.org.br/leis/2503.pdf> . Acesso em: 03 nov. 2020.

MARANHÃO, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado do Maranhão**. São Luís: EDUEMA, 2012.

MARANHÃO, Secretaria de Estado das Cidades e Desenvolvimento Urbano – SECID. **PLANO DIRETOR DA BACIA HIDROGRÁFICA DO MEARIM. RESUMO DO DIAGNÓSTICO VOLUME II**, 2014. Disponível em: <https://secid.ma.gov.br/files/2014/10/RESUMO-DIAGNOSTICO-MEARIM-AP-v1.pdf> . Acesso em: 02 nov. 2021.

MARCELINO, E. V. Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. **Caderno Didático nº 1**. INPE/CRS, Santa Maria, 2008.

MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. **ANÁLISE FATORIAL**. Brasília: Enap, 2019.

MELLO, Y. R.; OLIVEIRA, T. M. N. Análise estatística e geoestatística da precipitação média para o município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 31, n.2, p. 229-239, 2016.

MELO JÚNIOR, J. C. F. de; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, P. A.; LEAL, B. G. Determinação de regiões homogêneas quanto à distribuição de frequência de chuvas no leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 10, n. 2, p. 408- 4016, 2006.

MENDONÇA, F. Geografia Socioambiental. **Revista Terra Livre**, São Paulo, n.16, p.139-158, 2001b.

MENDONÇA, F. Geografia socioambiental. In: MENDONÇA, F; KOZEL, S. (Org.). **Elementos de epistemologia da geografia contemporânea**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2002.

MENDONÇA, F. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n. 10, p.139-148, 2004.

MENDONÇA, F. **Geografia e Meio Ambiente**. São Paulo: Contexto, 2005.

MENDONÇA, F. Geografia, Geografia Física e Meio Ambiente: uma reflexão à partir da problemática socioambiental urbana. **Revista da ANPEGE**. v.5, 2009.

MENDONÇA, F. Riscos e Vulnerabilidades Socioambientais Urbanos: a contingência climática. **Revista Mercator**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 153-163, 2010.

MENDONÇA, F. Riscos, Vulnerabilidades e Resiliência socioambientais Urbanas: inovações na análise geográfica. **Revista da ANPEGE**. v. 7, n. 1, p. 111-118, 2011.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. v. 1. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

MENEZES, H. E. A.; SILVA, R. M.; ALVES, L. M.; CAMARGO JÚNIOR, H. Análise Subjetiva da Simulação de Precipitação do Modelo Eta Climático para o Nordeste do Brasil no Período entre Janeiro e Março de 2003. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 13, Santa Maria-RS. **Anais [...]**. Santa Maria-RS: SBA, p. 811-12, 2003.

MENEZES, R. H. N. de. **Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do Estado do Maranhão, Brasil**. Doutorado (Tese de Doutorado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2009.

MENEZES, R. H. N. de; DANTAS, R. T; SOUSA, de F. de A. S. Regiões pluviométricas homogêneas no estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 152-160, 2007.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira Meteorologia**, v. 17(1), p. 1-10, 2002.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O.; OLIVEIRA, C. P. Variabilidade da Circulação da Grande Escala Sobre o Atlântico Subtropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais[...]**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.

MOLION, L. C. B.; KOUSKY, V. E. Climatologia da Dinâmica da Troposfera Tropical sobre a Amazônia. **Acta Amazônica**, São José dos Campos, v. 15, n. 04, jun, 1985. Disponível em: <https://acta.inpa.gov.br/fasciculos/15-4/PDF/v15n4a04.pdf> . Acesso em: 06 jun. 2020.

MONROY, L. G. D.; GUILLERMO, L. **Estadística multivariada: inferencia y métodos**. 3 ed. Universidad Nacional de Colombia, 2012.

MONTEIRO, C. A. de 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, v. 31, n. 57, p. 29-44, 1962.

MONTEIRO, C. A. de F. **Análise rítmica em Climatologia**. São Paulo: USP/IG. Climatologia 1. 1971a.

MONTEIRO, C. A. de F. Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. **Climatologia**, São Paulo, n. 1, p. 1-21, 1971b.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1976.

MONTEIRO, J. B. **Desastres naturais no estado do Ceará: uma análise de episódios pluviométricos extremos**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza-CE, 2016.

MONTEIRO, J. B. **Desastres Naturais no Estado do Ceará: uma análise de episódios pluviométricos extremos**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. Desnaturalizando o Desastre: As diferentes Concepções Teóricas que envolvem o conceito de Desastre Natural. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 21, n. 1, p. 40-54, 28 jun. 2019. Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/437> . Acesso: 15 mar. 2021.

MORAES, M. de P. C.; NERY, J. T. Análise da variabilidade pluvial na unidade de gerenciamento de recursos hídricos do Paraíba do Sul (UGHRI-2). **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 10, Vol. 14, jan/jul, 2014.

MOURA, B. de A.; ARAGÃO, J. O. R. de; MELO, J. S. P. de.; SILVA, A. P. da; GIONGO, P. R.; LACERDA, F. F. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. *Meteorologia e Climatologia agrícola*. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13 (4), Ago, 2009.

NASCIMENTO JÚNIOR, L. Perspectivas da Variabilidade Climática. **Geografia em Questão**, v.10, n. 01, 2017.

NASCIMENTO, F. da C. A. do; ARAÚJO, F. R. da C. D.; BRAGA, C. C.; COSTA, E. V. da S. Análise dos Padrões Espaciais e Temporais da Precipitação no Estado do Maranhão-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08 n. 02, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233400> . Acesso em: 03 fev. 2020.

