

ISBN 978-65-87226-05-7

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO ESTADO DO MARANHÃO ENTRE JANEIRO E JUNHO DE 2020



IMESC SEPE



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO

**GOVERNADOR DO ESTADO
DO MARANHÃO**

Flávio Dino de Castro e Costa

**VICE-GOVERNADOR DO ESTADO
DO MARANHÃO**

Carlos Orleans Brandão Junior

**SECRETÁRIO DE ESTADO DE
PROGRAMAS ESTRATÉGICOS**

Luis Fernando Silva

**PRESIDENTE DO INSTITUTO
MARANHENSE DE ESTUDOS
SOCIOECONÔMICOS E
CARTOGRÁFICOS**

Dionatan Silva Carvalho

**DIRETOR DE ESTUDOS AMBIENTAIS E
CARTOGRÁFICOS**

Josiel Ribeiro Ferreira

DIRETOR DE ESTUDOS E PESQUISAS

Hiroshi Matsumoto

ELABORAÇÃO

Luiz Jorge Bezerra Dias

Allana Pereira Costa

COORDENAÇÃO

Luiz Jorge Bezerra Dias

REVISÃO TÉCNICA

Paulo Henrique de Aragão Catunda

**CARTOGRAFIA TEMÁTICA E
TRATAMENTO DE DADOS**

Letícia Moura Ferreira

Brenda Soares da Silva Nunes

Giselle Chrystina do Vale Martins

APOIO TÉCNICO

Jéssica Suyane Sousa

Anny Karolyn Oliveira Portela

Janderson Rocha Silva

Anderson Nunes Silva

Matheus Pereira Farias

REVISÃO DE LINGUAGEM

Rodrigo Oliveira

NORMALIZAÇÃO

Dyana Pereira

CAPA/DIREÇÃO DE ARTE

Matheus Pinheiro Soeiro

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos-IMESC.

Análise das Condições Climáticas do Estado do Maranhão entre Janeiro e Junho de 2020. Luiz Jorge Bezerra Dias; Allana Pereira Costa (Organizadores). São Luís: IMESC, 2020.

ISBN 978-65-87226-05-7

93 p.

1. Dinâmica climática 2. Condições atmosféricas 3. Maranhão
I. Título

CDU 551.51 (812.1)

Figura 1. Localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas para a elaboração do diagnóstico das variabilidades climáticas no estado do Maranhão para o primeiro semestre de 2020 .15

Figura 2. Atuação de sistemas de formação de condições de tempo associadas à dinâmica de formação de calmarias (área de alta pressão atmosférica, representada por círculo azul) e de faixas de instabilidade (área de baixa pressão atmosférica, representada por círculo vermelho) .20

Figura 3. Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de outubro de 2019 .24

Figura 4. Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de novembro de 2019 .24

Figura 5. Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de dezembro de 2019 .25

Figura 6. Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de janeiro de 2020 .25

Figura 7. Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de fevereiro de 2020 .25

Figura 8. Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de março de 2020 .26

Figura 9. Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de abril de 2020 .26

Figura 10. Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de maio de 2020 .26

Figura 11. Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de junho de 2020 .27

Figura 12. Regiões oceânicas do fenômeno ENOS em que são aferidas as temperaturas do Oceano Pacífico para a definição do Índice de Oscilação Sul (IOS). Para o Maranhão, a Região Niño 3.4 é a mais relevante para análise de conjunto, evidentemente com outros sistemas acoplados, para a definição das dinâmicas de sistemas formadores de tempo e clima .27

Figura 13. Índice de Oscilação Sul (IOS) para os meses de outubro de 2019 e maio de 2020 .30

Figura 14. Previsão de consenso acerca do comportamento evolutivo das TSMs de Niño 3.4 entre maio de 2020 e janeiro de 2021 .32

Figura 15. Previsão de consenso acerca do comportamento evolutivo das TSMs de todos os oceanos entre julho de 2020 e fevereiro de 2021 .33

Figura 16. Painel de situação das temperaturas subsuperficiais das águas do Pacífico Equatorial em junho de 2020 .34

Figura 17. Precipitação acumulada em toda a América do Sul, com destaque para o corredor central de umidade associado à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), destacada em linhas tracejadas diagonais. Essa condição meteorológica esteve associada, ainda, à descida da Zona de Convergência Intertropical e sua presença estacionária ao Norte do Maranhão, bem como pela incidência de VCANs, cujo centro estava ao largo da costa baiana e as bordas sobre o Oeste do Ceará ao Leste do Pará, englobando o Maranhão .37

Figura 18. Diagrama esquemático evolutivo entre junho de 2019 e junho de 2020 da Oscilação de Madden-Julian, em quadrilátero tracejado que aponta (em tons azulados) a sua atuação mensal de maior intensidade e colaboração para a formatação de áreas de instabilidade e de precipitações .38

Figura 19. Situação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste, circunscritos apenas na costa Leste do Nordeste Brasileiro às 14:20h GMT do dia 23 de junho de 2020, satélite GOES-16 VA .39

Figura 20. Comparativo entre a Normal Climatológica de Precipitação (1981-2010) e a Precipitação observada em janeiro de 2020 .42

Figura 21. Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmín (1981-2010) e a Tmín observada em janeiro de 2020 .42

Figura 22. Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmáx (1981-2010) e a Tmáx observada em janeiro de 2020 .43

Figura 23. Mapa de Normal Climatológica de precipitação para o mês de janeiro estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .44

Figura 24. Mapa de precipitação acumulada em janeiro de 2020 no estado do Maranhão .45

Figura 25. Mapa de Normal Climatológica de Temperaturas Mínimas para o mês de janeiro estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .46

Figura 26. Mapa de Temperaturas Mínimas para o mês de janeiro de 2020 para o estado do Maranhão .47

Figura 27. Normal Climatológica de Temperaturas Máximas para o mês de janeiro estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .48

Figura 28. Mapa de Temperaturas Máximas para o mês de janeiro de 2020 para o estado do Maranhão .49

Figura 29. Comparativo entre a Normal Climatológica de Precipitação (1981-2010) e a Precipitação observada em fevereiro de 2020 .51

Figura 30. Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmín (1981-2010) e a Tmín observada em fevereiro de 2020 .51

Figura 31. Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmáx (1981-2010) e a Tmáx observada em fevereiro de 2020 .51

Figura 32. Mapa de Normal Climatológica de precipitação para o mês de fevereiro estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .52

Figura 33. Mapa de precipitação acumulada em fevereiro de 2020 no estado do Maranhão .53

Figura 34. Mapa de Normal Climatológica de Temperaturas Mínimas para o mês de fevereiro estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .54

Figura 35. Mapa de Temperaturas Mínimas para o mês de fevereiro de 2020 para o estado do Maranhão .55

Figura 36. Normal Climatológica de Temperaturas Máximas para o mês de fevereiro estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .56

- Figura 37.** Mapa de Temperaturas Máximas para o mês de fevereiro de 2020 para o estado do Maranhão .57
- Figura 38.** Comparativo entre a Normal Climatológica de Precipitação (1981-2010) e a Precipitação observada em março de 2020 .59
- Figura 39.** Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmín (1981-2010) e a Tmín observada em março de 2020 .59
- Figura 40.** Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmáx (1981-2010) e a Tmáx observada em março de 2020 .59
- Figura 41.** Mapa de Normal Climatológica de precipitação para o mês de março estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .60
- Figura 42.** Mapa de precipitação acumulada em março de 2020 no estado do Maranhão .61
- Figura 43.** Mapa de Normal Climatológica de Temperaturas Mínimas para o mês de março estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .62
- Figura 44.** Mapa de Temperaturas Mínimas para o mês de março de 2020 para o estado do Maranhão .63
- Figura 45.** Normal Climatológica de Temperaturas Máximas para o mês de março estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .64
- Figura 46.** Mapa de Temperaturas Máximas para o mês de março de 2020 para o estado do Maranhão .65
- Figura 47.** Comparativo entre a Normal Climatológica de Precipitação (1981-2010) e a Precipitação observada em abril de 2020 .66
- Figura 48.** Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmín (1981-2010) e a Tmín observada em abril de 2020 .67
- Figura 49.** Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmáx (1981-2010) e a Tmáx observada em abril de 2020 .67
- Figura 50.** Mapa de Normal Climatológica de precipitação para o mês de abril estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .68
- Figura 51.** Mapa de precipitação acumulada em abril de 2020 no estado do Maranhão .69
- Figura 52.** Mapa de Normal Climatológica de Temperaturas Mínimas para o mês de abril estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .70
- Figura 53.** Mapa de Temperaturas Mínimas para o mês de abril de 2020 para o estado do Maranhão .71
- Figura 54.** Normal Climatológica de Temperaturas Máximas para o mês de abril estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .72
- Figura 55.** Mapa de Temperaturas Máximas para o mês de abril de 2020 para o estado do Maranhão .73
- Figura 56.** Comparativo entre a Normal Climatológica de Precipitação (1981-2010) e a Precipitação observada em maio de 2020 .75

Figura 57. Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmín (1981-2010) e a Tmín observada em maio de 2020 .75

Figura 58. Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmáx (1981-2010) e a Tmáx observada em maio de 2020 .75

Figura 59. Mapa de Normal Climatológica de precipitação para o mês de maio estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .76

Figura 60. Mapa de precipitação acumulada em maio de 2020 no estado do Maranhão .77

Figura 61. Mapa de Normal Climatológica de Temperaturas Mínimas para o mês de maio estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .78

Figura 62. Mapa de Temperaturas Mínimas para o mês de maio de 2020 para o estado do Maranhão .79

Figura 63. Normal Climatológica de Temperaturas Máximas para o mês de maio estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .80

Figura 64. Mapa de Temperaturas Máximas para o mês de maio de 2020 para o estado do Maranhão .81

Figura 65. Comparativo entre a Normal Climatológica de Precipitação (1981-2010) e a Precipitação observada em junho de 2020 .82

Figura 66. Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmín (1981-2010) e a Tmín observada em Junho de 2020 .82

Figura 67. Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmáx (1981-2010) e a Tmáx observada em junho de 2020 .82

Figura 68. Mapa de Normal Climatológica de precipitação para o mês de junho estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .84

Figura 69. Mapa de precipitação acumulada em junho de 2020 no estado do Maranhão .85

Figura 70. Mapa de Normal Climatológica de Temperaturas Mínimas para o mês de junho estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .86

Figura 71. Mapa de Temperaturas Mínimas para o mês de junho de 2020 para o estado do Maranhão .87

Figura 72. Normal Climatológica de Temperaturas Máximas para o mês de junho estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010 .88

Figura 73. Mapa de Temperaturas Máximas para o mês de junho de 2020 para o estado do Maranhão .89

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. METODOLOGIA	12
3. SISTEMAS PRODUTORES DE CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS ATUANTES NO ESTADO DO MARANHÃO NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2020	17
4. AS INTERAÇÕES ENTRE OCEANOS E ATMOSFERA E SUAS IMPLICAÇÕES NA DINÂMICA CLIMÁTICA MARANHENSE NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2020	22
4.1 Situação do Oceano Pacífico	26
4.2 Situação do Oceano Atlântico	34
5. ANÁLISE MENSAL DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS NO ESTADO DO MARANHÃO NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2020	40
5.1 Janeiro de 2020	40
5.2 Fevereiro de 2020	49
5.3 Março de 2020	57
5.4 Abril de 2020	65
5.5 Maio de 2020	73
5.6 Junho de 2020	81
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
REFERÊNCIAS	91

O relatório intitulado Análise das Condições Climáticas do Estado do Maranhão, formulado entre janeiro e junho de 2020, possui como finalidade realizar uma abordagem da dinâmica climática e suas interferências nas diversas atividades humanas no estado. Diante da escalada dos diferentes fenômenos atmosféricos, o estudo servirá de subsídio para uma análise quantitativa das precipitações acumuladas, associando com índices de temperatura e fatores atmosféricos que influenciam diretamente nos eventos climáticos.

Dada a importância das análises climáticas para o desenvolvimento das atividades humanas, com destaque para o setor primário, que representa cerca de 10% da economia estadual, estudos têm sido desenvolvidos a fim de direcionar o manejo adequado dessas atividades, dentre os quais temos o Zoneamento Econômico-Ecológico do Maranhão (ZEE-MA), elaborado por entidades públicas, privadas e sociedade civil. Por outro lado, adotar esse tipo de estudo na articulação de planos de desenvolvimento estadual, quer seja no contexto da produção, quer seja para a elaboração de planos de contingências para adoção em períodos de ocorrência de sinistros associados às dinâmicas atmosféricas é uma forma de contribuir com os debates sobre a temática.

O trabalho foi organizado com os dados das 16 estações meteorológicas do INMET no estado do Maranhão, bem como outras 15 em estados vizinhos, em análise com os sistemas de produções atmosféricas e as interações entre as características do oceano e da atmosfera, com os dados mensais do primeiro semestre de 2020.

O Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC) vem por meio deste subsidiar bases para elaboração de políticas públicas e disseminação de conhecimento, a fim de minimizar os efeitos decorrentes das mudanças climáticas, fenômenos que vêm sendo detectados no Brasil e no mundo, e que tendem a ser mais intensos nas grandes cidades, afetando diversos setores sociais, ambientais e econômicos.

1.

INTRODUÇÃO

Cientificamente, uma das maiores tendências contemporâneas é a da observação e análise das dinâmicas climáticas e, por conseguinte, de suas interferências ou associações diretas ou indiretas com as atividades humanas. Essa preocupação, embora antiga, ainda carece de maiores critérios práticos de correlação entre o que é observado historicamente com o que de fato ocorre em curto prazo, ou seja, em relação à ocorrência de fenômenos atmosféricos em intervalos semestrais, por exemplo. Tal tipo de abordagem, além de analisar os quantitativos de precipitações acumuladas ou mesmo os indicadores de temperatura, por exemplo, também deve envolver os sistemas que originam as condições para a sua ocorrência e sua dinâmica geográfica.

Antes de aprofundar quaisquer tipos de abordagens acerca das temáticas ligadas às Ciências Atmosféricas, há que se apresentar alguns conceitos fundamentais para o desenvolvimento das interpretações relacionadas ao tema ora discutido. O primeiro deles, tempo, refere-se ao estado atmosférico de momento, ou seja, registrado diariamente, a cada intervalo de seis horas, no mínimo, que mostrará no decurso de 24 horas o comportamento dos elementos vinculados ao ciclo da água (campo hidrometeorológico), à pressão do ar (campo barométrico) e à evolução dos aquecimentos e resfriamentos diários (campo térmico), com suas consequências de curto prazo (AYOADE, 2001; BARRY; CHORLEY, 2012).

Já por clima entende-se pela configuração da dinâmica dos comportamentos atmosféricos ao longo de no mínimo 30 (trinta) anos de medições ininterruptas das condições de tempo, compreendido, pois, como um estado médio da dinâmica dos campos hidrometeorológico (chuvas e umidade), barométrico (pressão atmosférica) e térmico (temperaturas máximas e mínimas), conforme orienta Monteiro (2015). Essa compreensão, que deve apontar um ritmo médio de atuação dos elementos formadores das condições de tempo ao longo desse intervalo cronológico, conhecido como normal climatológica, apresenta os valores, em tese habituais, para a comparação da evolução desses tipos de fenômenos.

Por conseguinte, o comportamento atmosférico de um território é um elemento analítico importante para definição dos sistemas de interação radiação solar – oceanos – atmosfera – cobertura da terra. É a base técnico-científica para uma Climatologia Geográfica. Tais conjuntos de processos se refletem na gênese de condições favoráveis ou não à ocorrência de situações médias ou anormais de chuvas, temperaturas, insolação, ventos e pressão atmosférica, por exemplo. Esses macroelementos devem ser analisados em conjunto e, obviamente, tal sistema conjugado evolui ao longo do tempo cronológico, o que significa dizer que eles formatam ritmos (processos), que indicam padrões sucessionais.

A análise rítmica em Climatologia é um condicionante indispensável para a compreensão dos territórios passíveis de planejamento, uma vez que a compreensão dos padrões climáticos e de suas variações são condições imprescindíveis para a definição dos quadros de ordenamento territorial. Em outros termos, sem a compreensão dos ritmos climatológicos (ou climáticos), não há possibilidades reais concretas de se planejar adequadamente os diversos tipos de uso e ocupações humanas em áreas as mais heterogêneas possíveis, nem como avaliar a eficácia e a eficiência de investimentos públicos ou privados em um dado território (BANCO MUNDIAL, 2010; ROSENZWEIG et al., 2011).

No tocante às análises ambientais regionais e locais, a Climatologia apresenta-se como um conjunto de conhecimentos integrador e seus elementos são indispensáveis para a recuperação de áreas degradadas, para a retificação ou melhoramento de infraestruturas e indicação de dinâmicas hidrográficas e hidrológicas de superfície necessárias para subsidiar ações de engenharias, de forma sistêmica (TUCCI; BRAGA, 2003; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; SANT'ANNA NETO et. al., 2016). Ademais, o planejamento urbano e agrícola depende, mais que dantes, de uma compreensão razoável dos processos atmosféricos regionais.

Em seu espaço total, o estado do Maranhão ainda é muito deficitário quanto a estudos de conjunto dos seus sistemas produtores de tempo e clima, algo que apenas em meados dos anos 2000 começou a ser devidamente “corrigido”. Extrapolações de classificações climáticas regionais baseadas no método oitocentista de Köppen (MONTEIRO, 1971), ainda em vigor, e a ausência de dados meteorológicos de longo prazo (superiores a 30 anos de medições diárias constantes) para a maior parte de seu conjunto territorial contribuem para as carências de análises territoriais maranhenses à luz de seus climas e sob a perspectiva geográfica.

Indefinições quanto aos arranjos territoriais e tipologias climáticas de longo prazo (influências da semiaridez e ampliação das áreas de ocorrência

de núcleos de arenização e desertificação, por exemplo), bem como a falta de aplicação de conhecimentos estatísticos acumulados sobre elementos formadores de tempo e clima (DIAS; PINHEIRO JÚNIOR, 2013) são fatos que concorrem para a baixa quantidade de estudos objetivos acerca dos climas regionais e locais do território maranhense. Com exceção dos municípios da Ilha do Maranhão, em que se destaca a capital do estado, São Luís, praticamente a totalidade do território maranhense sofre com a escassez de dados e interpretações geográficas quanto aos elementos climáticos atuantes em curto, médio ou longo prazos.

Esse conjunto de fatores é refletido, igual e criticamente, para os territórios associados às fronteiras agrícolas do Maranhão, assim como nas dinâmicas de expansão das malhas urbanas em curso, o que gera impactos ambientais, sociais e econômicos sensíveis e, por vezes, difíceis de mitigar. Por complemento, os parâmetros climáticos ainda não são suficientemente entendidos de forma consistente e coerente, o que, caso ocorresse, facilitaria o planejamento e ordenamento do estado (NUNES; DIAS, 2019).

Atualmente, são diversas as exigências por dados meteorológico-climáticos aplicados ao Maranhão em caráter regional, principalmente em âmbitos acadêmicos, de gestão pública e em consultorias especializadas. Demandas por informações meteorológicas e climáticas são cada vez maiores para a realização de estudos técnicos de diversas naturezas para licenciamento ambiental, construção de planos diretores de drenagem, elaboração de projetos de engenharia e intervenções diretas nos ambientes naturais ou antropizados, com vistas à melhoria da qualidade de vida e dos serviços básicos, como saneamento ambiental (PACHECO; DIAS, 2019). A isso são somados os planejamentos agropecuários e de silvicultura no estado, que mobilizam significativa massa produtiva.

É nesse sentido que a presente pesquisa se insere, pois, além de preencher uma lacuna sobre a produção de conhecimento científico acerca da evolução das condições de tempo e clima no estado do Maranhão, apresenta como objetivo geral compreender as dinâmicas dos sistemas produtores de condições atmosféricas semestrais (janeiro a junho de 2020) e compará-las às normais climatológicas para o intervalo de 1981-2010, estabelecidas para todo o Brasil pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020).

Ademais, ao serem procedidas as análises apontadas, propõe-se a territorialização cartográfica de precipitação total e de temperaturas mínimas e máximas ($T_{mín}$ e $T_{máx}$) para todo o território maranhense para o semestre janeiro a junho de 2020. A perspectiva, pois, é apresentar cenários geográficos da Climatologia Regional aos tomadores de decisão públicos e privados, bem como ao público em geral interessado na temática, com vistas à disseminação

de dados e informações acerca dos processos em curso no estado do Maranhão e, assim, colaborar com as discussões acerca da importância do clima para o planejamento e ordenamento do território, ao apontar estratégias e mecanismos de resiliência socioambiental indispensáveis à melhoria da qualidade de vida local e regional.

No presente Boletim, não serão enfocados aspectos relacionados às mudanças climáticas globais, regionais ou locais, haja vista a necessidade de reconhecimento de padrões oceânicos, atmosféricos e padrões de uso e cobertura da terra, que extrapolam a perspectiva ora adotada. Ademais, procurou-se enquadrar a interpretação dos dados e informações aqui apresentados sob a ótica da Climatologia Geográfica que, alicerçada em observações de caráter meteorológico, dispõe de métodos próprios para abordar o tema em questão. Nas páginas que seguem, o leitor encontrará uma breve súmula dos procedimentos adotados para a confecção deste trabalho, seguido por uma análise dos sistemas produtores de tempo e clima no período ora proposto. Em seguida, apresentam-se mensalmente os dados sobre o ritmo climático regional e as considerações finais e referências adotadas.

2.

METODOLOGIA

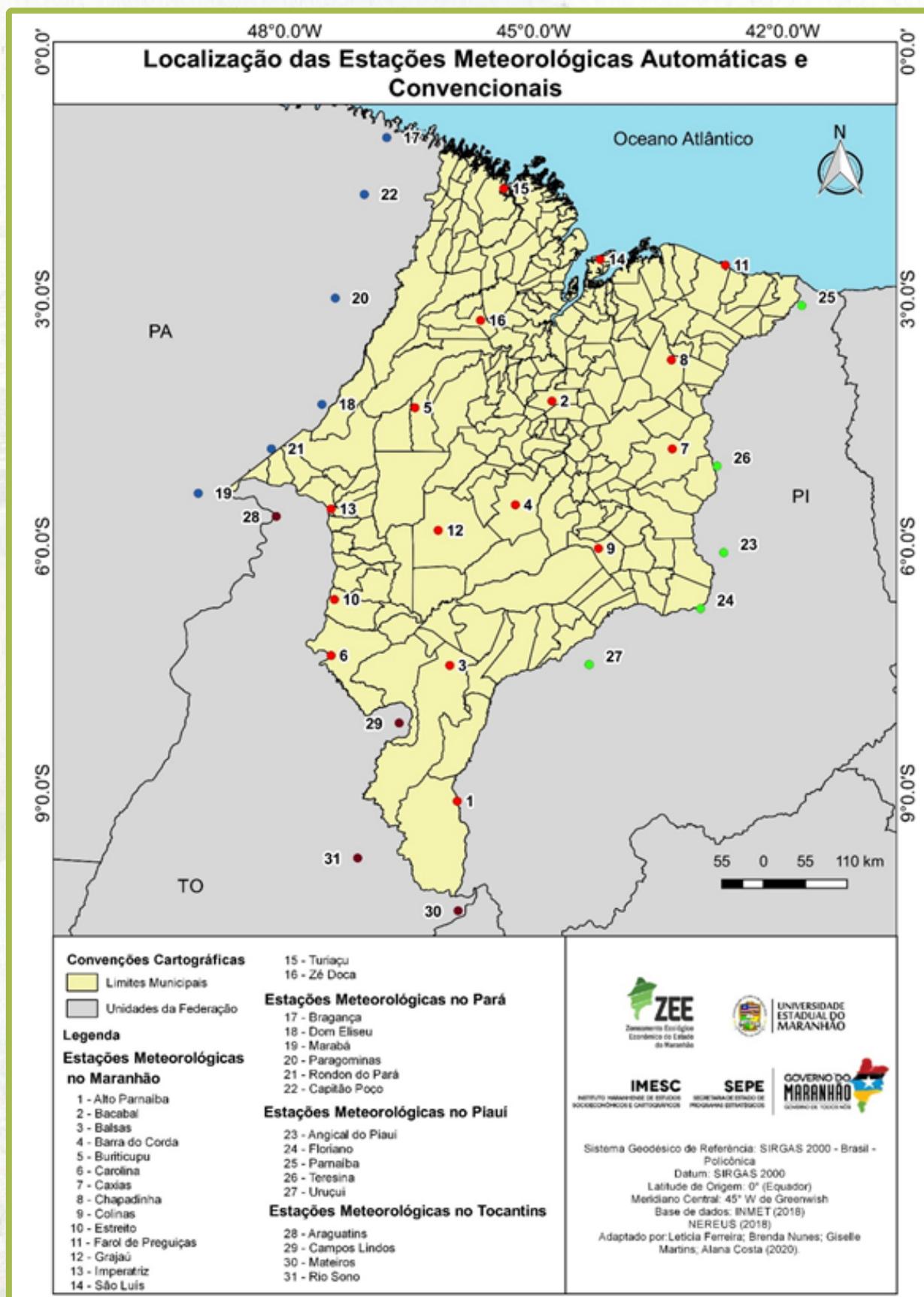
Com o intuito de elaborar uma análise climatológica aplicada ao estado do Maranhão para o semestre janeiro a junho de 2020, optou-se por adotar três segmentos metodológicos como proposta de orientação técnico-científica, os quais estão elencados a seguir:

- a) aquisição de dados de precipitação e temperaturas máximas e mínimas ($T_{\text{máx}}$ e $T_{\text{mín}}$) de 31 estações meteorológicas, tanto automáticas, quanto convencionais, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020), conforme dispostas geograficamente na Figura 01. Optou-se por essas estações por serem de um Instituto oficial, portanto, são dados observados sistematicamente;
- b) planilhamento eletrônico de dados citados na alínea “a” deste tópico para a elaboração de base quantitativa para posterior comparação dos valores mensais de precipitação e temperaturas máximas e mínimas ($T_{\text{máx}}$ e $T_{\text{mín}}$), em relação às normais climatológicas estabelecidas pelo INMET (2020) para cada umas das 15 estações meteorológicas, sendo 12 maranhenses e 3 piauienses. Essa é uma prática adotada em trabalhos dessa natureza (SANT’ANNA NETO, 2000; ZAVATTINI; BOIN, 2013; BEREZUK, 2014), já que, a partir dessa prática simples, pode-se definir percentuais de mudanças episódicas do ritmo climático já calculado para os pontos de análise;
- c) como o estado do Maranhão dispõe de apenas 16 estações meteorológicas do INMET, distribuídas desproporcionalmente ao longo de um território de seus quase 331.983 km², foram inseridas 6 presentes no Leste do estado do Pará, 4 no estado do Tocantins e 5 no estado do Piauí, todas a menos de 70 km em linha reta do território maranhense. Esse procedimento, seguido por tabulações de dados citados no item imediatamente anterior, serviram para a produção de

mapas climatológicos da situação mensal de janeiro a junho de 2020 no Maranhão, por preenchimento geoestatístico de lacunas espaciais pelo método de interpolação geográfica. Para tal, foi adotado o software livre QGIS v. 2.18 como ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), onde foi criado o banco de dados climatológico e houve tratamento adequado dos mesmos para a composição cartográfica final.

Com o propósito de avaliar a variabilidade das condições de sistemas produtores de tempo e clima no estado do Maranhão para o semestre janeiro a junho de 2020, foram baixadas imagens de satélite das bases do INMET (2020b) e imagens das TSM (Temperaturas da Superfície do Mar) global, previsões climáticas e cenários normais e tendenciais do comportamento atmosférico e oceânico no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020), em complemento à proposta ora apresentada.

Figura 1 - Localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas para a elaboração do diagnóstico das variabilidades climáticas no estado do Maranhão para o primeiro semestre de 2020



Fonte: Registros da Pesquisa (2020)

Com a finalidade de orientação metodológica da presente pesquisa, indica-se que ela está pautada na Climatologia Geográfica, com adequações orientadas pela Teoria Geral dos Sistemas (TGS), baseada em Bertalanffy (1973), com seus desdobramentos e adaptações realizadas para os efeitos da Teoria Geossistêmica de Bertrand (2004), que, integradas, facilitam no contexto do mapeamento temático proposto.

Por conseguinte, para enquadrar à linha de trabalho cartográfico desta pesquisa, foram desenvolvidos os Quadros 01 e 02, com respectivas correlações escalares norteadoras para a abordagem a ser adotada. Para efeitos deste trabalho, o táxon geossistêmico a ser seguido equivale ao de domínio, equivalente ao bioma à taxonomia ecológica, o que define a escala de trabalho desta pesquisa, que foi definida em 1:1.000.000, abrangendo uma área de aproximadamente 331.983km².

Quadro 1 - Unidades de planejamento territorial com base nas categorias da Escala Climatológica e suas possibilidades de interpretação geográfica e cartográfica

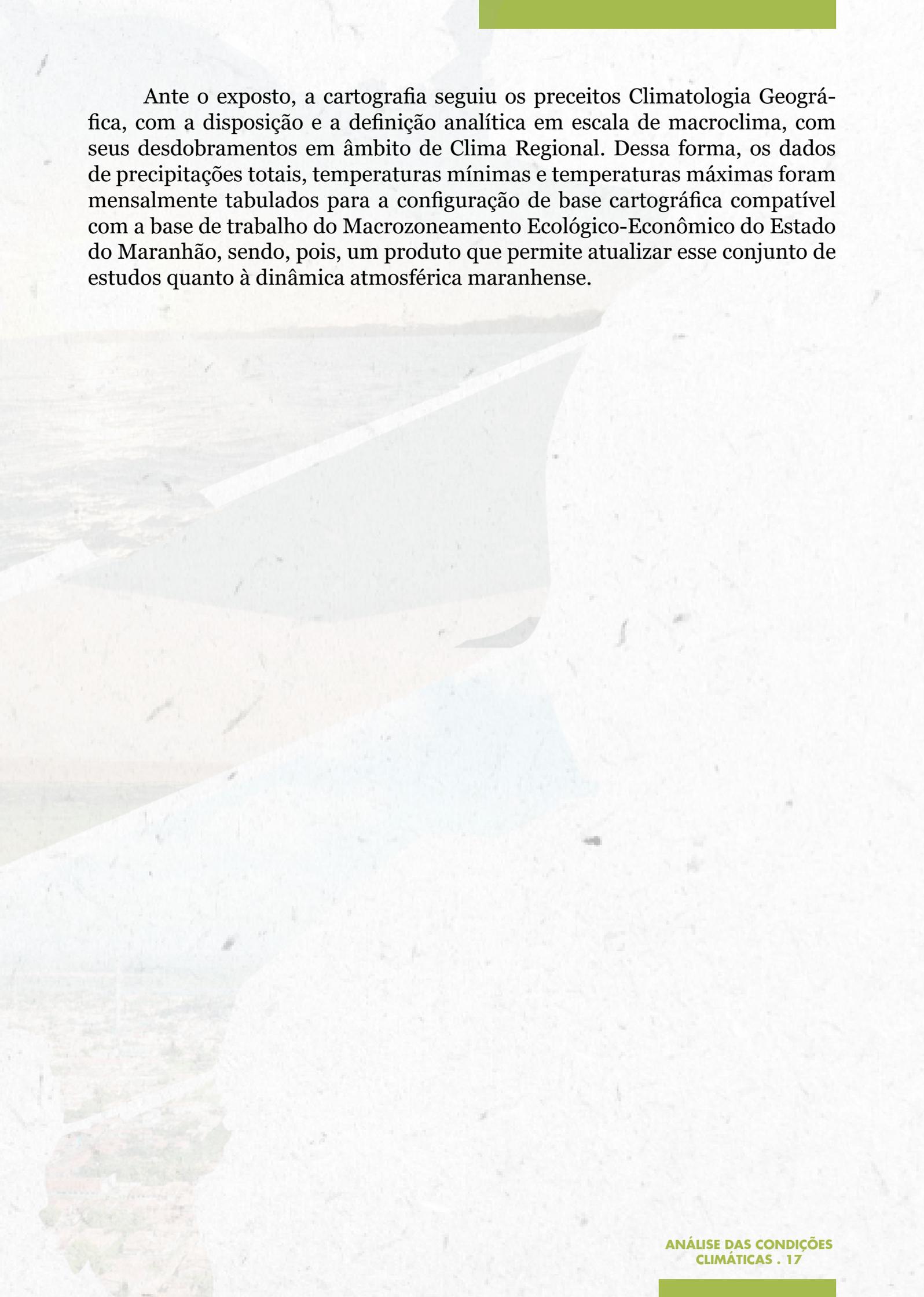
TIPO DE UNIDADE ESCALAR	ESCALA CLIMATOLÓGICA	ÁREA TOTAL	ESCALA CARTOGRÁFICA
Macroclima	Clima Zonal	Superiores a 5.000.000 km ²	Inferiores a 1:5.000.000
	Clima Regional	Entre 100.000 km ² e 5.000.000 km ²	1:500.000 – 1:5.000.000
Mesoclima	Clima Regional	Entre 1.000 km ² e 100.000 km ²	1:100.000 – 1:500.000
	Clima Local (Mesoclima)	Entre 10 km ² e 1.000 km ²	1:15.000 – 1:100.000
	Topoclima	Entre 1 km ² e 10 km ²	1:5.000 – 1:15.000
Microclima	Microclima	Inferiores a 1 km ²	Superiores a 1:5.000

Fonte: Adaptado de Ribeiro (1993 apud SANT'ANNA-NETO, 2013); Monteiro (2015)

Quadro 2 - Correlação entre as escalas geossistêmica, ecológica e climatológica para o planejamento e ordenamento territorial com base no meio físico

TIPO DE UNIDADE GEOSSISTÊMICA	ESCALA GEOSSISTÊMICA	TIPO DE UNIDADE NA ESCALA ECOLÓGICA	TIPO DE UNIDADE NA ESCALA CLIMATOLÓGICA	ESCALA CLIMATOLÓGICA
Unidades Superiores	Zona	Zona Bioclimática	Macroclima	Clima Zonal
	Domínio	Bioma		Clima Regional
	Região Natural	Ecorregião	Mesoclima	Clima Regional
Unidades Inferiores	Geossistema	Ecosistema		Clima Local (Mesoclima)
	Geofácia	Ecótopo		Topoclima
	Geótopo	Ecótopo	Microclima	Microclima

Fonte: Adaptado de Dias et al. (2017)



Ante o exposto, a cartografia seguiu os preceitos Climatologia Geográfica, com a disposição e a definição analítica em escala de macroclima, com seus desdobramentos em âmbito de Clima Regional. Dessa forma, os dados de precipitações totais, temperaturas mínimas e temperaturas máximas foram mensalmente tabulados para a configuração de base cartográfica compatível com a base de trabalho do Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão, sendo, pois, um produto que permite atualizar esse conjunto de estudos quanto à dinâmica atmosférica maranhense.

3.

SISTEMAS PRODUTORES DE CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS ATUANTES NO ESTADO DO MARANHÃO NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2020

Para o entendimento de todos e quaisquer tipos de processos atmosféricos atuantes em uma parcela territorial, é importante que sejam destacados previamente os principais tipos de fenômenos físicos a eles associados.

Assim, entende-se por sistemas produtores de tempo e clima os

[...] sistemas de circulação [atmosférica] acompanhados por padrões e tipos característicos de tempo. Eles causam as variações diárias e semanais no tempo e são muitas vezes mencionados como sendo perturbações atmosféricas ou meteorológicas. Essas perturbações são extensas ondas, turbilhões ou vórtices de ar inseridos na circulação geral da atmosfera. Os mais importantes desses sistemas produtores de tempo são os ciclones e anticiclones das latitudes médias, os ciclones tropicais e as monções (AYOADE, 2001, p. 98).

Dessa maneira, os processos que geram condições meteorológicas (curto prazo, ou simplesmente tempo) e climáticas (longo prazo, ou climas) definem-se para a Zona Tropical, em latitudes próximas à linha do Equador, caso do estado do Maranhão, Nordeste do Brasil, pelos aspectos que seguem:

a) presença de ciclones tropicais, ou seja, áreas de baixa pressão atmosférica capazes de gerar precipitações elevadas em seus espaços de atuação, como os eventos de tempestades e ventanias. São causadores de instabilidades meteorológicas e precipitações mais fortes no estado do Maranhão anualmente entre fevereiro e maio, período em que se estabelecem, em média, entre 60% e 80% dos quantitativos pluviométricos anuais distribuídos pelo território, sobretudo em sua parcela Norte. São esses fenômenos que configuram os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), por exemplo;

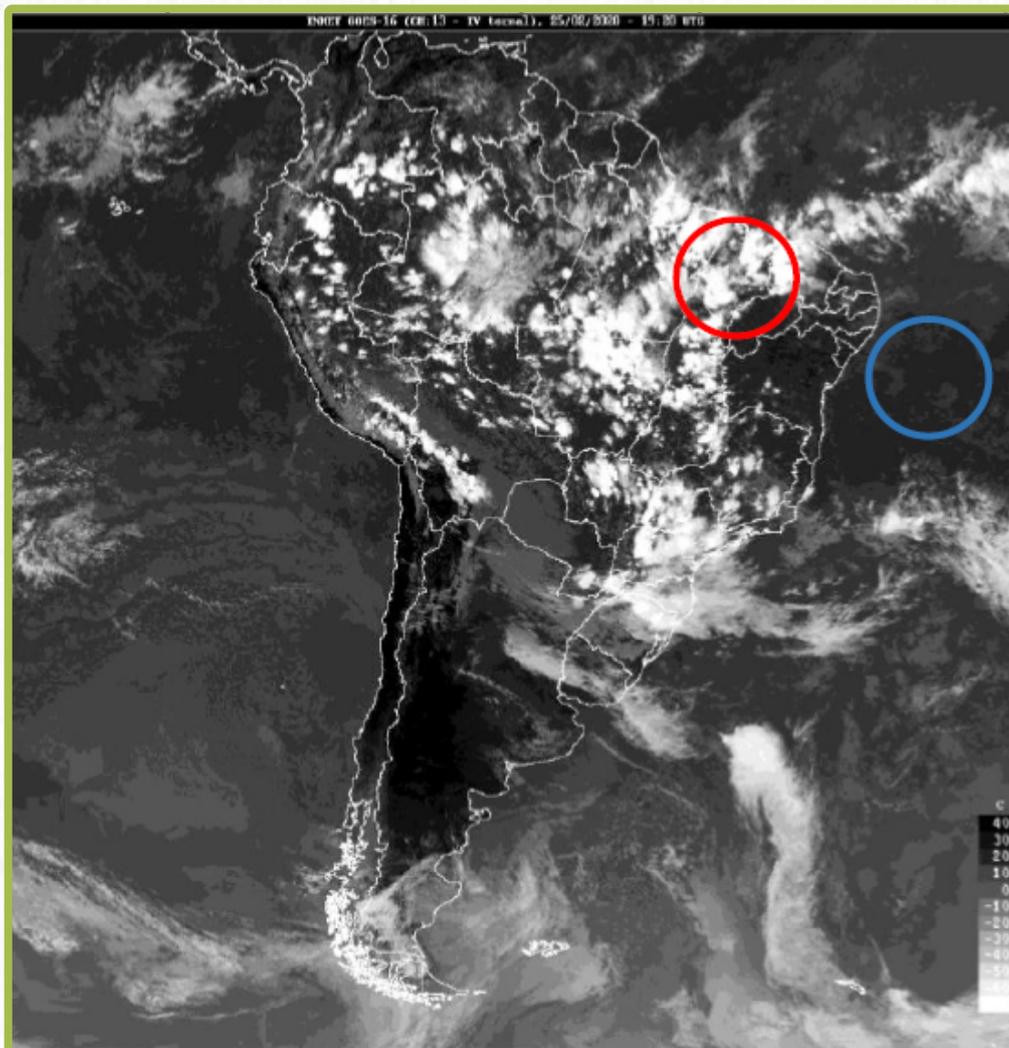
b) os fenômenos citados acima são consequência da formação e desenvolvimento de anticiclones, que por sua vez são conteúdos atmosféricos que apresentam alta pressão atmosférica ao nível do mar no Oceano Atlântico próximo ao Sudeste Brasileiro, o que lhes permite originar calmarias em suas áreas centrais, sobretudo nos meses de verão (janeiro a março), e faixas de instabilidade em suas bordas, conforme indicado na Figura 2;

c) massas de ar, que na definição mais usual indicam “uma unidade aerológica, de extensão considerável, que possui características térmicas e higrométricas homogêneas” (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 99). Atuam no estado do Maranhão duas grandes massas de ar: a Massa Equatorial Atlântica (mEa), proveniente do Oceano Atlântico; e a Massa Equatorial Continental (mEc), oriunda do centro da Amazônia Brasileira, com gênese nos contrafortes da Cordilheira dos Andes e que se desloca para várias direções, dentre as quais no sentido do Centro-Sul do estado do Maranhão e que colabora para a extensão Norte de um sistema atmosférico denominado Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que será discutido adiante;

d) também se desenvolvem os distúrbios perturbatórios secundários ocorrentes entre maio e julho, conhecidos como Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), cujo ambiente aerológico¹ de formação é a Costa Oeste Africana, desenvolvendo-se pelo Atlântico Equatorial, até atingir o Brasil do Leste do Litoral Nordestino ao Litoral do Pará, passando pelo estado do Maranhão, provocando chuvas intensas, porém episódicas (BARRY; CHORLEY, 2012).