NASCIMENTO, F. das D. A. do; BRAGA, C. C.; ARAÚJO, F. R. da C. Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, 375-386, 2017.

NCDC/NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **ENSO: Cold and warm episodes by season**. On line. Disponível em:

https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php . Acesso em: 05 jan. 2022.

NOAA/NCEP, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Monthly Sea Surface Temperature Anomaly**, On line. Disponível em: http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Ocean_Temp/Anomaly.html?T=Aug%202021 . Acesso em: 13 jan. 2021.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. TENDÊNCIA DE TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE DO MAR NOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO E VARIABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO EM PERNAMBUCO. **Revista Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 107 a 118, apr. 2014.

NÓBREGA, R. S.; CHAGAS, G. A.; SANTIAGO, F. Tendência de Temperatura na Superfície do Mar nos Oceanos Atlântico e Pacífico e Variabilidade de Precipitação em Pernambuco. **Revista Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 107-118, jan./abr. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/XrnzPZnmGvKRnHxMNTnfrpj/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 09 mai. 2020.

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**. Ano 12, v. 18, jan/jun, 2016.

NOGUEIRA, V. de F. B.; NOGUEIRA, V. da S.; CORREIA, M. de F.; BRAGA, C. C. Variabilidade Espaço-Temporal da Razão de Mistura para Estações do estado do Maranhão através da Análise Multivariada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 07, n. 05 (Número Especial-VIWMCRHPE), p. 978-989, 2014.

NORONHA, G. C.; HORA, M. de A. G. M DA; SILVA, L. P. da. Análise do Índice de Anomalia de Chuva para a Microbacia de Santa Maria/Cambiocó, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, 74-81, 2016.

NUNES, K. C. Interpretação Integrada da Bacia do Parnaíba com Ênfase nos Dados Aeromagnéticos. In: Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 3., Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBGF, 1993.

OLÍMPIO, J. L. S. **Análise multicritério do Risco de Desastres Naturais**: um estudo sobre a seca na região Nordeste do Brasil. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2017.

OLIVEIRA, A. M. N. de. **Desenvolvimento urbano em pequenos municípios de recente emancipação**: gestão urbana em Marajá do Sena, MA. Monografia (Graduação em Arquitetura) - Curso de Arquitetura, Universidade Estadual do Maranhão, 2015.

OLIVEIRA, G. S. **O El Niño e você – o fenômeno climático**. São José dos Campos: Transtec, 2001.

PAIVA, M. P. **Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranico na bacia do rio Doce**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

PESQUERO, J. F.; NOBRE, C. A.; MARENGO, J. Um sistema simples de identificação da Zona de Convergência do Atlântico Sul em rodadas longas de mudanças climáticas. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 16., 2010, Belém. **Anais [...]**. Belém: SBMET, 2010.

PHILANDER, S. G. El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. **Academic Press**, New York, 1990.

PICCININI, M. R. D. **Distribuições de probabilidade de precipitação de intensidade máxima para Piracicaba, SP**. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agrônômica) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

PNUD, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano dos Municípios**, 2013. Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/atlas-do-desenvolvimento-humano/atlas-dos-municipios.html> . Acesso em: 03 mai. 2020.

PRESOTI, A. E. P. **Avaliação de Impactos Ambientais da Sojicultura em um Ecossistema Aquático da Microrregião de Chapadinha, MA**. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas), Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas, São Luís: 2008.

RAO, V. B.; LIMA, M. C.; FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 6, 1754-1763, 1993.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. DA; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 185 - 204, 2010.

RENCHER, A. C. **Methods of multivariate analysis**. John Wiley & Sons, 2003.

RESCHKE, G. A.; FISCH, G. A. Caracterização de Distúrbios Ondulatórios de Leste em Alcântara. Estudo de Caso: Parte 1. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília. **Anais [...]**. Brasília, 1998.

RIBEIRO, E. P. **Mudanças ambientais e desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

ROCHA, R. G. O PROCESSO DE OCUPAÇÃO DO SUL DO MARANHÃO: Dinamismo econômico e des(re)ordenamento territorial. **Revista InterEspaço**, v. 1, n. 1, p. 5-26, 2015.

ROMERO, G.; MASKREY, A. Como entender los desastres naturales. In: MASKREY, Andrew (comp.). **Los desastres no son naturales**. Colombia: LA RED, 1993. p. 6-10. E-book. Disponível em: <http://www.lared.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf> . Acesso em: 02 fev. 2021.

ROOY, M. P V. A Rainfall Anomaly Index (RAI), Independent of the Time and Space.. Notes. **Weather Bureau of South Africa**, v.14, p.43-48, 1965.

ROOY, M. P.V. **A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space**. Notes, v.14, p.43, 1965.

ROSS; J. L. S. Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 4, FFLCH/USP, São Paulo, 1985.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologias**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

SACRAMENTO NETO, O. B.; ESCOBAR, G. C. J.; DIAS DA SILVA, P. E. Método objetivo para identificar episódios de Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 16., Belém – PA. **Anais [...]**. Belém: SBMET, 2010.

SANCHES, F. de O.; VERDUM, R. FISCH, G. O índice de anomalia de chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 15, n. 51, p. 73–84, set, 2014.

SANT'ANNA NETO, J. L. Por uma Geografia do Clima: antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**, São Paulo, n. 17, p. 49-62, 2001. Disponível em: <http://www2.fct.unesp.br/docentes/geo/joaolima/clima2012/texto%202%20joaolima.pdf> . Acesso em: 28 dez. 2021.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da climatologia geográfica a geografia do Clima: Gênese, paradigmas e aplicação do clima como fenômeno geográfico. **Revista da Anpege**, v. 4, p. 1-18, 2008.