¹ Ambiente aerológico corresponde à porção da atmosfera que, em função de sua localização geográfica e altitude em relação ao nível do mar, possui características específicas quanto às dinâmicas de formação de condições meteorológicas

Figura 2 - Atuação de sistemas de formação de condições de tempo associadas à dinâmica de formação de calmarias (área de alta pressão atmosférica, representada por círculo azul) e de faixas de instabilidade (área de baixa pressão atmosférica, representada por círculo vermelho)



Fonte: Imagem do Satélite GOESS de 25 de fevereiro (INMET, 2020)

Existem, ainda, outros sistemas que auxiliam na geração de tempo e clima no estado do Maranhão. Eles estão associados a características latitudinais e situacionais de cada parcela do território maranhense, o que possibilita maior ou menor atuação dos sistemas atmosféricos para a composição dos processos meteorológicos e climáticos atuantes. Dentre eles, o fenômeno da continentalidade é destacado, haja vista que grande parte do território estadual (cerca de 72,89%) está situada a mais de 50 km da linha de costa. Este último arranjo territorial está inserido na zona de interface continente – oceano e, portanto, acaba por ser influenciado pelos efeitos da maritimidade², que engloba os demais 27,11% da Unidade Federativa sob análise.

¹ Ambiente aerológico corresponde à porção da atmosfera que, em função de sua localização geográfica e altitude em relação ao nível do mar, possui características específicas quanto às dinâmicas de formação de condições meteorológicas

Por outro lado, geomorfologicamente o estado do Maranhão, que possui baixas altitudes, ou seja, menores que 200 metros acima do nível do mar, em mais de 30% de seu espaço total, não tem evidências de precipitações do tipo orográfica, associadas diretamente no encontro de sistemas de nuvens com obstáculos à sua dispersão orientadas pelo relevo (NUNES; DIAS, 2019).

As maiores altitudes em território maranhense, com cotas acima de 550 metros acima do nível do mar, equivalendo a próximo do mesmo citado percentual, ocorrem em superfícies tabuliformes (ou chapadas) em parte do extremo Sudoeste do estado, em transectos entrecortados por depressões formadas por rios formadores dos vales do Mearim, do Itapecuru, do Balsas e do Parnaíba, com suas respectivas redes de drenagens. Porém, essas elevações não representam grandes fatores geomórficos para a ocorrência de chuvas vinculadas ao relevo.

Por outro lado, o extremo Sul do estado do Maranhão, sobretudo nos meses de junho a agosto, pode receber pequenas influências do desenvolvimento de frentes frias em seus últimos prolongamentos em direção Norte, provenientes do Brasil Central, o que explica temperaturas abaixo dos 15°C em alguns dias sucessivos, durante as noites, e presença de nevoeiros, ao amanhecer. A transição e contato entre domínios de natureza diferentes (biomas) também é uma explicação plausível para essa situação (AB'SÁBER, 2012). Mas como são processos que ocorrem em períodos em que a umidade do ar e do solo são baixos, não há condições para a formação de chuvas associadas a frentes frias, ou chuvas frontais, mesmo que sejam em terrenos elevados em relação ao nível do mar.

As chuvas que ocorrem no Maranhão, são, pois, de natureza convectiva, em sua quase totalidade.

As chuvas que ocorrem no Maranhão, são, pois, de natureza convectiva, em sua quase totalidade. Em outros termos essa forma de precipitação está vinculada ao ar quente ascendente (da superfície a camadas superiores da troposfera)³ e ao ar frio subsidente (ou seja, em movimento de descida), condicionada por sistemas atmosféricos de atuação meso ou macrorregional (do final de dezembro a meados de julho no Norte do Estado e, a partir da latitude de 6°S, aproximadamente, entre final de outubro e final de abril).

oceano, tendo em vista a formatação e distribuição constante de massas de ar, que permitem a circulação atmosférica de forma mais contínua e dinâmica, minimizando os impactos de aumento da temperatura média de ar (nas baixas camadas atmosféricas) e solo. Por sua caracterização espacial, o fenômeno da maritimidade é restrito às regiões costeiras. Para efeitos da presente abordagem, definiu-se o valor de 50 km em relação à linha de costa como o polígono envolvente do território maranhense que compõe a zona costeira.

³Denomina-se troposfera a primeira camada da atmosfera, que vai desde o nível do solo até aproximadamente 15 km de altitude e que congrega aproximadamente 99% de todos os processos

As precipitações locais respondem mais aos padrões de umidade do solo, da cobertura da terra, das relações de evapotranspiração, presença de núcleos de condensação de nuvens e diminuição da pressão da atmosfera em um dado ponto ou polígono local ou regional. Isso ocorre, sobretudo, nas chuvas rápidas e, por vezes, isoladas do período de estiagem no Maranhão, em todas as regiões.

Quanto aos padrões de uso e cobertura da terra, geralmente associados às formas com que as populações humanas extraem ou exploram os ambientes naturais, convém mencionar que o mesmo possui bem mais possibilidades de interferências nas dinâmicas de temperaturas mínimas e máximas, que de precipitações. Enquanto os primeiros elementos formadores de condições de tempo e clima são vinculados ao aquecimento e dissipação de calor por ambientes diferenciados, cada qual com seu próprio indicador de presença de energia térmica, os segundos são condicionados a eventos macroescalares, ou seja, que estejam diretamente vinculados aos processos interativos oceano-atmosfera, sobretudo.

físicos associados ao sistema Terra responsáveis por condições de tempo e clima (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

4.

AS INTERAÇÕES ENTRE OCEANOS E ATMOSFERA E SUAS IMPLICAÇÕES NA DINÂMICA CLIMÁTICA MARANHENSE NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2020

Atmosfera terrestre se movimenta em resposta à rotação da Terra e à diferença entre o aquecimento solar das superfícies dos continentes e, sobretudo, dos oceanos. O balanço de energia solar recebido e dissipado horizontal e verticalmente nos ambientes hídricos de larga escala, ou seja, nas regiões oceânicas, são os principais motores da articulação das dinâmicas climáticas no Planeta, sobretudo no que tange às precipitações, que nada mais são que uma fase do ciclo hidrológico⁴ global.

Nesse sentido, aproximadamente 71% da superfície do planeta é composta por oceanos (AYOADE, 2001). Eles são, portanto, os principais reguladores higrológicos⁵ e térmicos de que se há conhecimento e acabam por interferir diretamente em todas as dinâmicas atmosféricas (GARRISON, 2016). As conexões ou processos interativos oceanos-atmosfera são, por consequência e definição, as interferências oceanográficas na configuração de sistemas produtores de tempo e clima em uma escala que varia do regional ao global, condicionando diretamente na circulação mundial da camada gasosa a até 15 km de altitude em relação ao nível do mar.

O aquecimento, resfriamento ou estabilização das temperaturas dos oceanos, da superfície até uma profundidade de 400 metros, bem como o processo de ressurgência⁶ auxiliam na explicação das dinâmicas físicas do clima global e suas implicações sobre o território maranhense. Nesse sentido, o monitoramento das temperaturas da superfície do mar (TSMs) deve ser contínuo.

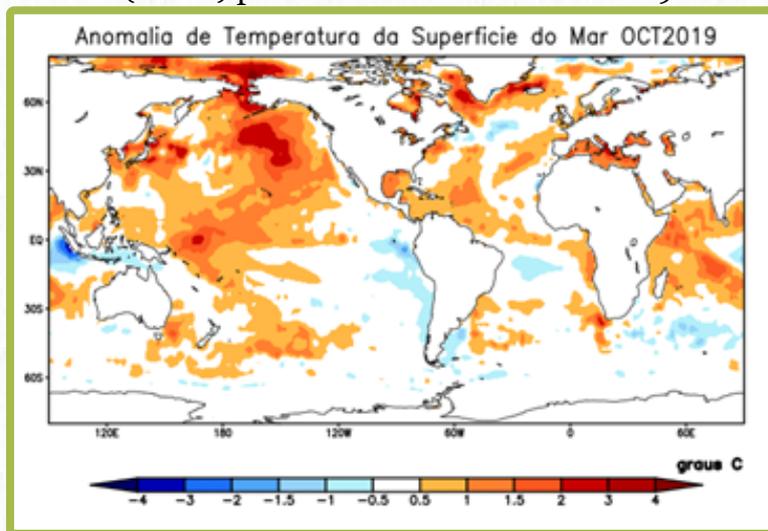
⁴ Entende-se por ciclo hidrológico os sistemas interativos atmosfera, compartimentos hídricos (ambientes com água), biodiversidade e padrões de cobertura da superfície da Terra que, ao serem aquecidos por radiação solar, provocam o processo de evaporação e evapotranspiração. Após, a água, em forma de vapor, encontra no ar partículas de poeira, pólen, fumaça e/ou fuligem, por exemplo, que funcionam como verdadeiras “esponjas de umidade”, originando nuvens. Quando estas estão bastante carregadas, precipitam, formando as chuvas. Após, há ocorrência de escoamentos superficiais, de infiltração e/ou de estocagem dos fluxos hidrológicos em superfície, tanto em depressões, quanto nos diversos ecossistemas terrestres. A partir de então, o processo é reiniciado continuamente.

⁵ Denominam-se reguladores higrológicos todos os processos e dinâmicas que controlam a umidade presente na atmosfera. É, portanto, diferente de hidrologia, que estuda a distribuição e mecanismos físicos relacionados às águas em superfície e em subsuperfície.

⁶ Ressurgência é o fenômeno físico pelo qual algumas áreas dos oceanos passam e que, além de promover a ascensão de águas profundas e frias em direção à superfície oceânica, são capazes de gerar alterações na camada de contato entre este e a atmosfera, ao permitir maiores ou menores resfriamentos do ar imediatamente acima do nível do mar. Isso, por si só, condiciona a formatação de condições de tempo e clima heterogêneas, como a ocorrência do fenômeno El Niño, por exemplo.

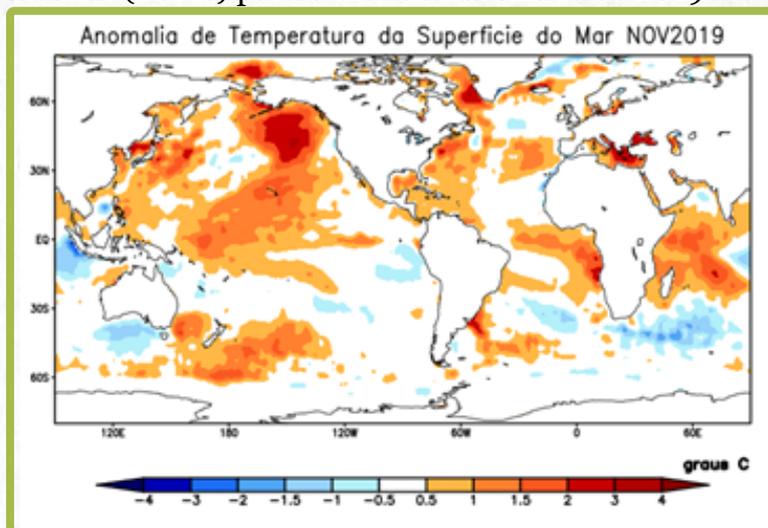
A alteração das TSMs em $+0,5^{\circ}\text{C}$ ou $-0,5^{\circ}\text{C}$ por entre oito e 12 semanas consecutivas em relação às médias históricas de 30 anos de observação e mensurações diárias pode gerar padrões de circulação atmosférica anômala globalmente, com implicações diferenciadas nas dinâmicas de chuvas, temperaturas, nebulosidade e até de origem de focos de calor e queimadas naturais (BARRY; CHORLEY, 2012). Para efeitos da presente pesquisa, foram adquiridas imagens da dinâmica mensal evolutiva das condições de TSM para explicar as condições oceânicas globais entre janeiro e maio de 2020. Para tal, foram adotadas as referentes aos meses de outubro de 2019 a maio de 2020 (Figuras 3 a 11).

Figura 3 - Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de outubro de 2019



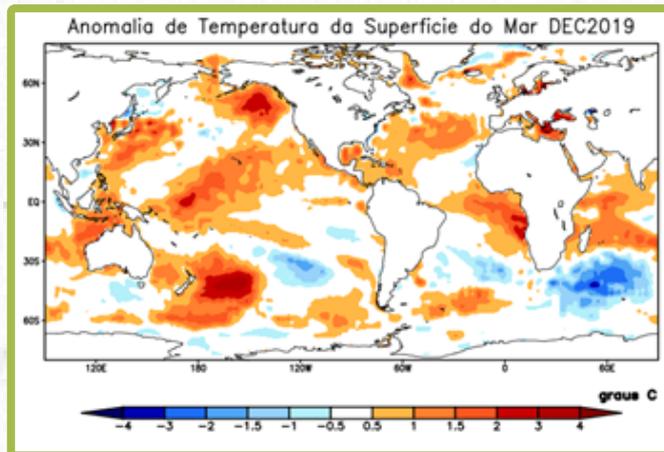
Fonte: INPE (2020)

Figura 4 - Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de novembro de 2019



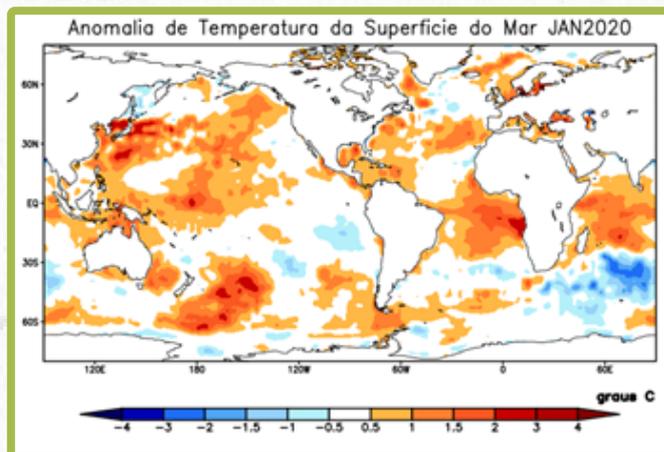
Fonte: INPE (2020)

Figura 5 - Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de dezembro de 2019



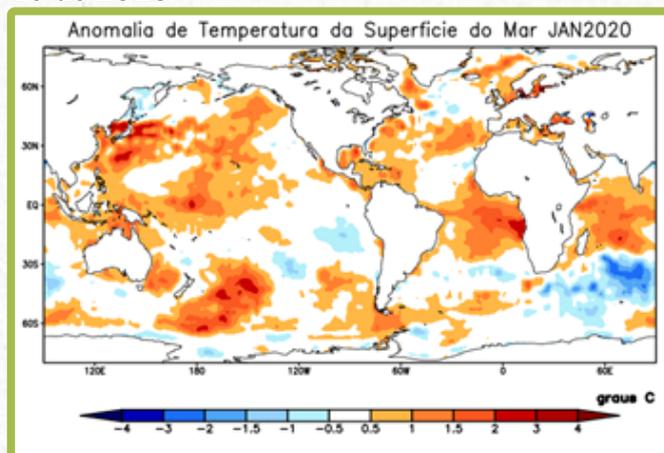
Fonte: INPE (2020)

Figura 6 - Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de janeiro de 2020



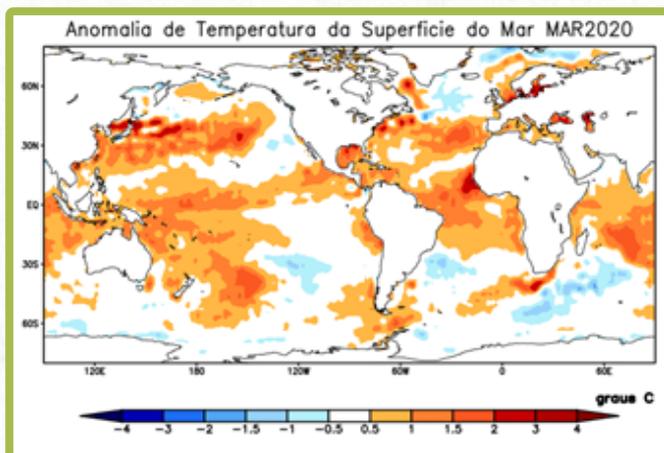
Fonte: INPE (2020)

Figura 7 - Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de fevereiro de 2020



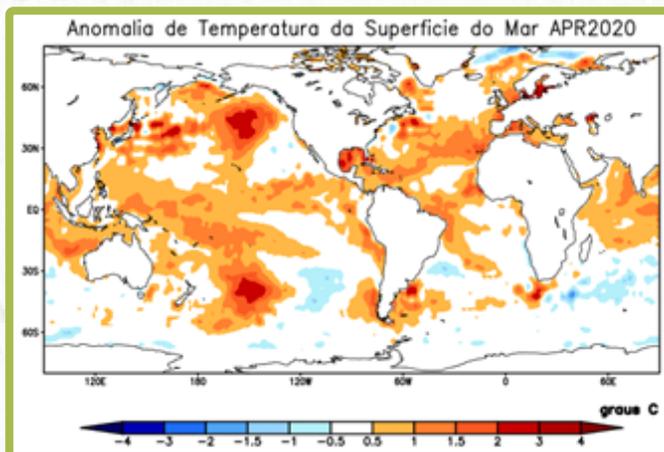
Fonte: INPE (2020)

Figura 8 - Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de março de 2020



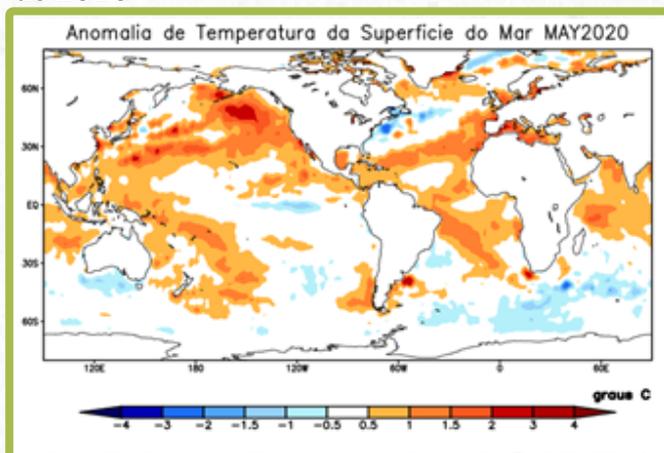
Fonte: INPE (2020)

Figura 9 - Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de abril de 2020



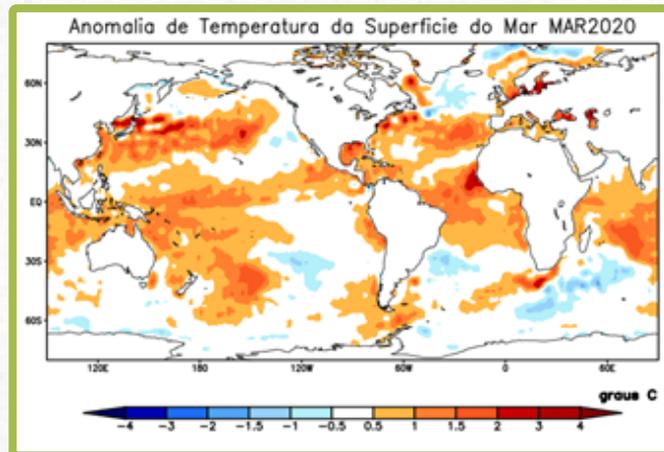
Fonte: INPE (2020)

Figura 10 - Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de maio de 2020



Fonte: INPE (2020)

Figura 11 - Condições das temperaturas da superfície do mar (TSMs) para o mês de março de 2020

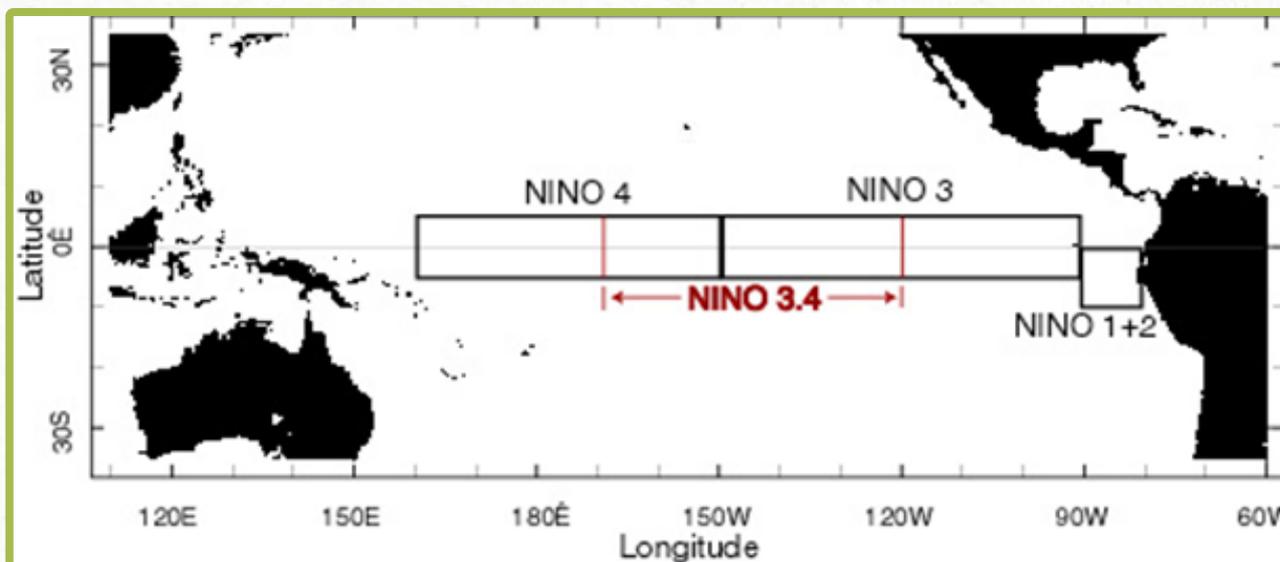


Mediante as figuras apresentadas, foi possível avaliar as flutuações de TSM para cada compartimento oceânico específico, com suas respectivas respostas na configuração dos sistemas atmosféricos atuantes no estado do Maranhão para os cinco primeiros meses de 2020. Nesse sentido, estão demonstradas a evolução das condições dos Oceanos Pacífico e Atlântico, nessa ordem. Após, encontra-se uma abordagem quanto às Zonas de Convergência Intertropical (ZCIT) e do Atlântico Sul (ZCAS), bem como o desenvolvimento de VCANs e suas respostas na dinâmica atmosférica do território maranhense, conforme disposto a seguir.

4.1 SITUAÇÃO DO OCEANO PACÍFICO

Inicialmente, a análise deve ser procedida em relação à maior área oceânica da Terra: o Oceano Pacífico. Sua área total excede os 32,3% da superfície do globo e, portanto, é o recorte geográfico que mais recebe insolação direta e, por conseguinte, nele atuam os principais sistemas interativos oceano-atmosfera. Destaca-se nesse contexto o fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul), que ocorre no Pacífico Equatorial (entre 5° N e 5°S de latitude, aproximadamente) e está dividido em quatro macrorregiões, sendo que a denominada “Niño 3.4” é a que possui interferência direta na Climatologia do Brasil e, sobretudo, do Maranhão. Sua disposição está presente na Figura 12.

Figura 12 - Regiões oceânicas do fenômeno ENOS em que são aferidas as temperaturas do Oceano Pacífico para a definição do Índice de Oscilação Sul (IOS). Para o Maranhão, a Região Niño 3.4 é a mais relevante para análise de conjunto, evidentemente com outros sistemas acoplados, para a definição das dinâmicas de sistemas formadores de tempo e clima



Fonte: Silva e Silva (2015, p. 39)

Ademais, o fenômeno ENOS interfere diretamente em praticamente todos os sistemas atmosféricos terrestres, por teleconexões⁷ oceano-atmosfera, e é caracterizado por três fases, a citar:

- a) fase positiva, ou El Niño propriamente dito, em que as TSMs estão, entre oito e 12 semanas consecutivas, no mínimo, acima de $+0,5^{\circ}\text{C}$ em relação às médias históricas. Em geral, são responsáveis por diminuição da nebulosidade e das precipitações no estado do Maranhão, por vezes gerando perdas em produções agropecuárias e silvicultoras não irrigadas, bem como escassez hídrica;
- b) fase de neutralidade, ou fase neutra, caracterizada por TSMs está entre oito e 12 semanas consecutivas no mínimo entre $-0,5^{\circ}\text{C}$ e $+0,5^{\circ}\text{C}$ em relação à climatologia, sem grandes discrepâncias de volumes de precipitação ou de valores de temperaturas mínimas e máximas em comparação com as normais de clima previstas para cada região do estado do Maranhão;

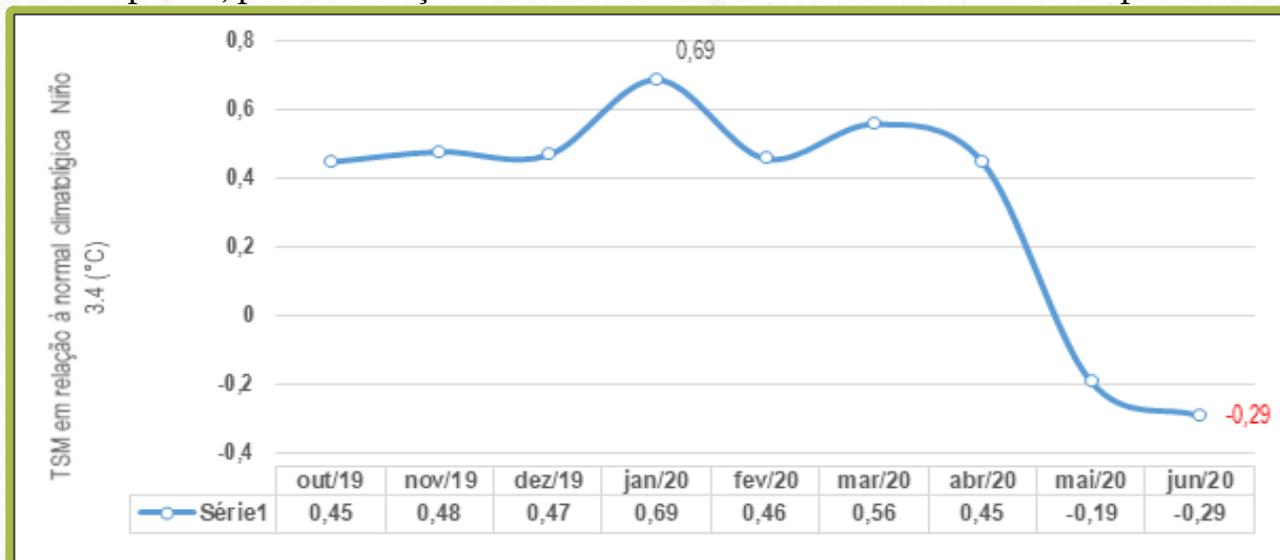
⁷ Teleconexões são todos e quaisquer conjuntos de processos oceanográficos e atmosféricos e suas implicações em áreas distantes do seu centro de origem. São importantes para a compreensão das dinâmicas dos sistemas produtores e formadores de tempo e clima. Podem ser compreendidas como sinônimo de processos interativos.

c) fase negativa, ou La Niña, período que, entre oito e 12 semanas consecutivas, no mínimo, estão dispostas abaixo de $-0,5^{\circ}\text{C}$ em relação às observações históricas. Ao contrário da fase positiva, caso haja tendência de acoplamento entre as condições de TSMs do Pacífico e do Atlântico, há condições de elevação dos volumes de precipitação para valores no mínimo acima de 10% em comparação às normais climatológicas. Por conseguinte, há tendência de dias mais nublados durante o período chuvoso e amenização de temperaturas mínimas e máximas durante o primeiro semestre, sobretudo, dado o bloqueio parcial de incidência direta de radiação solar.

Assim, considerando que, para haver teleconexões meteorológicas e climáticas entre o Oceano Pacífico e o estado do Maranhão, por exemplo, há que se estabelecer um parâmetro analítico de que há atraso de aproximadamente três meses entre as dinâmicas de TSMs daquele compartimento oceanográfico especificamente na Região Niño 3.4, com suas implicações nas dinâmicas de precipitações pluviométricas e de temperaturas no estado (NUNES; DIAS, 2019). Isso é relevante, pois para a análise de condições do fenômeno ENOS para efeitos deste trabalho, há que se ter noção da evolução das dinâmicas oceânicas do referido oceano a partir de outubro de 2019.

Por conseguinte, há um índice calculado diariamente pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, ou Administração Nacional Oceânica e Atmosférica, em tradução livre), instituição de pesquisa vinculada ao Departamento de Comércio dos Estados Unidos, denominado Índice de Oscilação Sul (IOS). Este, por seu turno, aponta desde janeiro de 1950 até o mês atual as condições de TSM de toda a extensão do Pacífico Equatorial, da América do Sul à Oceania. É a partir dele que se faz projeções acerca da ocorrência de uma das três fases do fenômeno ENOS, segundo os critérios de variabilidade de temperaturas, conforme apontado anteriormente. A Figura 13 apresenta a evolução do IOS para os meses de outubro de 2019 a junho de 2020 para a região Niño 3.4.

Figura 13 - Regiões oceânicas do fenômeno ENOS em que são aferidas as temperaturas do Oceano Pacífico para a definição do Índice de Oscilação Sul (IOS). Para o Maranhão, a Região Niño 3.4 é a mais relevante para análise de conjunto, evidentemente com outros sistemas acoplados, para a definição das dinâmicas de sistemas formadores de tempo e clima.



Fonte: Adaptado de Climate Prediction Center (2020)

A evolução das TSMs do Oceano Pacífico Equatorial para a região Niño 3.4 aponta para um indicativo de neutralidade, com viés positivo, entre outubro e dezembro de 2019. Isso justifica parcialmente a tendência de consenso entre os institutos de pesquisa brasileiros quanto à ocorrência de precipitações dentro dos volumes estimados pelas normais climatológicas para o intervalo de janeiro a abril de 2020, meses mais chuvosos no estado do Maranhão.

A elevação do IOS por aproximadamente quatro semanas, em janeiro, possibilitaria, em tese, uma ligeira redução das chuvas no mês de abril de 2020, com a ampliação de veranicos⁸ na segunda quinzena. Os níveis pluviométricos de maio em boa parte do estado do Maranhão (conforme será visto em capítulo posterior) ainda esteve ligado à resposta do IOS de janeiro e fevereiro, embora houvesse ligeira tendência de queda em 0,23°C nas TSMs médias da região Niño 3.4. Com isso, parte das estações meteorológicas registraram chuvas abaixo das normais climatológicas em maio de 2020.

Os valores de IOS para abril, maio e junho de 2020 não têm nenhuma relação direta com os quantitativos totais de precipitação para todo o estado do Maranhão para o período analisado (janeiro a junho de 2020). Dessa manei-

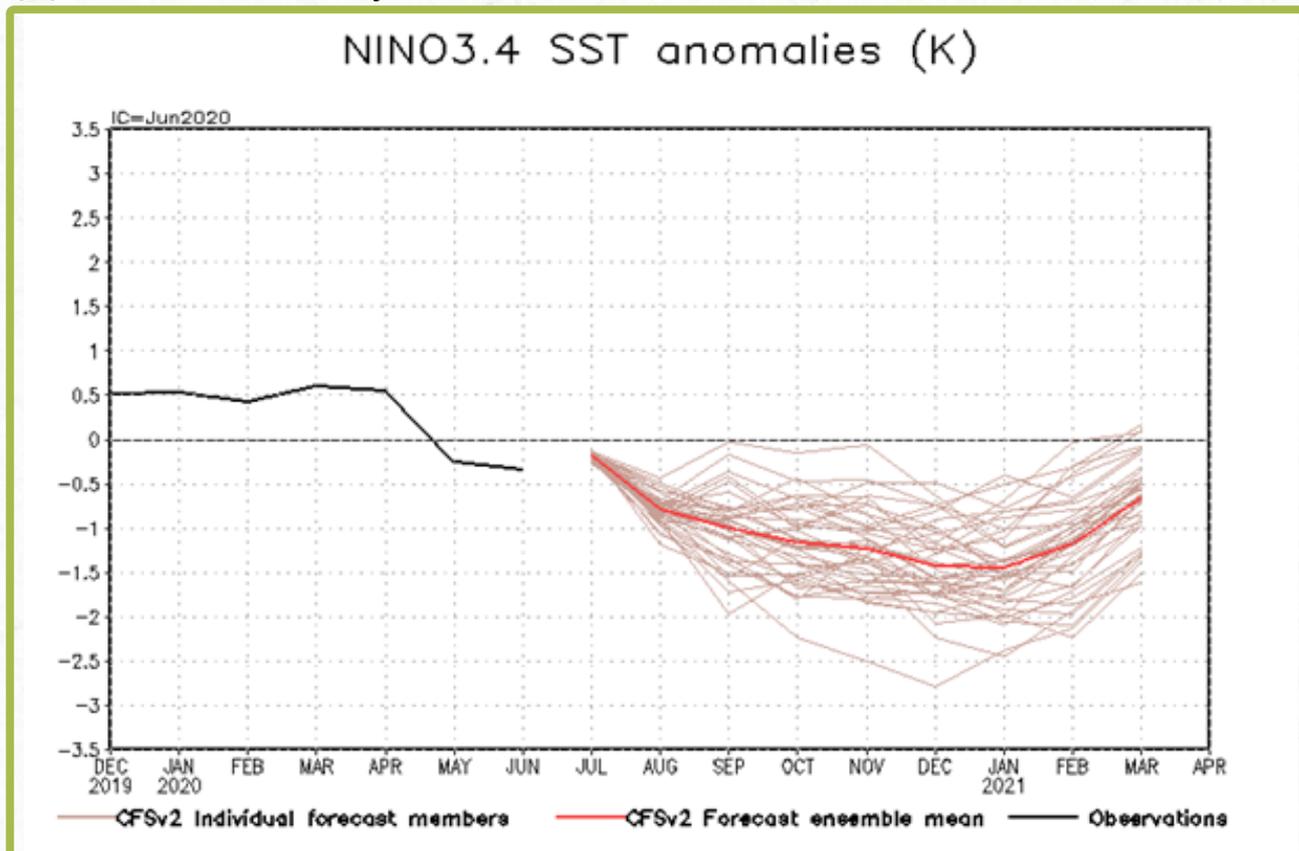
⁸ Veranicos são os assim denominados intervalos de alguns dias a até quatro semanas nas dinâmicas de precipitações pluviométricas regulares em uma região, com conseqüente elevação da incidência de radiação solar e de aumento das temperaturas mínimas e máximas. É importante o conhecimento desses padrões meteorológicos e climáticos para, dentre outros processos socioprodutivos, indicar os ritmos de colheita, com conseqüente plantio posterior de ciclo curto, relacionados ao que se convencionou denominar no agronegócio brasileiro de safrinha

ra, é apontada uma tendência de queda do indicador na ordem de $0,11^{\circ}\text{C}$ entre março e abril, voltando a condições de tendência à neutralidade do ENOS, o que permanece entre abril e maio, com índice enquadrado entre $+0,5^{\circ}\text{C}$ e $-0,5^{\circ}\text{C}$ em relação às normais climatológicas para a região Niño 3.4.

Contudo, entre abril e maio houve uma diminuição na ordem de $0,64^{\circ}\text{C}$ em apenas quatro semanas, apontando o IOS para sinal negativo em comparação com as médias climatológicas. Isso, di per si, caracteriza anomalia que não era verificada desde maio de 2018 (CLIMATE PREDICTION CENTER, 2020), momento esse em que havia a configuração de um final de episódio de ENOS negativo, ou La Niña. Já no mês de junho houve uma diminuição na ordem de $0,1^{\circ}\text{C}$ na TSM do Pacífico, indicando uma tendência próxima à configuração de um episódio frio de ENOS.

Os institutos de pesquisa brasileiros e internacionais especializados no tema apontam clara tendência para a formatação de um episódio de La Niña nos próximos dois meses, em sendo mantidas as condições de queda dos valores de IOS. A Figura 14 aponta, por meio de modelos matemáticos, as tendências de resfriamento da Região Niño 3.4 até janeiro de 2021, com reais condições de formatação de episódio fraco a moderado de La Niña, com TSMs atingindo um pouco abaixo de $-1,0^{\circ}\text{C}$ em relação às normais climatológicas.

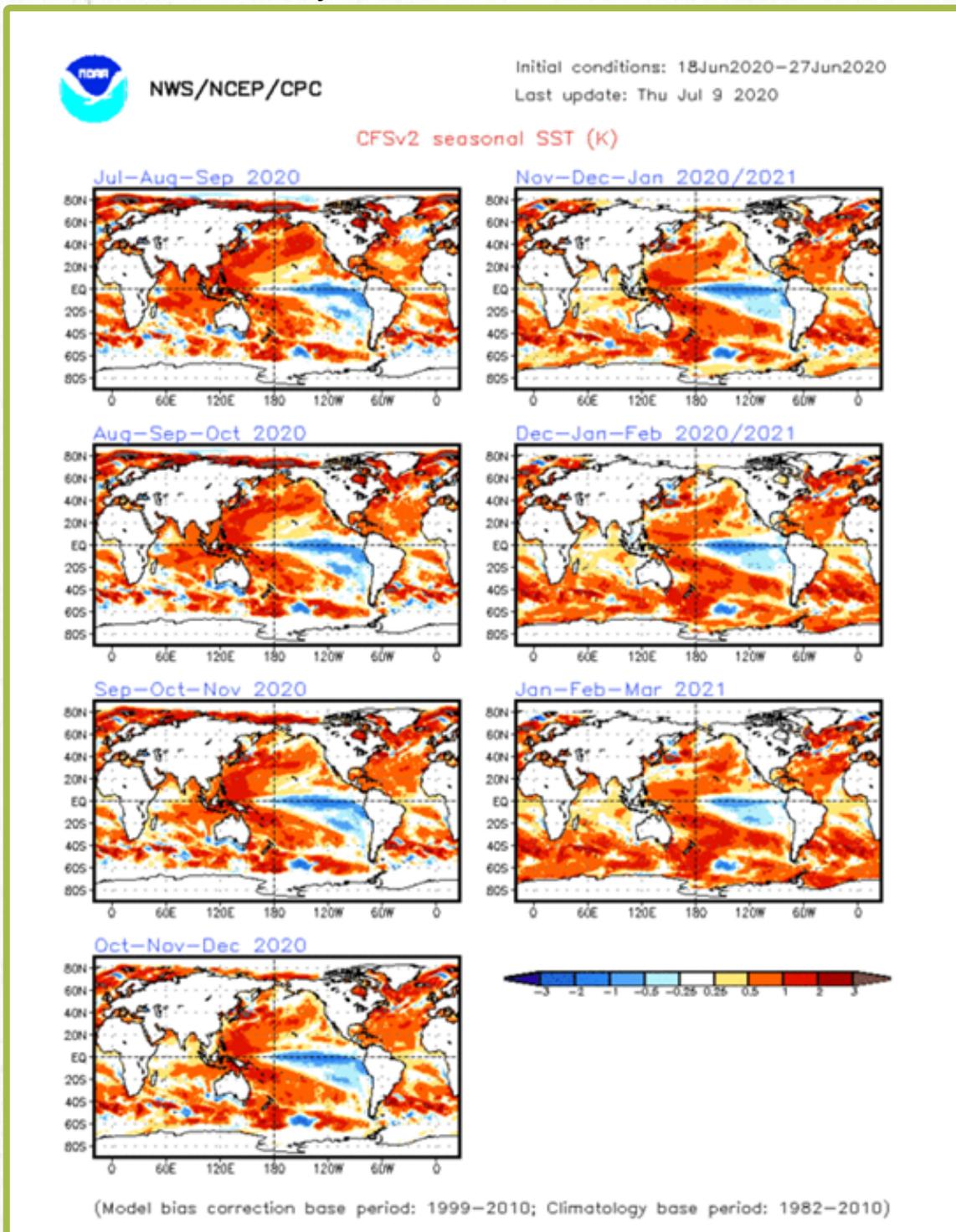
Figura 14 - Previsão de consenso acerca do comportamento evolutivo das TSMs de Niño 3.4 entre maio de 2020 e janeiro de 2021



Fonte: Adaptado de Climate Prediction Center (2020)

No que tange ao contexto territorial do estado do Maranhão, os padrões de neutralidade climática já descritos serão sucedidos por tendência de resfriamento das águas do Pacífico Equatorial. Aliás, caso haja tendência de neutralidade de porções das águas do Atlântico Tropical Norte (conforme aponta a Figura 15) para o intervalo compreendido entre novembro de 2020 e janeiro de 2021, haverá possibilidade de aumento das precipitações pluviométricas na região central maranhense, com desdobramentos para o Sul.