SANT'ANNA NETO, J. L. As matrizes da Construção da climatologia geográfica brasileira. In: MONTEIRO, C. A. de F *et al* (org). **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. Campinas, SP: editora Alínea, 2015.

SANTOS, D. A. S.; MEDEIROS, L. A. de; CARVALHO, M. A. D. TERMODINÂMICA DA FORMAÇÃO DAS CHUVAS. In: Seminário de Iniciação Científica, 5., 2016, Montes Claros. **Anais [...]**. Montes Claros: IFNMG, 2016,

Disponível em:

<https://www.ifnmg.edu.br/arquivos/2016/proppi/sic/resumos/f7544fc5-a45f-4ad8-b203-29a16323e104.pdf> . Acesso em: 30 jul. 2020.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. P.590. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 15 ago. 2021.

SANTOS, M. da S.; RODRIGUES, R. de Ávila. Índice de anomalia de chuva aplicado em Imperatriz – MA. In: Encontro Nacional de Geógrafos, 18, 2016, São Luís. **Anais [...]**. São Luís: UFMA, 2016.

SANTOS, M. E. de C. M.; CARVALHO, M. S. S. de. **Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís**. Rio de Janeiro: CPRM. Serviço Geológico do Brasil – DGM/DIPALE, 2009.

SARSTEDT, M.; MOOI, E. **A concise guide to market research**. The Process, Data, and Methods Using IBM SPSS Statistics. Springer, 2014.

SEIDEL, E. J.; MOREIRA JÚNIOR, F. de J.; NOAL, M. R. C. Comparação entre o método Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. **Ciência e Natura**, UFSM, 30 (1): 7- 15, 2008. Disponível em: <http://www2.assis.unesp.br/ffrei/Artigos/Compara%C3%A7%C3%A3o%20entre%20o%20m%C3%A9todo%20Ward%20e%20o%20m%C3%A9todo%20K-m%C3%A9dias%20no%20agrupamento%20de%20produtores%20de%20leite.pdf> . Acesso em: 16 jun. 2021.

SEMA, Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão. **Manual de Operação da Sala de Situação do Maranhão**, 2014. Disponível em: https://progestao.ana.gov.br/progestao-1/acompanhamento-programa/aplicacao-dos-recursos/acompanhamento-das-metas-de-cooperacao-federativa/manuais-de-salas-de-situacao/manual-de-operacao-da-sala-de-situacao_ma.pdf . Acesso em: 03 fev. 2021.

SILVA DIAS, P.; MARENGO, J. A. Águas atmosféricas. In: Rebouças, A. da C.; Braga Jr. B.; Tundisi, J. G. (ed.) **Águas doces no Brasil** - capital ecológico, usos múltiplos exploração racional e conservação. 2ns Ed. IEA/USP, 2002. p.65-116

SILVA, A. B. P. **Estudo de dois casos extremos de precipitação sobre a costa leste do nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), Maceió/AL, 2002.

SILVA, A. R.; SANTOS, T. S. dos; QUEIROZ, D. E DE; GUSMÃO, M. O.; SILVA, T. G. F. da. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. V. 02, N. 04, p.377-384, 2017.

SILVA, M. N. da; PEREIRA, A. T. R.; BEZERRA, D. da S.; PEREIRA, L.; ELOI, C. M. de A.; SANTOS, A. L. S. dos. A seca no Maranhão no período de 2010 a

2016 e seus impactos. **Parc. Estrat.**, Brasília-DF, v. 22 , n. 44, p. 119-138, jan-jun, 2017. Disponível em:

http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/848/776 . Acesso em: 08 ago. 2021.

SILVA, S. de A.; CANDEIAS, A. L. B.; GOMES, D. D. M.; SOUZA, W. M. de. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (PE/AL). **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 14, Vol. 23, jul/dez, 2018.

SILVA, V. de P. R. da.; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.2, 163 - 172, 2012.

SILVA, V. P. R.; BELO FILHO, A. F.; SILVA, B. B.; CAMPOS, J. H. B.C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.547-553, 2005.

SILVESTRE, M. R. **Técnicas estatísticas utilizadas em climatologia geográfica: diagnóstico e propostas**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2016.

SOARES, E. M. *Análise da distribuição mensal de probabilidade de precipitação na região de Cidade Gaúcha – Paraná*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26., Bonito – MS. **Anais [...]**. Bonito, 2007.

SOBREIRO, J. F. F.; STREHER, A. S.; SILVA, T. S. F. Análise Comparativa de Produtos Geoespaciais para Monitoramento de Precipitação em uma Região Montanhosa Tropical. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (org). **Os desafios da geografia Física na fronteira do conhecimento**. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, 2017.

SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas utilizando dados SRTM. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, jan./fev., 2010.

SORRE, M. Le Climat. In: SORRE, M. **Les Fondements de la Géographie Humaine**. Paris: Armand Colin, Chap. 5, p.13-43, 1951.

SOUSA, H. L. de. MEMÓRIAS DE NOVA IORQUE-MA: invenção imaginária de uma cidade. **Outros Tempos: Pesquisa Em Foco – História**, v. 5, n. 5, p, 39-58, 2008. Disponível em:

https://www.outrostempos.uema.br/index.php/outros_tempos_uma/article/view/221/158 . Acesso em: 04 jul. 2020.

SOUSA, J.R.A; ALMEIDA, R.M.B de; ROLIM, P.A.M. Influência do Dipolo do Atlântico nas precipitações do Leste da Amazônia/Litoral Norte Brasileiro (Macapá-AP, Belém-PA e São Luis-MA). In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., 2002. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu, 2002.