Figura 15 - Previsão de consenso acerca do comportamento evolutivo das TSMs de todos os oceanos entre julho de 2020 e fevereiro de 2021

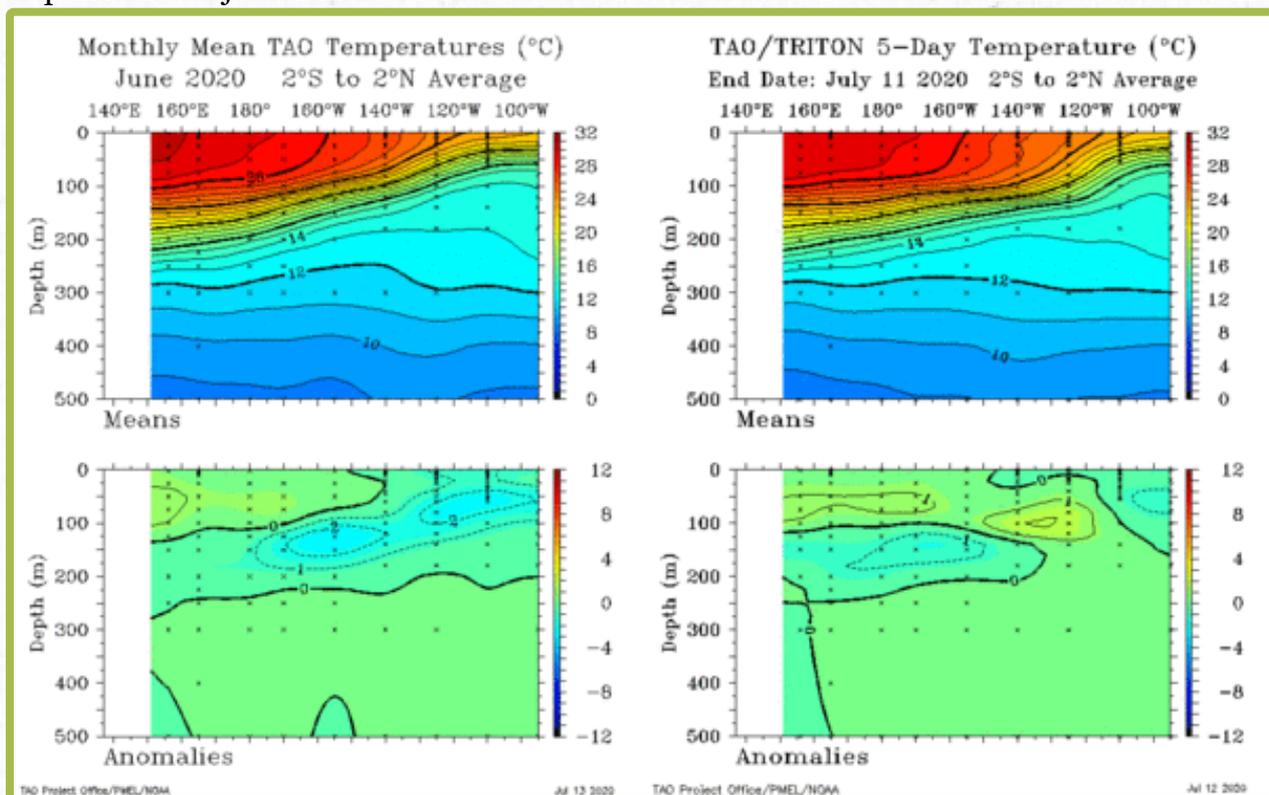


Fonte: Adaptado de Climate Prediction Center (2020)

Os cenários variam de condições de relativa neutralidade, com valores iguais ou próximos da normal de TSM, até temperaturas inferiores a 2,5°C em relação às condições médias históricas. Por conseguinte, com base nesses dados, analistas ainda não entraram em consenso em relação ao modelo de previsão, apontando perspectiva estatística de 50 a 55% de ocorrência do La Niña para o próximo trimestre (ENSO, 2020).

Os padrões citados estão bem desenvolvidos na coluna d'água do Pacífico Tropical, com ressurgência (águas frias de fundo alcançando a superfície do oceano) já caracterizada no início de junho de 2020 (Figura 16). Em janeiro, as águas frias estavam a aproximadamente 400 metros abaixo do nível do mar. Atualmente, esse valor já está em aproximadamente 50 metros, com temperaturas que variam de 12°C a 20°C, o que confirma a probabilidade alta de ocorrência de La Niña nos próximos meses, a condicionar o ritmo de precipitações no início do período chuvoso no estado do Maranhão, a partir do final de outubro e início de novembro, conforme já mencionado.

Figura 16 - Painel de situação das temperaturas subsuperficiais das águas do Pacífico Equatorial em junho de 2020



Fonte: INPE (2020)

Ante o exposto, é recomendável que o Governo do Maranhão, por meio de suas instituições de pesquisa e universidades, desenvolva o início de um processo contínuo de monitoramento das condições oceanográficas no Oceano Pacífico, especificamente na região Niño 3.4, haja vista sua contribuição elevada na qualidade dos padrões de chuva no Maranhão. Somam-se a isso a importância desse esforço de acompanhamento para informar aos segmentos sociais, econômicos e políticos acerca de sua evolução e quais são os tipos de mecanismo de resiliência ou de investimentos frente à ocorrência de sinistros relacionados à ação dos agentes atmosféricos.

Tal argumento levanta uma situação analítica bem específica: não se deve avaliar apenas as condições de um oceano como indicativo para a compreensão

das dinâmicas atmosféricas atuantes no espaço total maranhense. A seguir será apresentada a situação do Oceano Atlântico na gênese e desenvolvimento dos sistemas formadores de condições atmosféricas atuantes no Maranhão.

4.2 SITUAÇÃO DO OCEANO ATLÂNTICO

Situado na margem equatorial oeste do Oceano Atlântico, o território maranhense apresenta relações diretas com os padrões de aquecimento, neutralidade ou resfriamento das TSMs entre 20° de latitude Norte e 15° de latitude Sul, em média (NUNES; DIAS, 2019). Nesse sentido, os processos oceanográficos de teleconexões entre as águas atlânticas e o Oceano Pacífico são condições necessárias à compreensão da gênese e desenvolvimento de processos atmosféricos de macro e mesoescala atuantes sobre o estado.

Ao contrário do Oceano Pacífico, com o fenômeno ENOS levando de oito a 12 semanas para ter suas repercussões no Maranhão, as respostas do estado das TSMs ao Norte e ao Sul do Atlântico Tropical podem levar de alguns dias a poucas semanas. Geralmente, há indução das regiões mais frias, portanto de altas pressões atmosféricas, a condicionar a circulação atmosférica de territórios situados na Zona Tropical. Mais próximo ao Equador terrestre, há predominância de áreas cuja pressão atmosférica é baixa. Esse modelo, considerado ideal, assinala que a presença de sistemas meteorológicos que atuem entre 20° de latitude Norte e 15° de latitude Sul podem ocasionar bloqueios no prolongamento dos sistemas de frentes frias em direção a áreas mais próximas do Centro do Atlântico (YNOUE et. al., 2017).

Contudo, o fato de acontecer oscilações na ocorrência e prolongamento de trens de ondas de Rossby⁹, provenientes do Oceano Índico, ao atravessar o Sul do Pacífico e chegar ao Atlântico Subtropical, pode proporcionar a redução de chuvas em suas áreas de instalação e convergência de sistemas continentais que transpassam o continente Sul-americano, com a faixa de instabilidades associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), por exemplo.

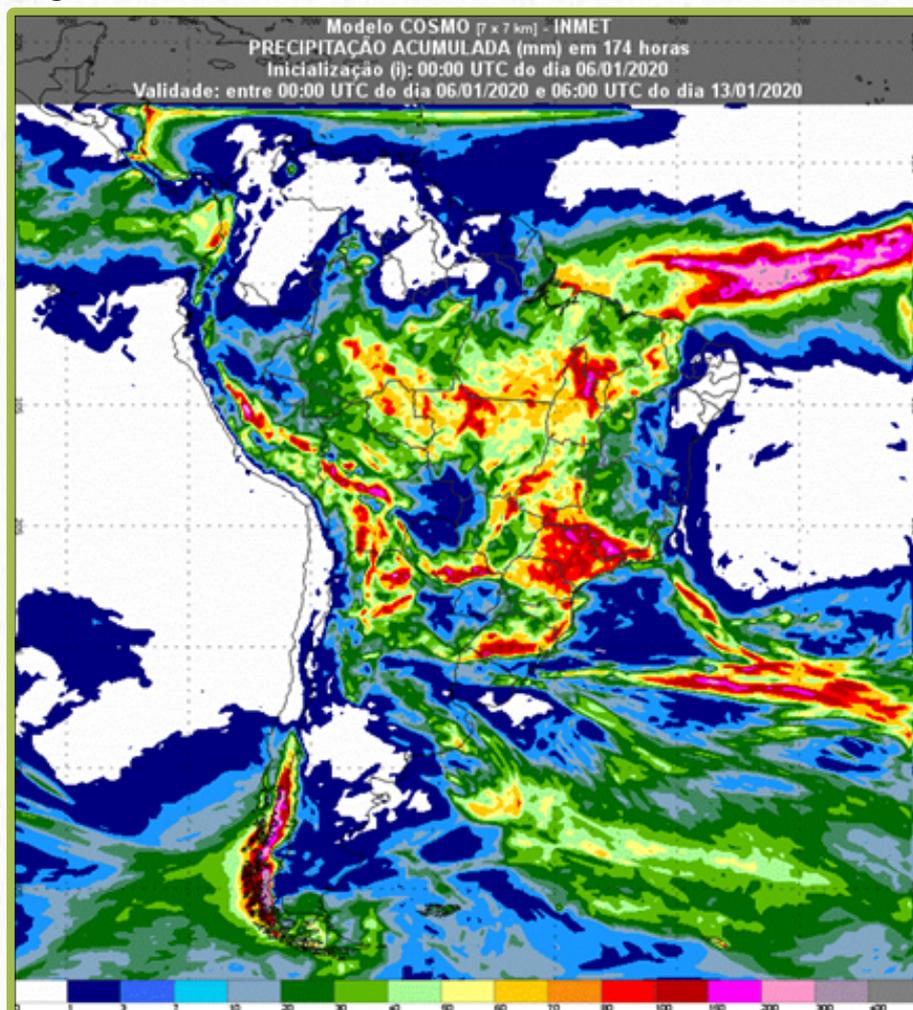
⁹ Segundo Nery e Carfran (2013), os “trens de ondas de Rossby” são sistemas atmosféricos que percorrem em altitude média a elevada (entre 1 km e 11 km de altitude em relação ao nível do mar), que transportam condições de umidade, pressão e temperatura homogêneas por alguns poucos dias a

A ZCAS, por sua vez, tem seus prolongamentos fluando da divisa da Colômbia com a Venezuela e se desenvolve pela porção Centro-Norte do continente, passando pelo Amazonas, Acre, Rondônia, Mato Grosso, Pará, Tocantins, Centro-Sul do estado do Maranhão, Extremo Sul do Piauí, Goiás, Distrito Federal, Bahia, Mato Grosso e todos os estados da Região Sudeste (Figura 17). A partir disso, converge para um centro de ação situado a algumas centenas de quilômetros ao largo¹⁰ da Costa do Brasil de Sudeste, onde se encontra a instalação dos trens de ondas de Rossby no Atlântico Sul. Esse processo atmosférico é caracterizado por um sistema de monções anuais, ou seja, padrões de circulação atmosférica continente-oceano com ampla possibilidade de formação de condições de precipitações.

uma ou duas semanas em latitudes médias, sobretudo ao Sul dos Oceanos Índico, Pacífico e Atlântico. Elas são capazes de alterar os núcleos genéticos de condições de tempo e clima de extensão continental, gerando condições de tempo severos, com vórtices e transporte de calor e umidade do Equador do Atlântico, por exemplo, em direção ao continente Sul-americano e deste para o Atlântico Sul.

¹⁰A expressão ao largo significa qualquer ponto situado para fora das áreas emersas continentais e tem o mesmo significado que mar adentro.

Figura 17 - Precipitação acumulada em toda a América do Sul, com destaque para o corredor central de umidade associado à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), destacada em linhas tracejadas diagonais. Essa condição meteorológica esteve associada, ainda, à descida da Zona de Convergência Intertropical e sua presença estacionária ao Norte do Maranhão, bem como pela incidência de VCANs, cujo centro estava ao largo da costa baiana e as bordas sobre o Oeste do Ceará ao Leste do Pará, englobando o Maranhão



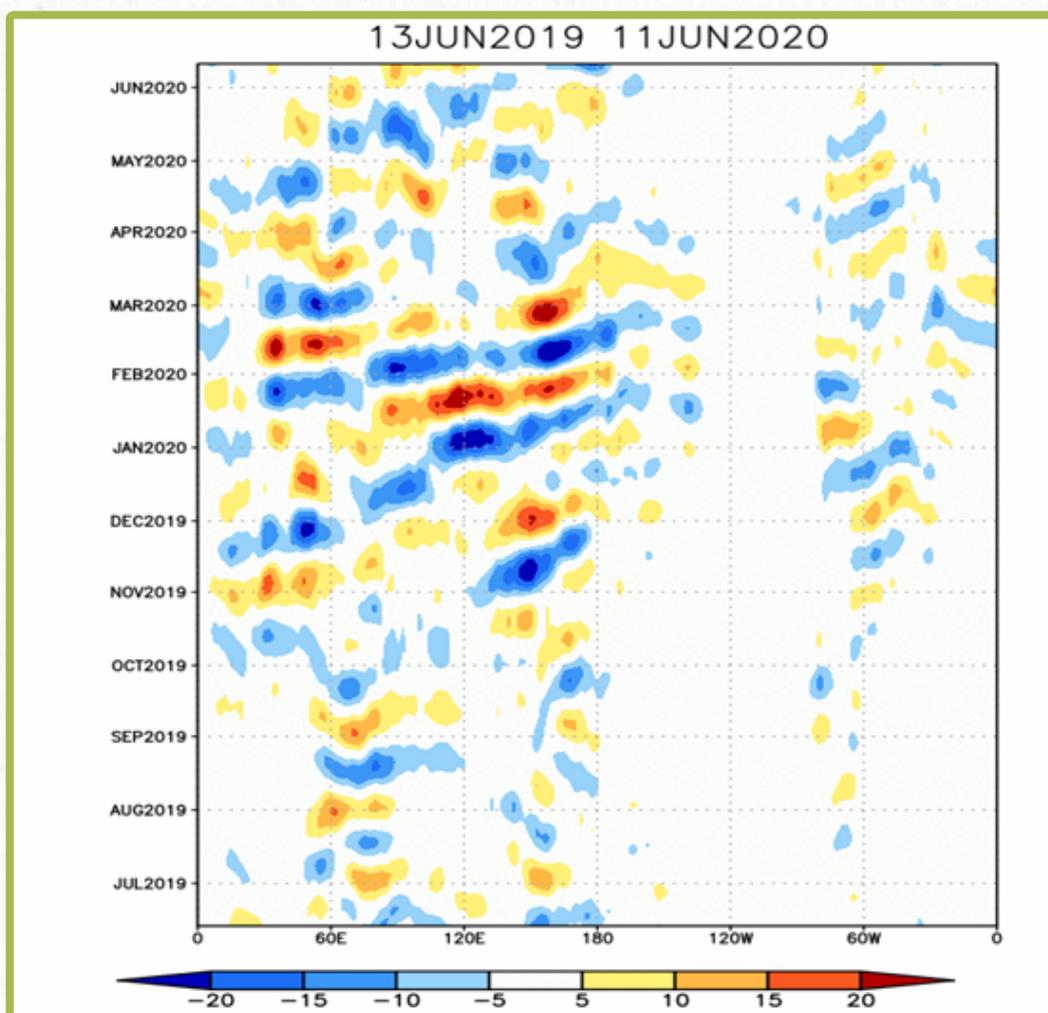
Fonte: INPE (2020)

Os trens de ondas de Rossby atuantes no Atlântico Sul, em consonância com a Oscilação 30-60 dias, ou Oscilação de Madden-Julian (OMJ)¹¹, provenientes desde o Oceano Índico, só que mais próximas ao Equador terrestre (Figura 18), proporcionaram para o estado do Maranhão padrões convergentes de umidade, sobretudo no primeiro trimestre de 2020. Isso, conjugado com a atuação dos VCANs,

¹¹ Oscilação de Madden-Julian, também denominada de Oscilação 30-60 dias ou OMJ, são sistemas meteorológicos que, em função do seu deslocamento em conformidade com a rotação da Terra (Oeste - Leste), prolongam-se pelo cinturão equatorial do Globo (KAYANO et al., 2013). Seu tempo de duração é ondulatorio, variando de intensidade em uma duração de 30 a 60 dias, daí sua denominação. Esse sistema ajuda na modulação da ZCAS, podendo, inclusive, causar oclusão dos efeitos do fenômeno ENOS, como foi o caso do primeiro semestre de 2019.

proporcionou a ocorrência de índices elevados de precipitações pluviométricas em praticamente todo o Maranhão e Unidades Federativas vizinhas entre janeiro e março de 2020, para além da temporada habitual dos mesmos, que vai de dezembro a fevereiro, em média.

Figura 18 - Diagrama esquemático evolutivo entre junho de 2019 e junho de 2020 da Oscilação de Madden-Julian, em quadrilátero tracejado que aponta (em tons azulados) a sua atuação mensal de maior intensidade e colaboração para a formatação de áreas de instabilidade e de precipitações



Fonte: INMET (2020)

Convém destacar dois aspectos acerca dessa conjugação de dados e informações acerca da Oscilação 30-60 dias no contexto do Maranhão:

- a) houve a ocorrência desse fenômeno em todos os meses analisados, porém com maior intensidade na segunda quinzena de janeiro, segunda quinzena de fevereiro, primeira quinzena de março e primeira semana de abril de 2020, sendo fortemente associada à atuação da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e, portanto, na ocorrência de sistemas de tempestades regionais;

b) o enfraquecimento da intensidade da OMJ na segunda quinzena de abril e durante o mês de maio foram responsáveis pela diminuição dos índices pluviométricos regionais, sobretudo no Norte do Maranhão, com o deslocamento para Norte da ZCIT, com padrão um pouco mais acelerado do que em anos anteriores, cuja retirada acontece apenas em maio. Isso deixou o território maranhense mais seco em relação ao que apontam as normais climatológicas para o período 1981-2010, base de referência para as análises atmosféricas hodiernas (INMET, 2020). A gênese de sistemas com águas mais quentes ao longo da Costa Norte e Leste do Nordeste também dificultaram a inserção dos sistemas denominados Distúrbios Ondulatórios de Leste que, dentre outros efeitos, causariam precipitações regionais extensivas da faixa costeira do Maranhão até aproximadamente 300 km continente a dentro durante os meses de maio e junho. Sua atuação tem sido fraca, quando registrada (Figura 19).

Figura 19 - Situação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste, circunscritos apenas na costa Leste do Nordeste Brasileiro às 14:20h GMT do dia 23 de junho de 2020, satélite GOES-16 VA



Fonte: INMET (2020)

Quanto à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), convém mencionar a situação mensal de sua evolução de estados habituais. Com o verão do Hemisfério Sul, que se estabelece nos últimos dez dias do mês de dezembro, há predisposição de alterações em suas posições, que tendem a descer do Atlântico Norte em direção ao Norte e Nordeste do Brasil. Isso é ocasionado por mudança natural da órbita da Terra, o que gera maior intensidade no recebimento de radiação solar na região tropical brasileira e formação de sistemas atmosféricos equatoriais, responsáveis pela ampliação das faixas de instabilidade relacionadas à baixa pressão da coluna de ar.

Em seu deslocamento habitual, ela atinge o seu máximo entre fevereiro e março no estado do Maranhão, quando chega às áreas do Centro-Sul maranhense. Tal fato ocorre, sobretudo, em momentos de La Niña forte, conforme ocorreu nos anos de 2008 e 2009, por exemplo, ou em 2019, com o desenvolvimento de condições oceanográficas específicas, tanto no Pacífico quanto no Atlântico. Em 2020, com o estágio de neutralidade do fenômeno ENOS e com as águas do Atlântico Norte e Sul em condições de TSMs favoráveis, possibilitou a ocorrência de um prolongamento da atuação da ZCIT para aproximadamente a latitude de 6°S, com episódios de chuvas intensas, mormente entre o final de fevereiro e início de março nessa faixa.

Entre janeiro e março de 2020, a atuação da ZCIT sobre toda a faixa costeira maranhense, até a latitude de 4,5°S, em média, provocou a formação de zonas de instabilidade, que, por seu turno, foram conjugadas às fortes atuações de VCANs e causaram episódios de fortes tempestades de duração superior a duas horas, com altos volumes pluviométricos. Destacaram-se nesse contexto as regiões de São Luís, Turiaçu, Chapadinha e Zé Doca, por exemplo.

5.

ANÁLISE MENSAL DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS NO ESTADO DO MARANHÃO NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2020

Após a definição dos elementos formadores de tempo e clima em plataforma de dados macroescalar, bem como a identificação das teleconexões oceano-atmosfera-continente e suas implicações no território maranhense, passa-se para nova etapa da pesquisa, que busca evidenciar as respostas pluviométricas e térmicas em todo o estado durante os meses de janeiro e junho de 2020, dispostas em mapas e gráficos.

5.1 JANEIRO DE 2020

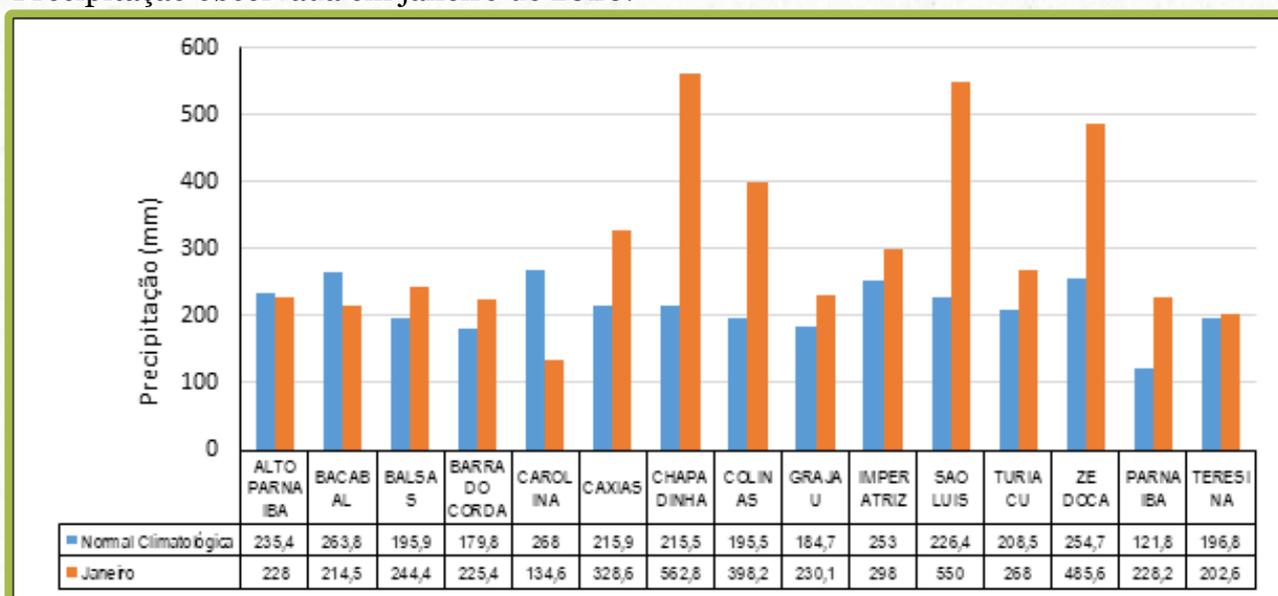
As observações desenvolvidas para o mês de janeiro de 2020 apresentaram algumas discrepâncias quanto à incidência de chuvas e de desenvolvimento de $T_{mín}$ e $T_{máx}$ em relação às respectivas normais climatológicas definidas para o intervalo 1981-2010 (INMET, 2020), conforme apresentam as Figuras 20, 21 e 22.

Podem ser feitas algumas observações relevantes sobre os fatos ocorridos no mês de janeiro em relação às normais climatológicas. A primeira, quanto à precipitação, provavelmente indica algum problema na captação de dados na Estação de Carolina (MA), já que a mesma registra aproximadamente 50% da média mensal em relação às médias históricas, o que não é compatível com a realidade regional. Provavelmente, houve índices maiores que os registrados. A segunda refere-se às temperaturas mínimas, que para todas as estações com séries históricas definidas, apresentam variações de 2,1°C a 5,9 °C em relação às normais climatológicas. Isso é um fator mesológico (ou ambiental) que, di per si, pode afetar a médio prazo a fenologia¹² de representantes da flora estadual (em todos os seus biomas), bem como para as culturas vegetais desenvolvidas no estado.

¹² Fenologia é o estudo científico das relações entre as fases biológicas de organismos vegetais dentro de um ecossistema e suas interações com o clima (PIZZATTO; PIZZATTO, 2009).

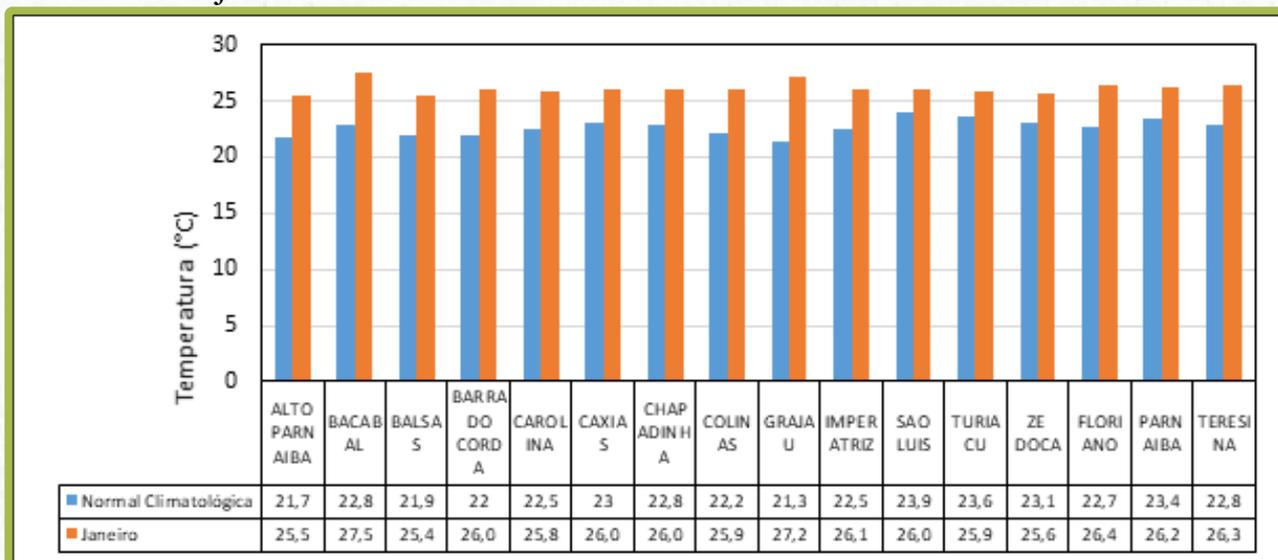
Quanto às temperaturas máximas, o que configura a terceira observação, convém afirmar que para todas as estações meteorológicas houve diminuição das médias para o mês de janeiro de 2020 em relação às normais. A variação foi de $-3,4^{\circ}\text{C}$ até $-5,7^{\circ}\text{C}$, o que somente pode ser explicado pelos horários de maiores picos chuvosos registrados nos pontos de coleta de dados meteorológicos, que, segundo o próprio INMET (2020), ocorreram entre o meio dia e as 18h. Destaca-se que o período de maior aquecimento do dia, com respectivo pico de armazenamento de calor na superfície, está situado entre 14:00h e 15:30h. As Figuras 23 a 28 apresentam os mapas de distribuição das chuvas, das $T_{\text{mín}}$ e $T_{\text{máx}}$ das normais adotadas, bem como para o mês de janeiro de 2020.

Figura 20 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Precipitação (1981-2010) e a Precipitação observada em janeiro de 2020.



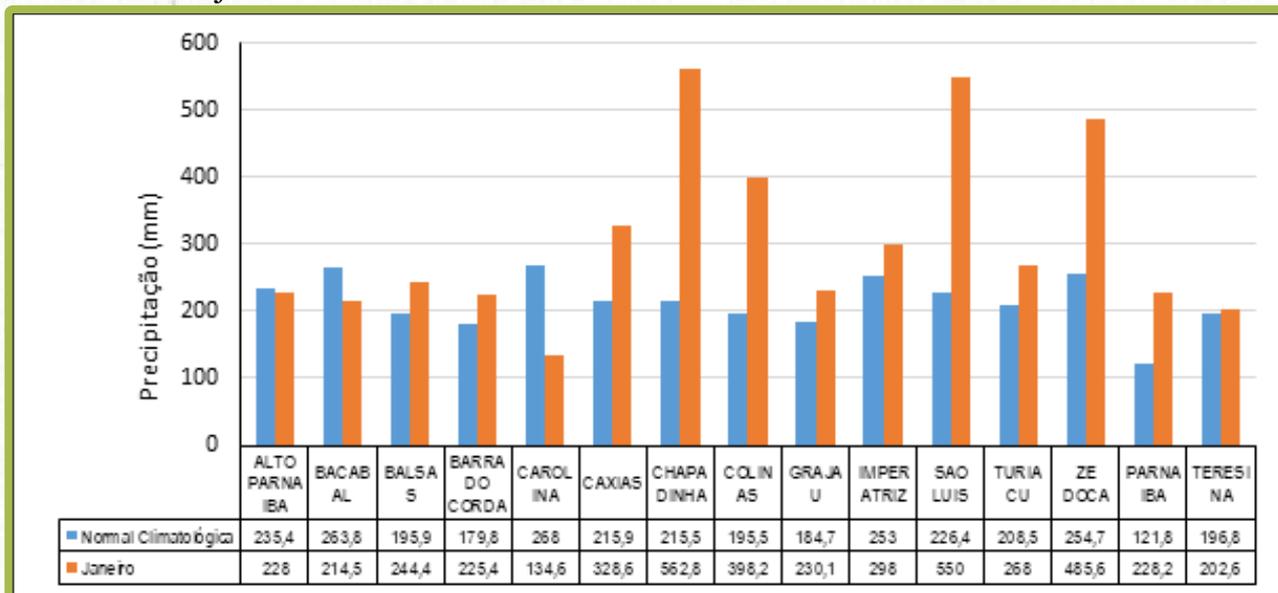
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 21 - Comparativo entre a Normal Climatológica de $T_{\text{mín}}$ (1981-2010) e a $T_{\text{mín}}$ observada em janeiro de 2020.



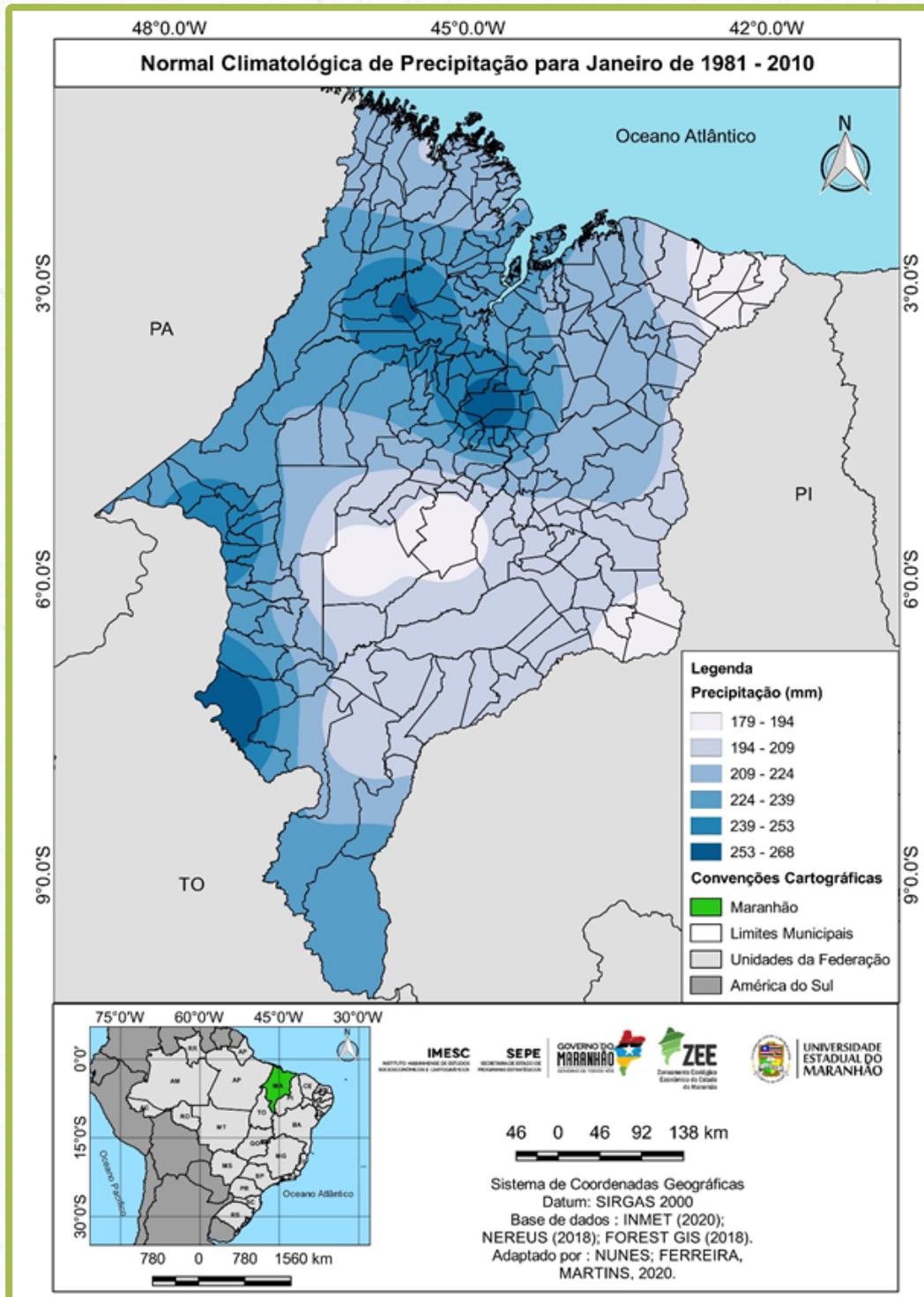
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 22 - Comparativo entre a Normal Climatológica de T_{máx} (1981-2010) e a T_{máx} observada em janeiro de 2020.



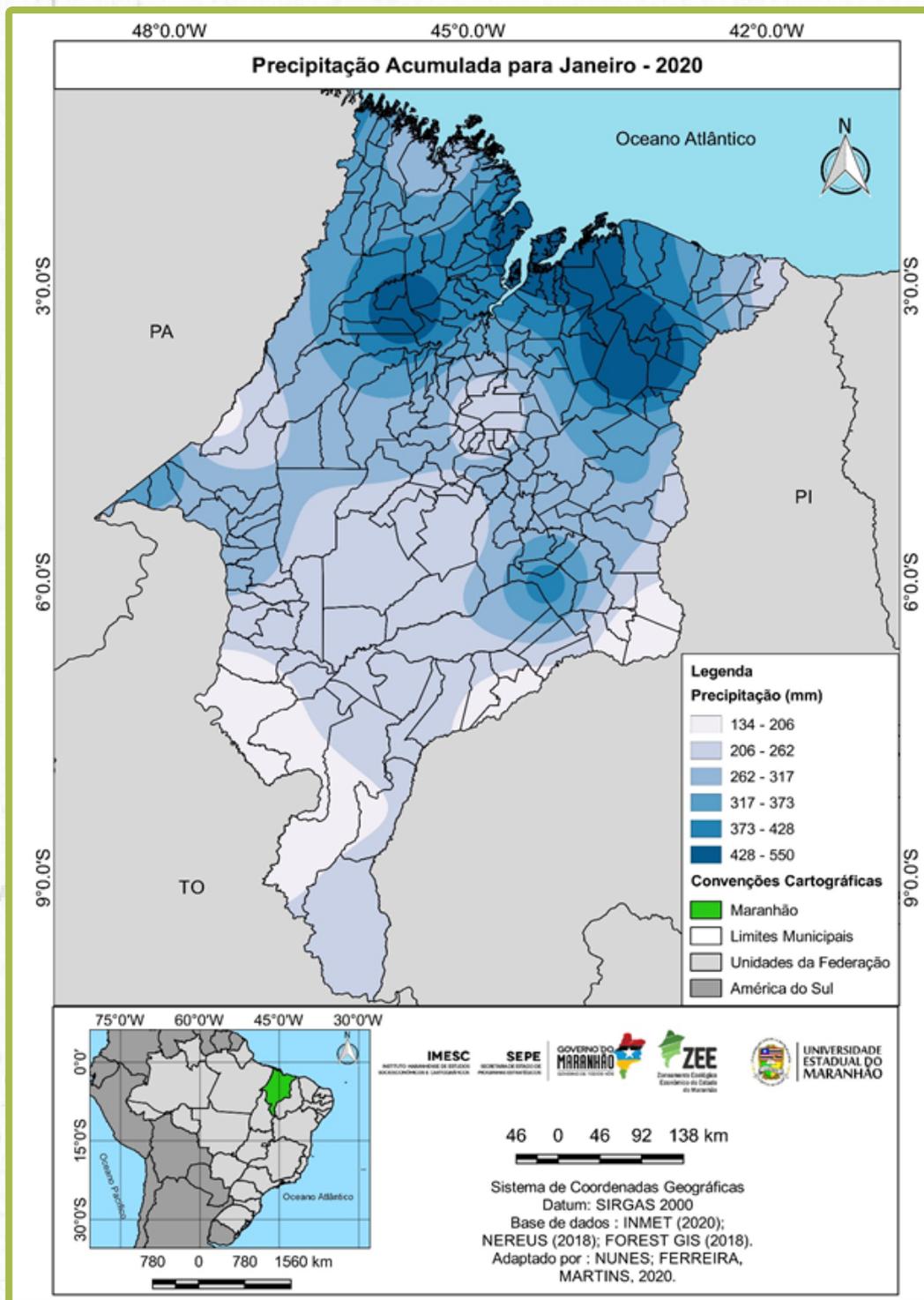
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 23 - Mapa de Normal Climatológica de precipitação para o mês de janeiro estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



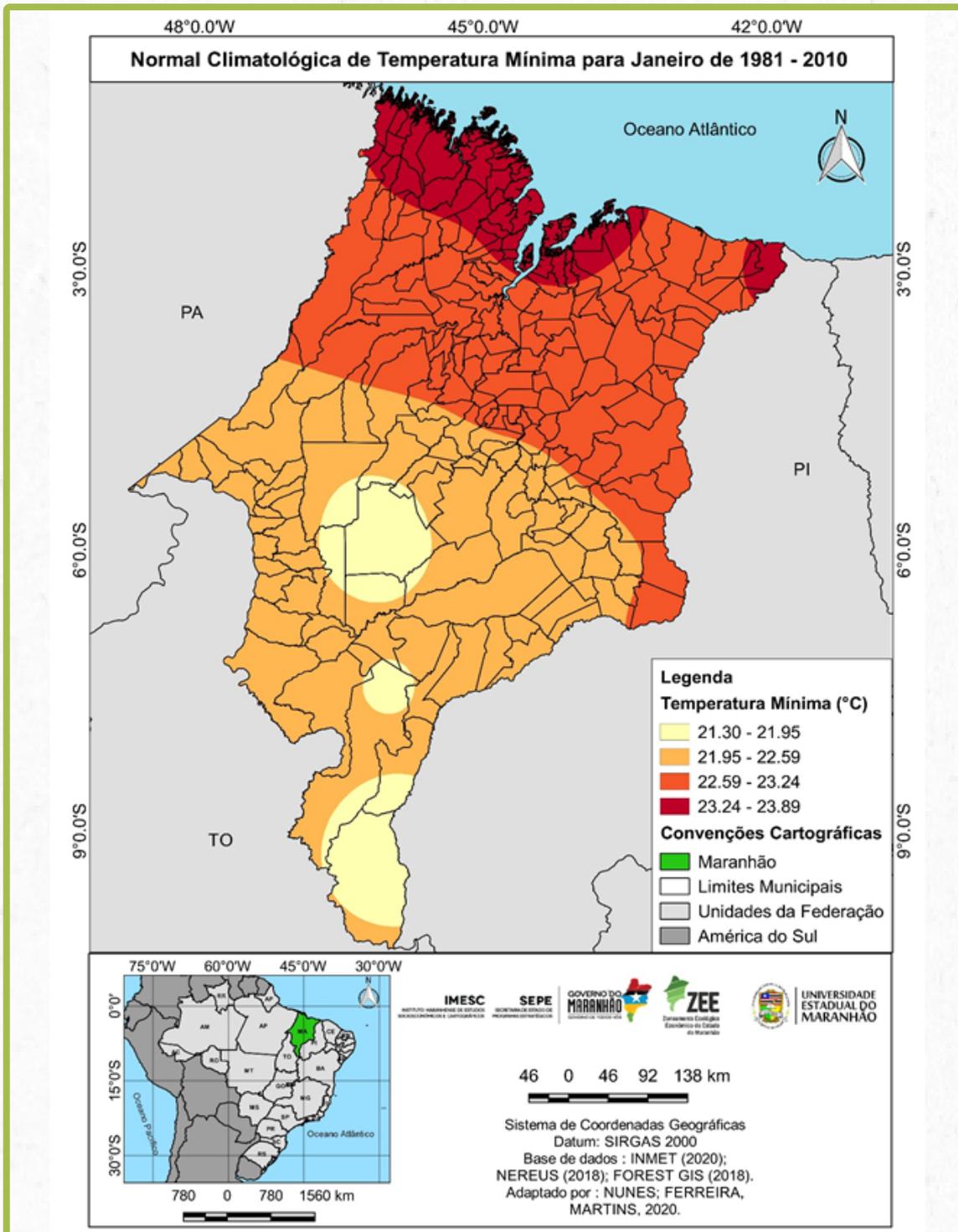
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 24 - Mapa de precipitação acumulada em janeiro de 2020 no estado do Maranhão