SOUZA, A.; FERNANDES, W. A.; ALBREZ, E. A.; GALVÍNCIO, J. D. Análise de Agrupamento da Precipitação e da Temperatura no Mato Grosso do Sul. **Acta Geográfica**, v. 6, n. 12, p. 109-124, 2012.

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

SOUZA, U. D. V.; SOARES, J. M. A; FEITOSA, A. C. Caracterização Geomorfológica do Povoado Ponta do Mangue-Lençóis Maranhenses. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6., Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia-Go, 2006. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/6/13/493.pdf> . Acesso em: 15 jun. 2020.

SUDENE, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Resolução nº 115, De 23 de Novembro de 2017**. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/739568/do1-2017-12-05-resolucao-n-115-de-23-de-novembro-de-2017-739564 . Acesso em: 30 mai. 2020.

THORNTHWAITTE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

TOMINAGA, L. K.; Desastres Naturais: Por que ocorrem? In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, do R. **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TORRES, T. P.; MACHADO, P. J. de O. **Introdução à Climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

TROVÃO, J. R. **O processo de ocupação do território maranhense**. São Luís: IMESC, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto alegre: ABRH/Rhama, v. 11, 2007.

UGARTE CAVIEDES, A M. Los desastres como fenómenos socionaturales: la vulnerabilidad como fenómeno social. In: UNIVERSIDAD DE CHILE. **Curso Vulnerabilidades ante desastres socionaturales**. Santiago: Uabierta, 2015. Disponível em: http://www.uabierta.uchile.cl/c4x/Universidad_de_Chile/UCH_24/asset/Leccion_1.2_vulnerabilidades.pdf . Acesso em: 26 mai. 2020.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2. Recife, Pernambuco, 2006. Disponível em: https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf . Acesso em: 15 jun. 2021.

VELHO, O. G. **Frentes de Expansão e Estrutura Agrária**. Rio de Janeiro: Editores, 1981.

VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G, Estudo Preliminar da Climatologia Dinâmica do Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1., 1986, Brasília. **Anais [...]**. Brasília, 1986.

VIRJI, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. **Monthly Weather Review**, v.109, p. 599-610, 1981.

XAVIER, T. de M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, P. L. da S.; SILVA DIAS, M. A. F. da. A Zona de Convergencia Intertropical – ZCIT e suas relações com a chuva no Ceará (1964-98). **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 15, n. 1, 27-43, 2000.

XAVIER, T. M. B. S. **Tempo de Chuva** - Estudos Climáticos e de Previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional, ABC Editora, Fortaleza-Ceará, 2001.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

ZANDONADI, L.; PASCOALINO, A. Distribuição Temporo Espacial das Chuvas nas Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ). **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.830-843, 2012.

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

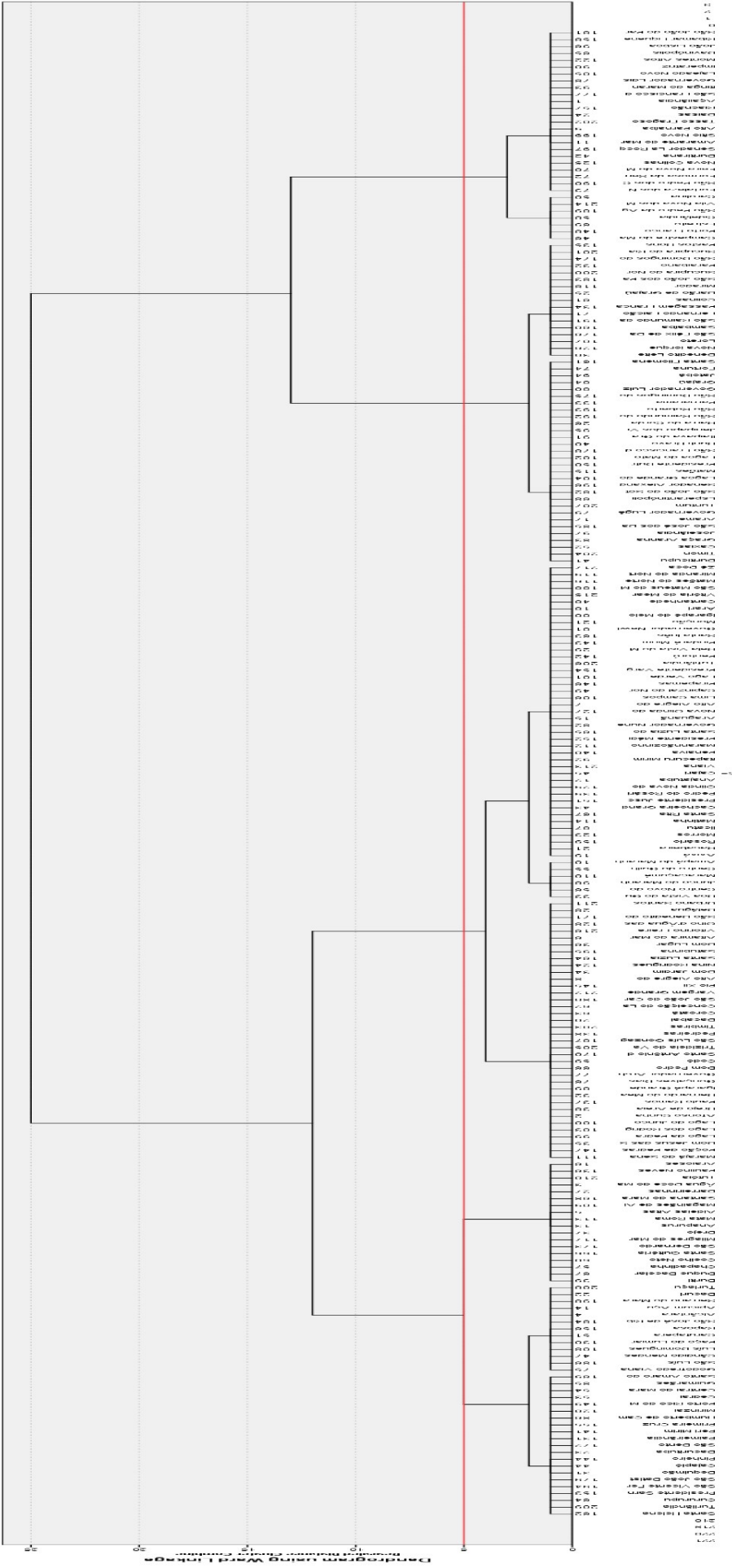
ZAVATTINI, J. A. A produção brasileira em climatologia: o tempo e o espaço nos estudos do ritmo climático. **Terra Livre**, 20: 65-100. São Paulo, 2003.