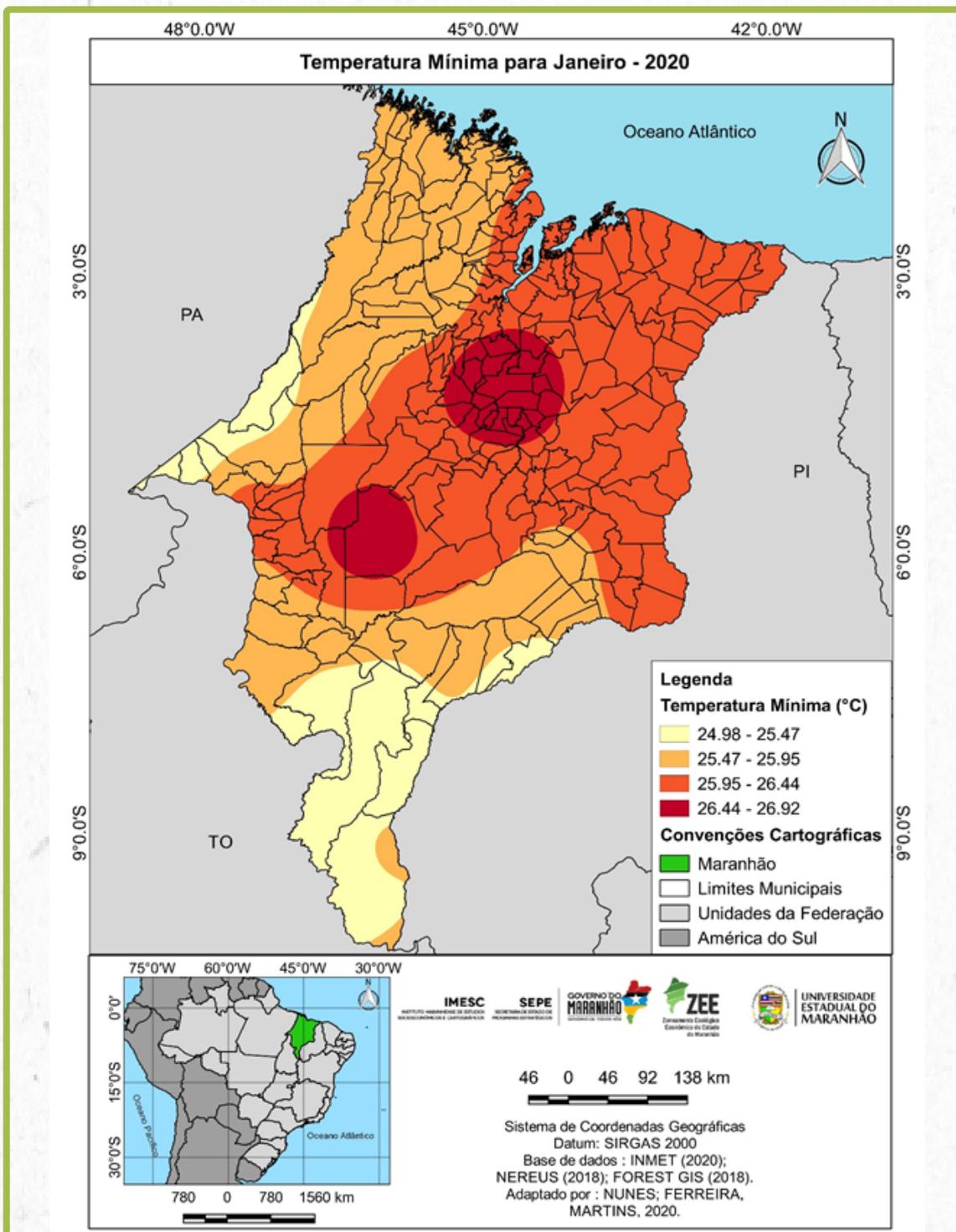
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 25 - Mapa de Normal Climatológica de Temperaturas Mínimas para o mês de janeiro estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



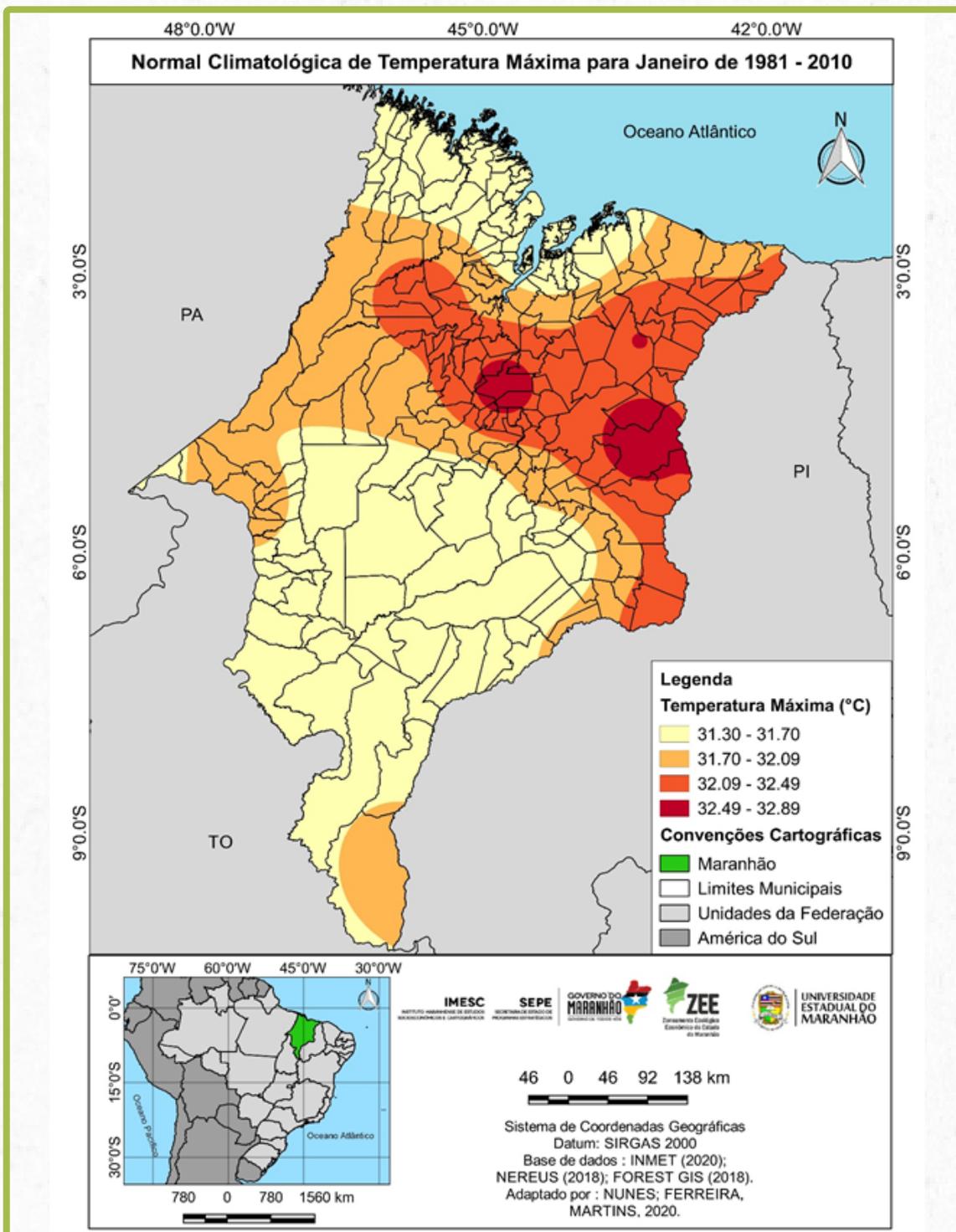
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 26 - Mapa de Temperaturas Mínimas para o mês de janeiro de 2020 para o estado do Maranhão



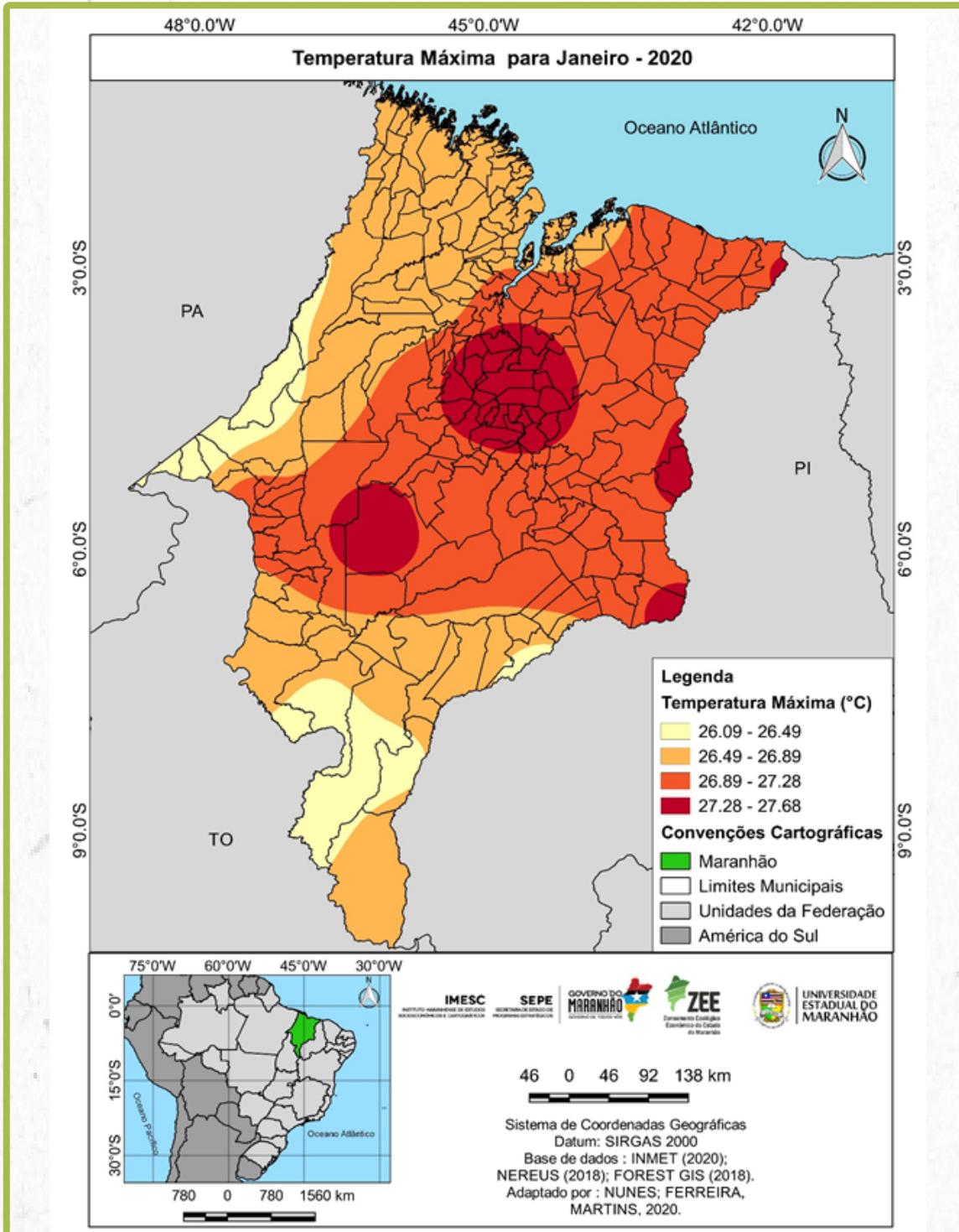
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 27 - Normal Climatológica de Temperaturas Máximas para o mês de janeiro estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 28 - Mapa de Temperaturas Máximas para o mês de janeiro de 2020 para o estado do Maranhão



Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

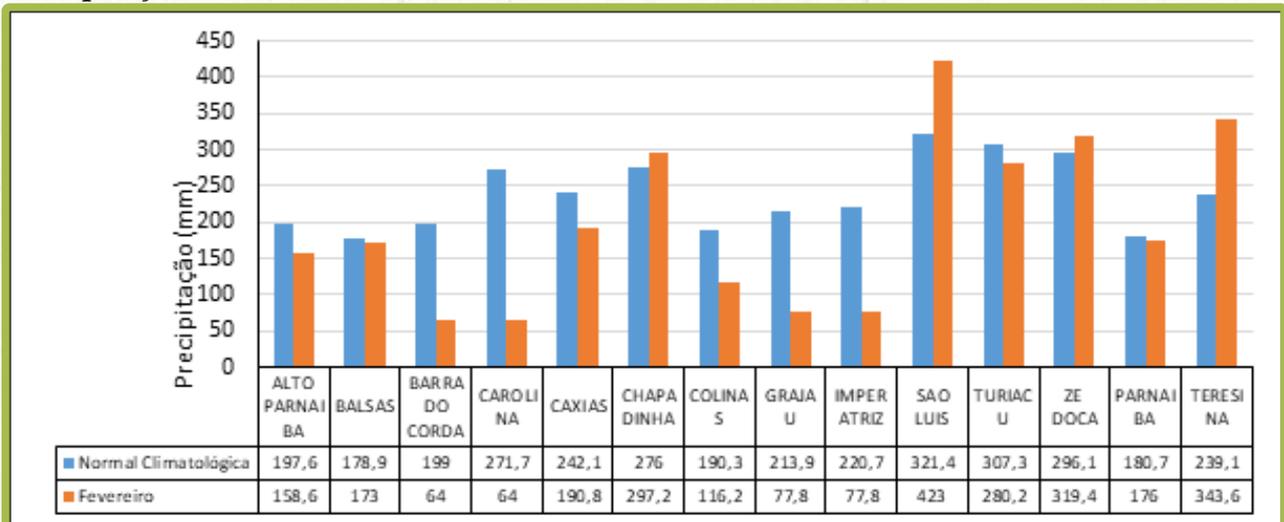
5.2 FEVEREIRO DE 2020

Dando prosseguimento aos indicadores de normalidade das condições dos processos interativos oceano – atmosfera no Pacífico Equatorial Central, bem como de águas dentro das médias históricas no Atlântico Equatorial, houve condições físicas que proporcionaram o desenvolvimento de diversos sistemas atmosféricos, conforme citado no item “4” deste estudo, e que estiveram associados a grandes volumes de chuva distribuídos por praticamente todo o estado do Maranhão.

As Figuras 29 a 31 apresentam gráficos que demonstram os comparativos entre as normais climatológicas 1981-2010 para fevereiro, bem como os dados observados para as estações do INMET adotadas para o presente estudo. Seguindo a tendência do mês de janeiro, houve manutenção do aumento das médias de $T_{mín}$ e diminuição das $T_{máx}$ em todas as estações. Enquanto nas primeiras houve valores que estiveram entre $+2,2^{\circ}\text{C}$ e $6,4^{\circ}\text{C}$, as seguintes flutuaram entre $-2,6^{\circ}\text{C}$ e $-5,3^{\circ}\text{C}$ em relação às normais climatológicas.

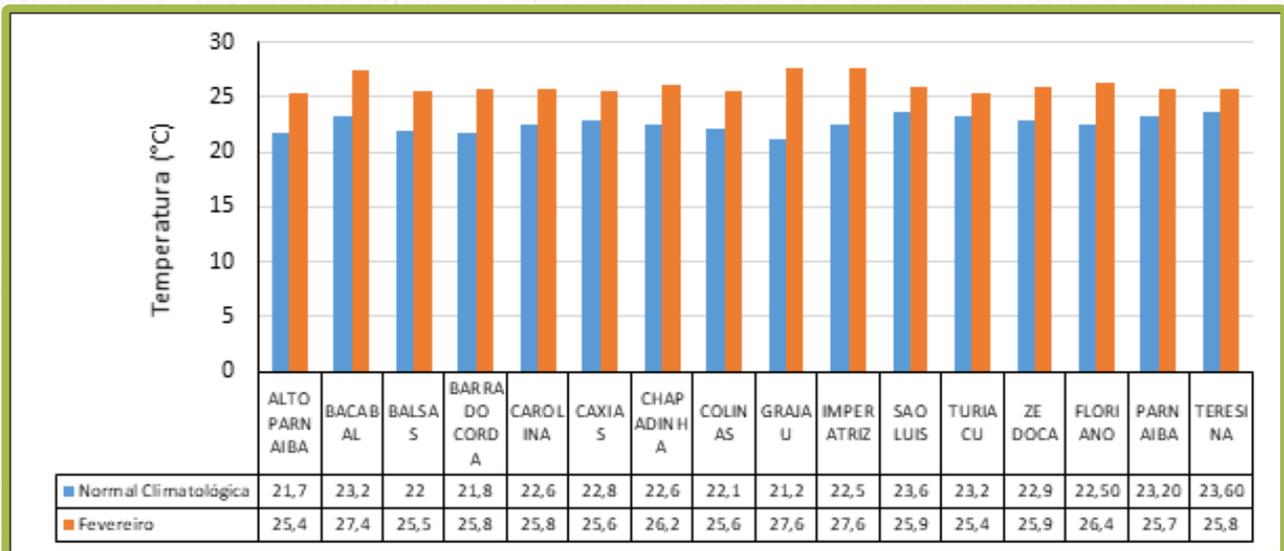
Quanto às precipitações, houve registros de ocorrências de até 144% de chuvas em relação às médias históricas no Leste Maranhense. Contudo, algumas áreas do estado passaram por déficit de precipitações, como foi o caso do Sudoeste Maranhense. Ademais, como essa região tem início da temporada de chuvas mais cedo que ao Norte, devido a sistemas atmosféricos já comentados neste trabalho, em fevereiro geralmente se tem observado veranicos durante a última década. Contudo, em nenhum ano de normalidade climática foi registrada tamanha defasagem, o que corrobora a hipótese de problemas nos registros de dados observacionais quanto à pluviosidade regional durante esse mês. As Figuras 32 a 37 apresentam as normais climatológicas de fevereiro para o intervalo 1981-2010, tal como os dados registrados pelo INMET para o mês de fevereiro de 2020.

Figura 29 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Precipitação (1981-2010) e a Precipitação observada em fevereiro de 2020.