APÊNDICE A – MATRIZ ANTI-IMAGEM DE CORRELAÇÃO

Matriz anti-imagem												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan	,568 ^a	,165	,141	-,382	-,262	,081	-,049	-,193	-,054	,223	-,006	-,523
Fev	,165	,887 ^a	-,371	-,218	-,286	,034	,096	-,266	-,103	-,046	,100	-,264
Mar	,141	-,371	,841 ^a	-,469	,018	,317	-,437	-,029	-,099	,190	,281	-,381
Abr	-,382	-,218	-,469	,889 ^a	,109	-,331	,212	,251	,085	-,035	,122	,203
Mai	-,262	-,286	,018	,109	,904 ^a	-,546	,205	,048	-,224	,169	,230	,013
Jun	,081	,034	,317	-,331	-,546	,821 ^a	-,828	,004	,096	-,011	-,046	-,068
Jul	-,049	,096	-,437	,212	,205	-,828	,812 ^a	-,320	-,070	-,087	-,166	,310
Ago	-,193	-,266	-,029	,251	,048	-,828	-,320	,919 ^a	-,150	-,018	-,013	,090
Set	-,054	-,103	-,099	,085	-,224	,096	-,070	-,150	,868 ^a	-,308	-,093	-,067
Out	,223	-,046	,190	-,035	,169	-,011	-,087	-,018	-,308	,927 ^a	-,332	-,271
Nov	-,006	,100	,281	,122	,230	-,046	-,166	-,013	-,093	-,332	,896 ^a	-,569
Dez	-,523	-,264	-,381	,203	,013	-,068	,310	,090	-,067	-,271	-,569	,818 ^a

a. Measures of Sampling Adequacy (MSA)

APÉNDICE B - DENDOGRAMA







APÊNDICE C – LISTA DOS MUNICÍPIOS POR RPH






Região Pluviométrica Homogênea	Municípios
RPH 1	<p>Alcântara, Apicum-Açu, Bacuri, Bacurituba, Bequimão, Cajapió, Cândido Mendes, Carutapera, Cedral, Central do Maranhão, Cururupu, Godofredo Viana, Guimarães, Luís Domingues, Mirinzal, Paço do Lumiar, Palmeirândia, Peri Mirim, Pinheiro, Porto Rico do Maranhão, Presidente Sarney, Raposa, Santa Helena, São Bento, São João Batista, São José de Ribamar, São Luís, São Vicente Ferrer, Serrano do Maranhão, Turiaçu e Turiândia</p>
RPH 2	<p>Altamira do Maranhão, Alto Alegre do Maranhão, Alto Alegre do Pindaré, Amapá do Maranhão, Anajatuba, Araguaianã, Arari, Axixá, Bacabal, Bacabeira, Bela Vista do Maranhão, Belágua, Bernardo do Mearim, Boa Vista do Gurupi, Bom Jardim, Bom Jesus das Selvas, Bom Lugar, Brejo de Areia, Buriticupu, Cachoeira Grande, Cajari, Cantanhede, Capinzal do Norte, Centro do Guilherme, Centro Novo do Maranhão, Codó, Conceição do Lago-Açu, Coroatá, Dom Pedro, Gonçalves Dias, Governador Archer, Governador Newton Bello, Governador Nunes Freire, Humberto de Campos, Icatu, Igarapé do Meio, Igarapé Grande, Itapecuru Mirim, Junco do Maranhão, Lago da Pedra, Lago do Junco, Lago dos Rodrigues, Lago Verde, Lima Campos, Maracaçumé, Marajá do Sena, Maranhãozinho, Matinha, Matões do Norte, Miranda do Norte, Monção, Morros, Nina Rodrigues, Nova Olinda do Maranhão, Olho d'Água das Cunhãs, Olinda Nova do Maranhão, Paulo Ramos, Pedreiras,</p>


	<p>Pedro do Rosário, Penalva, Peritoró, Pindaré-Mirim, Pio XII, Pirapemas, Poção de Pedras, Presidente Juscelino, Presidente Médici, Presidente Vargas, Primeira Cruz, Rosário, Santa Inês, Santa Luzia, Santa Luzia do Paruá, Santa Rita, Santo Amaro do Maranhão, Santo Antônio dos Lopes, São Benedito do Rio Preto, São João do Carú, São Luís Gonzaga do Maranhão, São Mateus do Maranhão, Satubinha, Timbiras, Trizidela do Vale, Tufilândia, Urbano Santos, Vargem Grande, Viana, Vitória do Mearim, Vitorino Freire e Zé Doca</p>
RPH 3	<p>Afonso Cunha, Água Doce do Maranhão, Aldeias Altas, Anapurus, Araiões, Barreirinhas, Brejo, Buriti, Chapadinha, Coelho Neto, Duque Bacelar, Magalhães de Almeida, Mata Roma, Milagres do Maranhão, Paulino Neves, Santa Quitéria do Maranhão, Santana do Maranhão, São Bernardo e Tutóia</p>
RPH 4	<p>Arame, Barão de Grajaú, Barra do Corda, Benedito Leite, Buriti Bravo, Caxias, Collinas, Esperantinópolis, Feira Nova do Maranhão, Fortuna, Governador Eugênio Barros, Governador Luiz Rocha, Graça Aranha, Grajaú, Itaipava do Grajaú, Jatobá, Jenipapo dos Vieiras, Joselândia, Lagoa do Mato, Lagoa Grande do Maranhão, Loreto, Matões, Mirador, Nova Iorque, Paraibano, Parnarama, Passagem Franca, Pastos Bons, Presidente Dutra, Sambaíba, Santa Filomena do Maranhão, São Domingos do Azeitão, São Domingos do Maranhão, São Félix de Balsas, São Francisco do Maranhão, São João do Soter, São João dos Patos, São José dos Basílios, São Raimundo das Mangabeiras, São Raimundo do Doca Bezerra, São Roberto, Senador Alexandre Costa, Sucupira do Norte,</p>










	Sucupira do Riachão, Timon e Tuntum
<p style="text-align: center;">RPH 5</p>	Açailândia, Alto Parnaíba, Amarante do Maranhão, Balsas, Buritirana, Campestre do Maranhão, Carolina, Cidelândia, Davinópolis, Estreito, Fernando Falcão, Formosa da Serra Negra, Fortaleza dos Nogueiras, Governador Edison Lobão, Imperatriz, Itinga do Maranhão, João Lisboa, Lajeado Novo, Montes Altos, Nova Colinas, Porto Franco, Riachão, Ribamar Fiquene, São Francisco do Brejão, São João do Paraíso, São Pedro da Água Branca, São Pedro dos Crentes, Senador La Rocque, Sítio Novo, Tasso Fragoso e Vila Nova dos Martírios







ANEXO A - CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO BRASILEIRA DE DESASTRES (COBRADE)

GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADA	SÍMBOLO	
1. NATURAIS	1. Geológico	1. Terremoto	0	Vibrações do terreno que provocam oscilações verticais e horizontais na superfície da Terra (ondas sísmicas). Pode ser natural (tectônica) ou induzido (explosões, injeção profunda de líquidos e gás, extração de fluidos, alívio de carga de minas, enchimento de lagos artificiais).	1.1.1.1.0		
			0	Série de ondas geradas por deslocamento de um grande volume de água causado geralmente por terremotos, erupções vulcânicas ou movimentos de massa.	1.1.1.2.0		
		2. Emissão vulcânica	0	0	Produtos/materiais vulcânicos lançados na atmosfera a partir de erupções vulcânicas.	1.1.2.0.0	
		3. Movimento de massa	1. Quedas, tombamentos e rolamentos	1. Blocos	As quedas de blocos são movimentos rápidos e acontecem quando materiais rochosos diversos e de volumes variáveis se destacam de encostas muito íngremes, num movimento tipo queda livre. Os tombamentos de blocos são movimentos de massa em que ocorre rotação de um bloco de solo ou rocha em torno de um ponto ou abaixo do centro de gravidade da massa desprendida. Rolamentos de blocos são movimentos de blocos rochosos ao longo de encostas, que ocorrem geralmente pela perda de apoio (descaçamento).	1.1.3.1.1	
				2. Lascas	As quedas de lascas são movimentos rápidos e acontecem quando fatias delgadas formadas pelos fragmentos de rochas se destacam de encostas muito íngremes, num movimento tipo queda livre.	1.1.3.1.2	
				3. Matacões	Os rolamentos de matacões são caracterizados por movimentos rápidos e acontecem quando materiais rochosos diversos e de volumes variáveis se destacam de encostas e movimentam-se num plano inclinado.	1.1.3.1.3	
				4. Lajes	As quedas de lajes são movimentos rápidos e acontecem quando fragmentos de rochas extensas de superfície mais ou menos plana e de pouca espessura se destacam de encostas muito íngremes, num movimento tipo queda livre.	1.1.3.1.4	
			2. Deslizamentos	1. Deslizamentos de solo e/ou rocha	São movimentos rápidos de solo ou rocha, apresentando superfície de ruptura bem definida, de duração relativamente curta, de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude. Frequentemente, os primeiros sinais desses movimentos são a presença de fissuras.	1.1.3.2.1	


GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADA	SIMBOLOGIA	
1. NATURAIS	1. Geológico	3. Corridas demassa	1. Solo/Lama	Ocorrem quando, por índices pluviométricos excepcionais, o solo/lama, misturado com a água, tem comportamento de líquido viscoso, de extenso raio de ação e alto poder destrutivo.	1.1.3.3.1		
			2. Rocha / Detrito	Ocorrem quando, por índices pluviométricos excepcionais, rocha/detrito, misturado com a água, tem comportamento de líquido viscoso, de extenso raio de ação e alto poder destrutivo.	1.1.3.3.2		
		4. Subsídências e colapsos	0	Afundamento rápido ou gradual do terreno devido ao colapso de cavidades, redução da porosidade do solo ou deformação de material argiloso.	1.1.3.4.0		
		4. Erosão	1. Erosão costeira/Marinha	0	Processo de desgaste (mecânico ou químico) que ocorre ao longo da linha da costa (rochosa ou praia) e se deve à ação das ondas, correntes marinhas e marés.	1.1.4.1.0	
			2. Erosão de margem fluvial	0	Desgaste das encostas dos rios que provocam desmoronamento de barrancos.	1.1.4.2.0	
			3. Erosão continental	1. Laminar		Remoção de uma camada delgada e uniforme do solo superficial provocada por fluxo hídrico não concentrado.	1.1.4.3.1
		2. Ravinas			Evolução, em tamanho e profundidade, da desagregação e remoção das partículas do solo de sulcos provocada por escoamento hídrico superficial concentrado.	1.1.4.3.2	
		3. Boçorocas			Evolução do processo de ravinamento, em tamanho e profundidade, em que a desagregação e remoção das partículas do solo são provocadas por escoamento hídrico superficial e subsuperficial (escoamento freático) concentrado.	1.1.4.3.3	
		2. Hidrológico	1. Inundações	0	0	Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.	1.2.1.0.0
	2. Enxurradas		0	0	Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.	1.2.2.0.0	








		3. Alagamentos	0	0	Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.	1.2.3.0.0	
--	--	-------------------	---	---	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------	-------------------------------------------------------------------------------------



GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADA	SIMBOLOGIA	
1. NATURAIS	3. Meteorológico	1. Sistemas de grande escala/Escala regional	1. Ventos costeiros (mobilidade dunas)	Intensificação dos ventos nas regiões litorâneas, movimentando dunas de areia sobre construções na orla.	1.3.1.1.1		
			2. Marés de tempestade (ressaca)	São ondas violentas que geram uma maior agitação do mar próximo à praia. Ocorrem quando rajadas fortes de vento fazem subir o nível do oceano em mar aberto e essa intensificação das correntes marítimas carrega uma enorme quantidade de água em direção ao litoral. Em consequência, as praias inundam, as ondas se tornam maiores e a orla pode ser devastada alagando ruas e destruindo edificações.	1.3.1.1.2		
			0	Frente fria é uma massa de ar frio que avança sobre uma região, provocando queda brusca da temperatura local, com período de duração inferior à friagem. Zona de convergência é uma região que está ligada à tempestade causada por uma zona de baixa pressão atmosférica, provocando forte deslocamento de massas de ar, vendavais, chuvas intensas e até queda de granizo.	1.3.1.2.0		
		2. Tempestades	1. Tempestade local/Convectiva	1. Tornados	Coluna de ar que gira de forma violenta e muito perigosa, estando em contato com a terra e a base de uma nuvem de grande desenvolvimento vertical. Essa coluna de ar pode percorrer vários quilômetros e deixa um rastro de destruição pelo caminho percorrido.	1.3.2.1.1	
				2. Tempestade de raios	Tempestade com intensa atividade elétrica no interior das nuvens, com grande desenvolvimento vertical.	1.3.2.1.2	
				3. Granizo	Precipitação de pedaços irregulares de gelo.	1.3.2.1.3	
	4. Chuvas intensas			São chuvas que ocorrem com acumulados significativos, causando múltiplos desastres (ex.: inundações, movimentos de massa, enxurradas, etc.).	1.3.2.1.4		
	5. Vendaval			Forte deslocamento de uma massa de ar em uma região.	1.3.2.1.5		
	3. Temperaturas extremas	1. Onda de calor	0	É um período prolongado de tempo excessivamente quente e desconfortável, onde as temperaturas ficam acima de um valor normal esperado para aquela região em determinado período do ano. Geralmente é adotado um período mínimo de três dias com temperaturas 5°C acima dos valores máximos médios.	1.3.3.1.0		


GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADA	SIMBOLOGIA
3. Meteorológico		2. Onda de frio	1. Friagem	Período de tempo que dura, no mínimo, de três a quatro dias, e os valores de temperatura mínima do ar ficam abaixo dos valores esperados para determinada região em um período do ano.	1.3.3.2.1	
			2. Geadas	Formação de uma camada de cristais de gelo na superfície ou na folhagem exposta.	1.3.3.2.2	
4. Climatológico	1. Seca	1. Estiagem	0	Período prolongado de baixa ou nenhuma pluviosidade, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição.	1.4.1.1.0	
			0	A seca é uma estiagem prolongada, durante o período de tempo suficiente para que a falta de precipitação provoque grave desequilíbrio hidrológico.	1.4.1.2.0	
	3. Incêndio florestal		1. Incêndios em parques, áreas de proteção ambiental e áreas de preservação permanente nacionais, estaduais ou municipais	Propagação de fogo sem controle, em qualquer tipo de vegetação situada em áreas legalmente protegidas.	1.4.1.3.1	
			2. Incêndios em áreas não protegidas, com reflexos na qualidade do ar	Propagação de fogo sem controle, em qualquer tipo de vegetação que não se encontre em áreas sob proteção legal, acarretando queda da qualidade do ar.	1.4.1.3.2	
	4. Baixa umidade do ar		0	Queda da taxa de vapor de água suspensa na atmosfera para níveis abaixo de 20%.	1.4.1.4.0	
1. Epidemias		1. Doenças infecciosas virais	0	Aumento brusco, significativo e transitório da ocorrência de doenças infecciosas geradas por vírus.	1.5.1.1.0	







1. NATURAIS

			2. Doenças infecciosas bacterianas	0	Aumento brusco, significativo e transitório da ocorrência de doenças infecciosas geradas por bactérias.	1.5.1.2.0	
			3. Doenças infecciosas parasiticas	0	Aumento brusco, significativo e transitório da ocorrência de doenças infecciosas geradas por parasitas.	1.5.1.3.0	
			4. Doenças infecciosas fúngicas	0	Aumento brusco, significativo e transitório da ocorrência de doenças infecciosas geradas por fungos.	1.5.1.4.0	

	GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADA	SIMBOLOGIA
1. NATURAIS	5. Biológico	2. Infestações/ Pragas	1. Infestações de animais	0	Infestações por animais que alterem o equilíbrio ecológico de uma região, bacia hidrográfica ou bioma afetado por suas ações predatórias.	1.5.2.1.0	
			2. Infestações de algas	1. Marés vermelhas	Aglomeração de microalgas em água doce ou em água salgada suficiente para causar alterações físicas, químicas ou biológicas em sua composição, caracterizada por uma mudança de cor, tornando-se amarela, laranja, vermelha ou marrom.	1.5.2.2.1	
			3. Outras infestações	2. Cianobactérias em reservatórios	Aglomeração de cianobactérias em reservatórios receptores de descargas de dejetos domésticos, industriais e/ou agrícolas, provocando alterações das propriedades físicas, químicas ou biológicas da água.	1.5.2.2.2	
			3. Outras infestações	0	Infestações que alterem o equilíbrio ecológico de uma região, bacia hidrográfica ou bioma afetado por suas ações predatórias.	1.5.2.3.0	
2. TECNOLÓGICOS	1. Desastres relacionados a substâncias radioativas	1. Desastres siderais com riscos radioativos	1. Queda de satélite (radionuclídeos)	0	Queda de satélites que possuem, na sua composição, motores ou corpos radioativos, podendo ocasionar a liberação deste material.	2.1.1.1.0	
		2. Desastres com substâncias e equipamentos radioativos de uso em pesquisas, indústrias e usinas nucleares	1. Fontes radioativas em processos de produção	0	Escapamento acidental de radiação que excede os níveis de segurança estabelecidos na norma NN 3.01/006:2011 da CNEN.	2.1.2.1.0	
		3. Desastres relacionados com riscos de intensa poluição ambiental provocada por resíduos radioativos	1. Outras fontes de liberação de radionuclídeos para o meio ambiente	0	Escapamento acidental ou não acidental de radiação originária de fontes radioativas diversas e que excede os níveis de segurança estabelecidos na norma NN 3.01/006:2011 e NN 3.01/011:2011 da CNEN.	2.1.3.1.0	
	2. Desastres relacionados a produtos perigosos	1. Desastres em plantas e distritos industriais, parques e armazenamento com extravasamento de produtos perigosos	1. Liberação de produtos químicos para a atmosfera causada por explosão ou incêndio	0	Liberação de produtos químicos diversos para o ambiente, provocada por explosão/ incêndio em plantas industriais ou outrossítios.	2.2.1.1.0	

GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADA	SIMBOLÓGIA	
2. TECNOLÓGICOS	2. Desastres relacionados à contaminação da água	1. Liberação de produtos químicos nos sistemas de água potável	0	Derramamento de produtos químicos diversos em um sistema de abastecimento de água potável, que pode causar alterações nas qualidades físicas, químicas, biológicas.	2.2.2.1.0		
		2. Derramamento de produtos químicos em ambiente lacustre, fluvial, marinho e aquífero	0	Derramamento de produtos químicos diversos em lagos, rios, mar e reservatórios subterrâneos de água, que pode causar alterações nas qualidades físicas, químicas e biológicas.	2.2.2.2.0		
	3. Desastres relacionados a conflitos bélicos	1. Liberação de produtos químicos e contaminação como consequência de ações militares	0	Agente de natureza nuclear ou radiológica, química ou biológica, considerado como perigoso, e que pode ser utilizado intencionalmente por terroristas ou grupos militares em atentados ou em caso de guerra.	2.2.3.1.0		
	4. Desastres relacionados a transportes de produtos perigosos	1. Transporte rodoviário	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal rodoviário.	2.2.4.1.0		
		2. Transporte ferroviário	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal ferroviário.	2.2.4.2.0		
		3. Transporte aéreo	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal aéreo.	2.2.4.3.0		
		4. Transporte dutoviário	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal dutoviário.	2.2.4.4.0		
		5. Transporte marítimo	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal marítimo.	2.2.4.5.0		
		6. Transporte aquaviário	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal aquaviário.	2.2.4.6.0		
	3. Desastres	1. Incêndios urbanos	1. Incêndios em plantas e distritos industriais, parques e depósitos	0	Propagação descontrolada do fogo em plantas e distritos industriais, parques e depósitos.	2.3.1.1.0	

			2. Incêndios em aglomerados residenciais	0	Propagação descontrolada do fogo em conjuntos habitacionais de grande densidade.	2.3.1.2.0	
--	--	--	------------------------------------------	---	----------------------------------------------------------------------------------	-----------	-------------------------------------------------------------------------------------

2. TECNOLÓGICOS	GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADA	SIMBOLOGIA
	4. Desastres relacionados a obras civis	1. Colapso de edificações	0	0	Queda de estrutura civil.	2.4.1.0.0	
		2. Rompimento ou colapso de barragens	0	0	Rompimento ou colapso de barragens.	2.4.2.0.0	
	5. Desastres relacionados a transporte de passageiros e cargas não perigosas	1. Transporte rodoviário	0	0	Acidente no modal rodoviário envolvendo o transporte de passageiros ou cargas não perigosas.	2.5.1.0.0	
		2. Transporte ferroviário	0	0	Acidente com a participação direta de veículo ferroviário de transporte de passageiros ou cargas não perigosas.	2.5.2.0.0	
		3. Transporte aéreo	0	0	Acidente no modal aéreo envolvendo o transporte de passageiros ou cargas não perigosas.	2.5.3.0.0	
		4. Transporte marítimo	0	0	Acidente com embarcações marítimas destinadas ao transporte de passageiros e cargas não perigosas.	2.5.4.0.0	
		5. Transporte aquaviário	0	0	Acidente com embarcações destinadas ao transporte de passageiros e cargas não perigosas.	2.5.5.0.0	