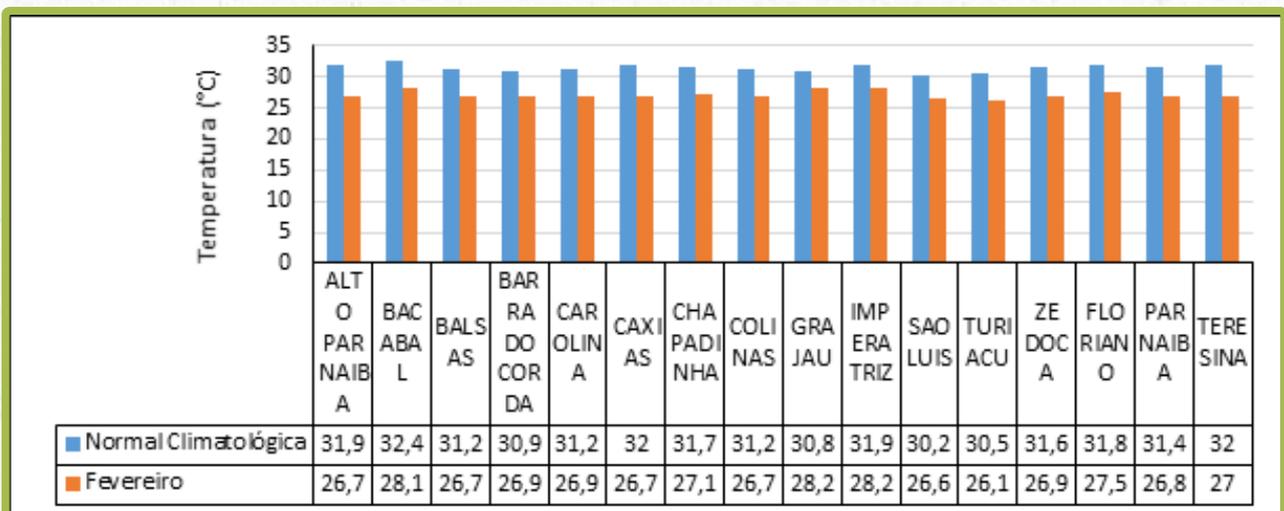
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 30 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmín (1981-2010) e a Tmín observada em fevereiro de 2020



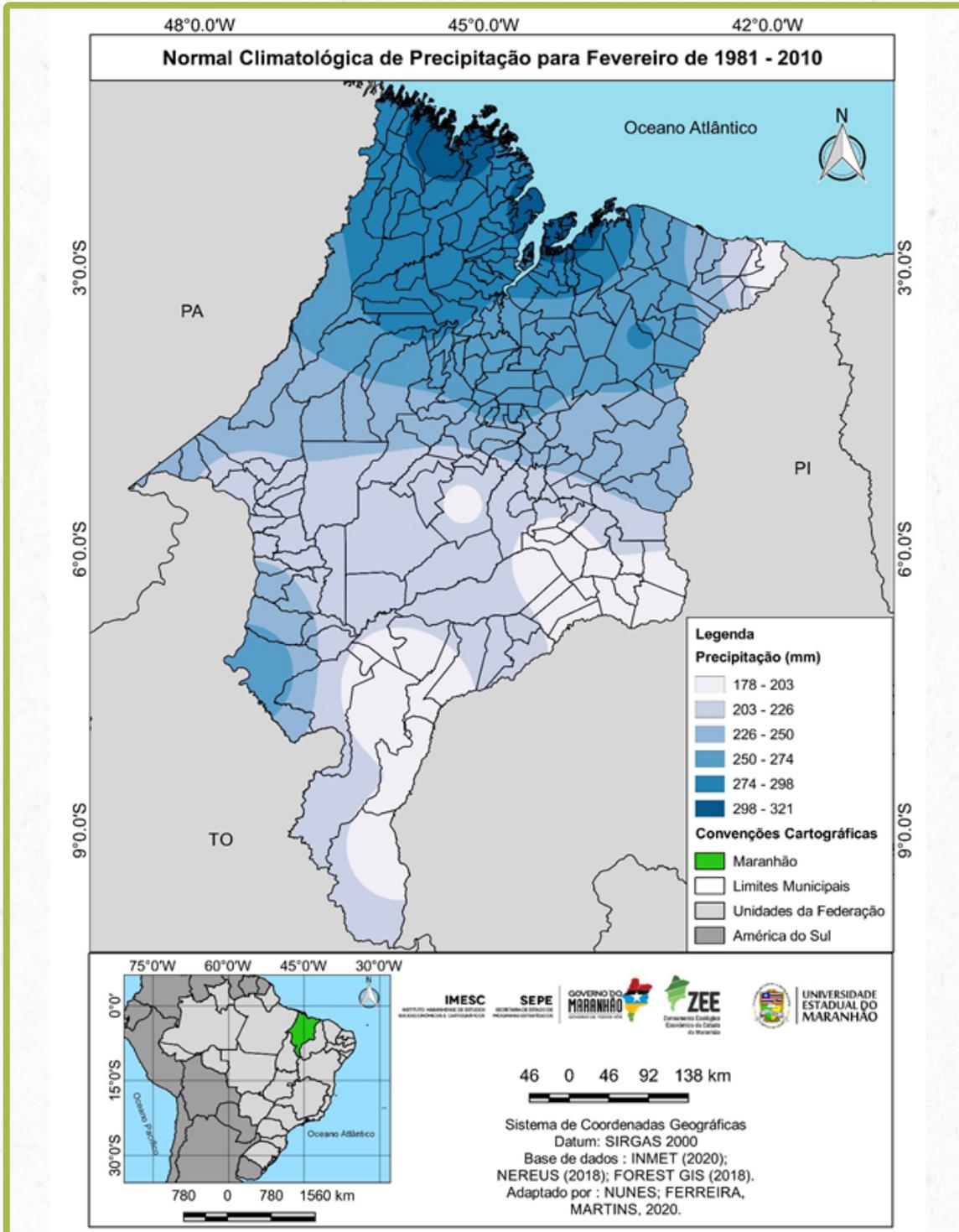
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 31 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmáx (1981-2010) e a Tmáx observada em fevereiro de 2020



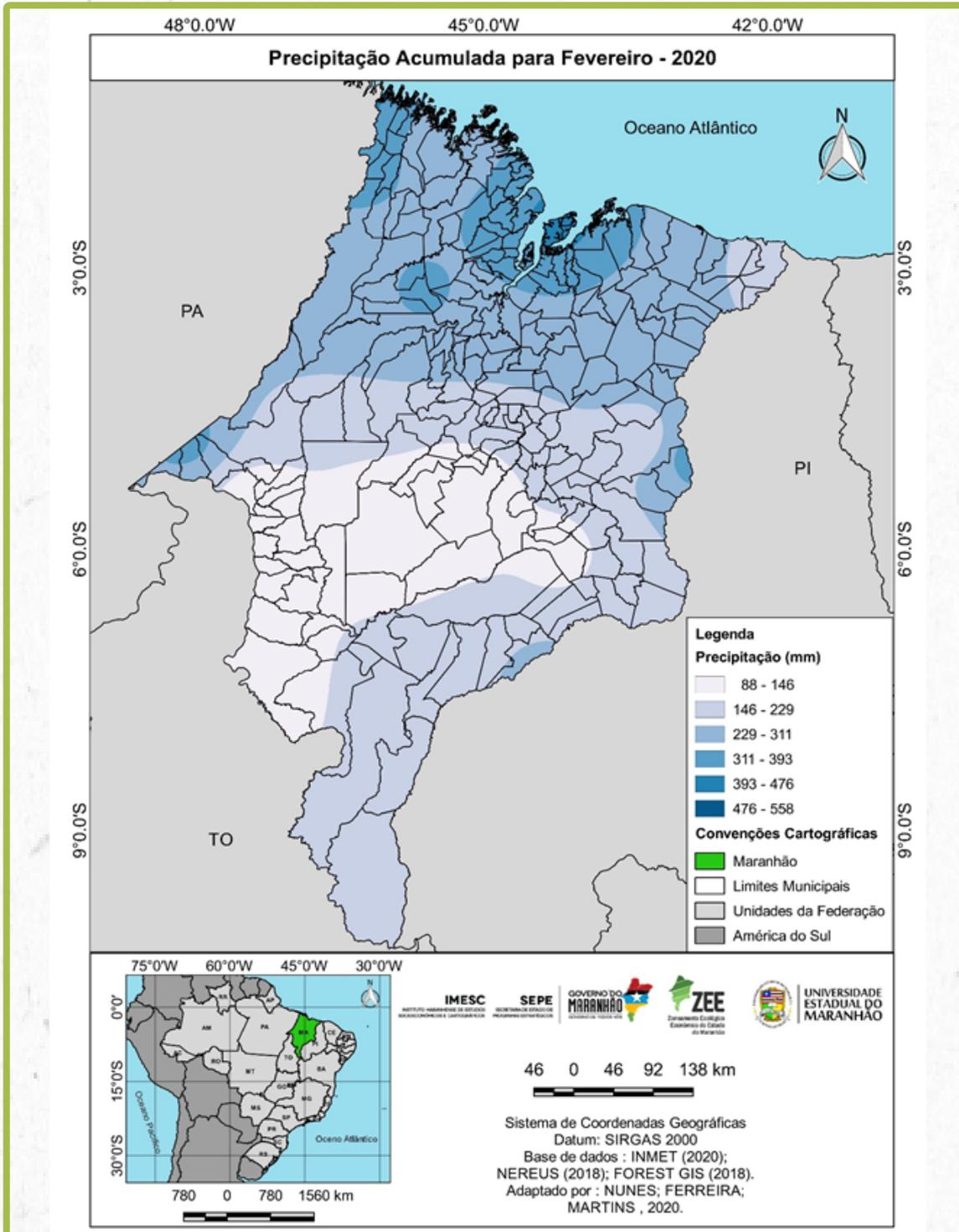
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 32 - Mapa de Normal Climatológica de precipitação para o mês de fevereiro estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



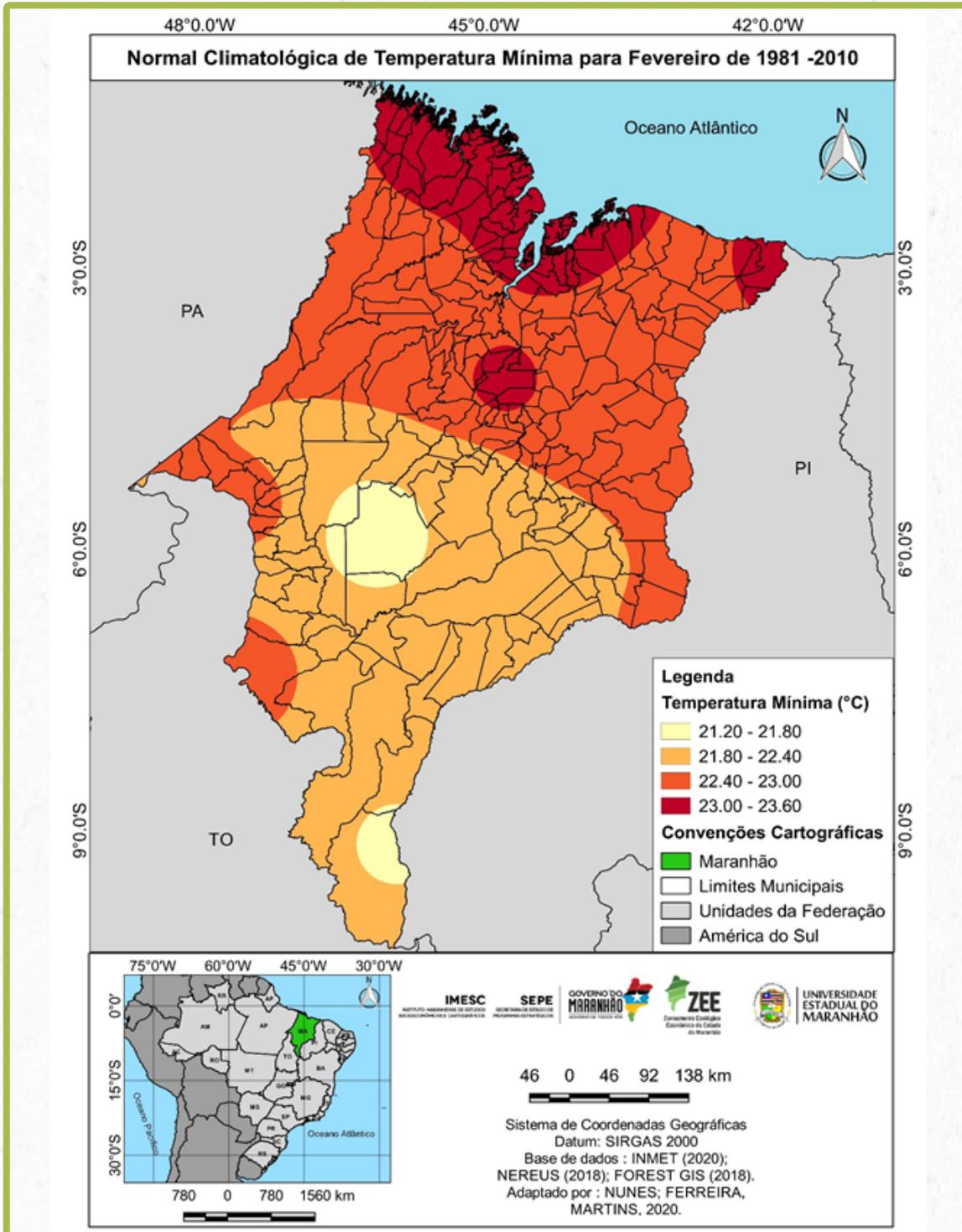
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 33 - Mapa de precipitação acumulada em fevereiro de 2020 no estado do Maranhão



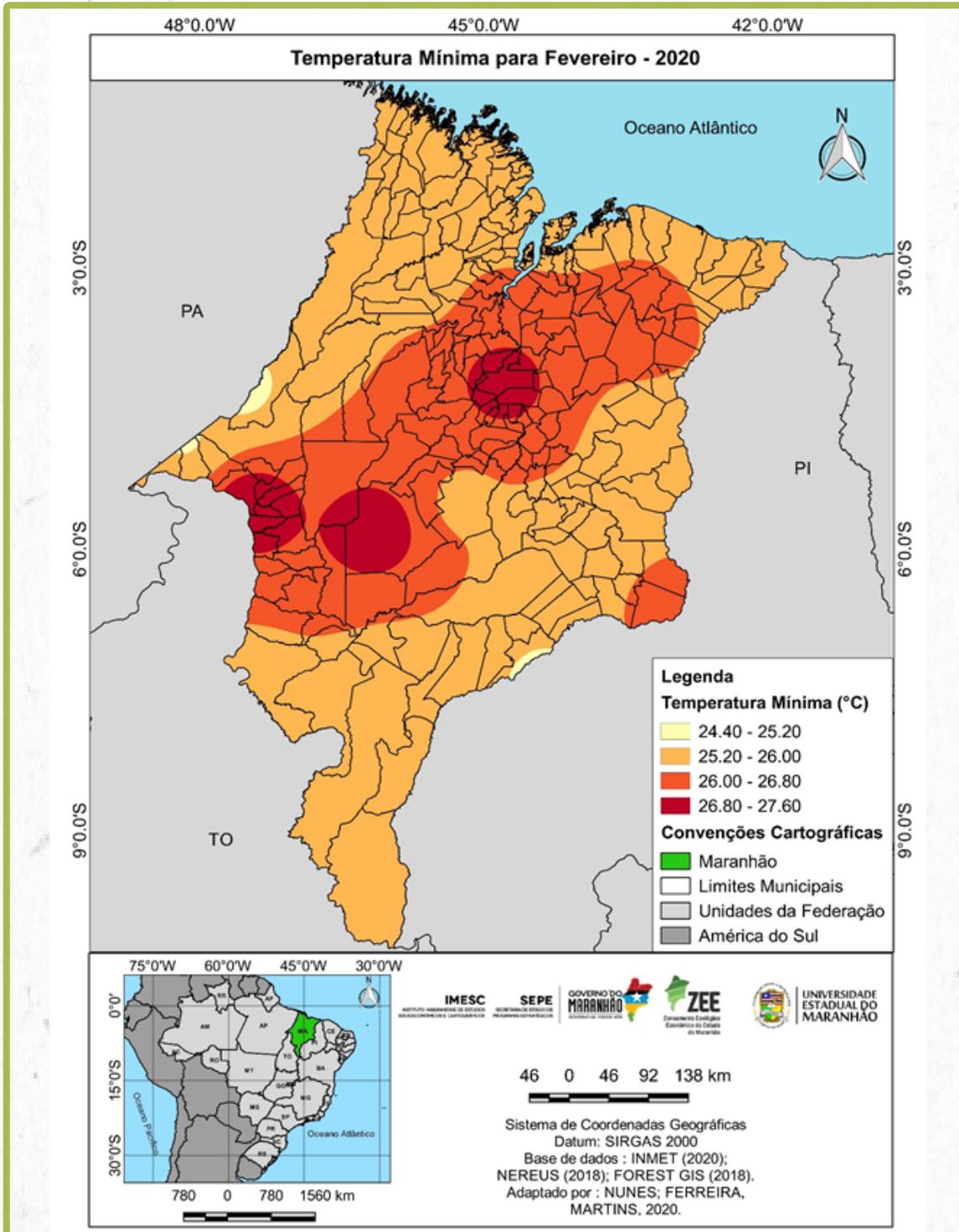
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 34 - Mapa de Normal Climatológica de Temperaturas Mínimas para o mês de fevereiro estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



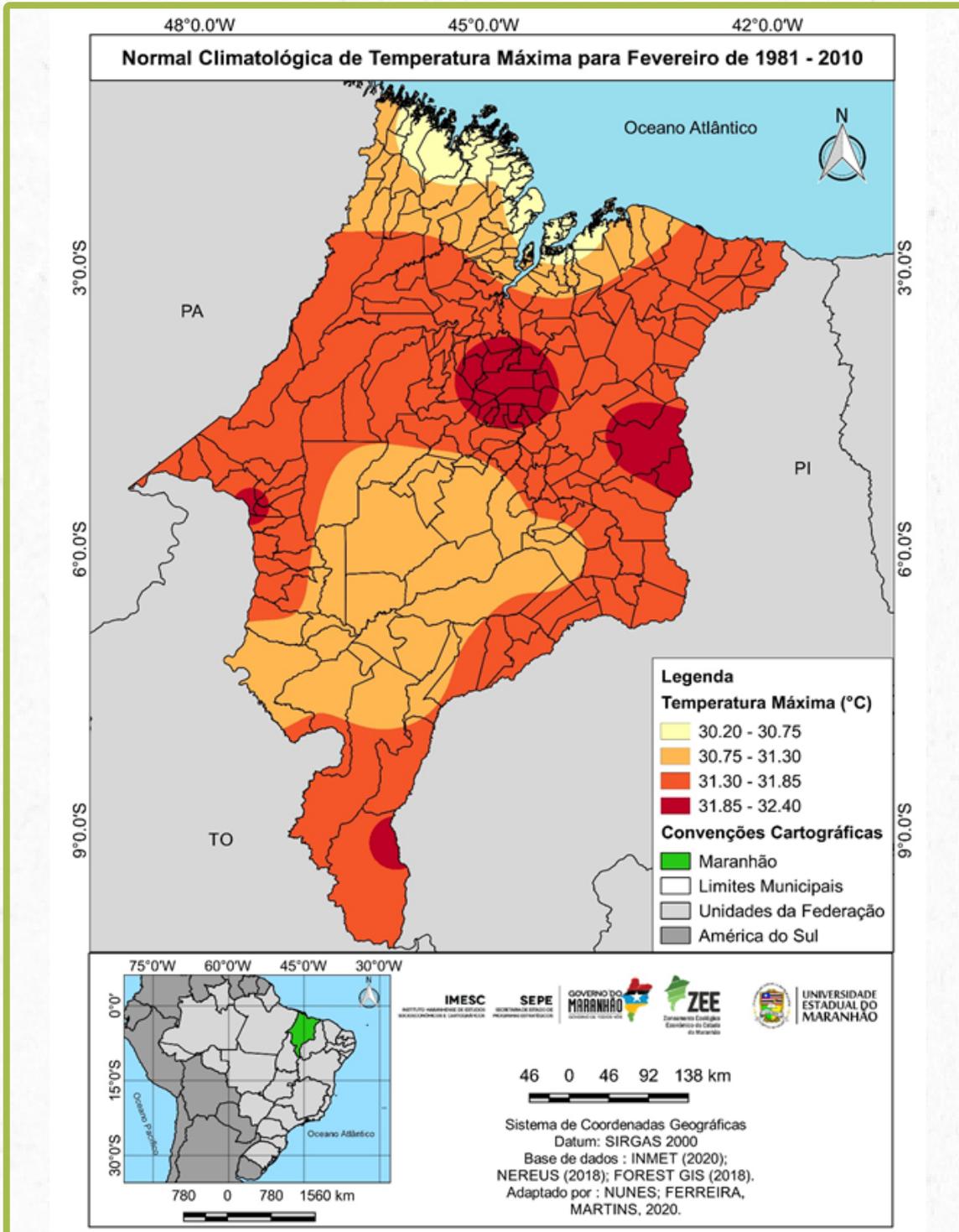
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 35 - Mapa de Temperaturas Mínimas para o mês de fevereiro de 2020 para o estado do Maranhão



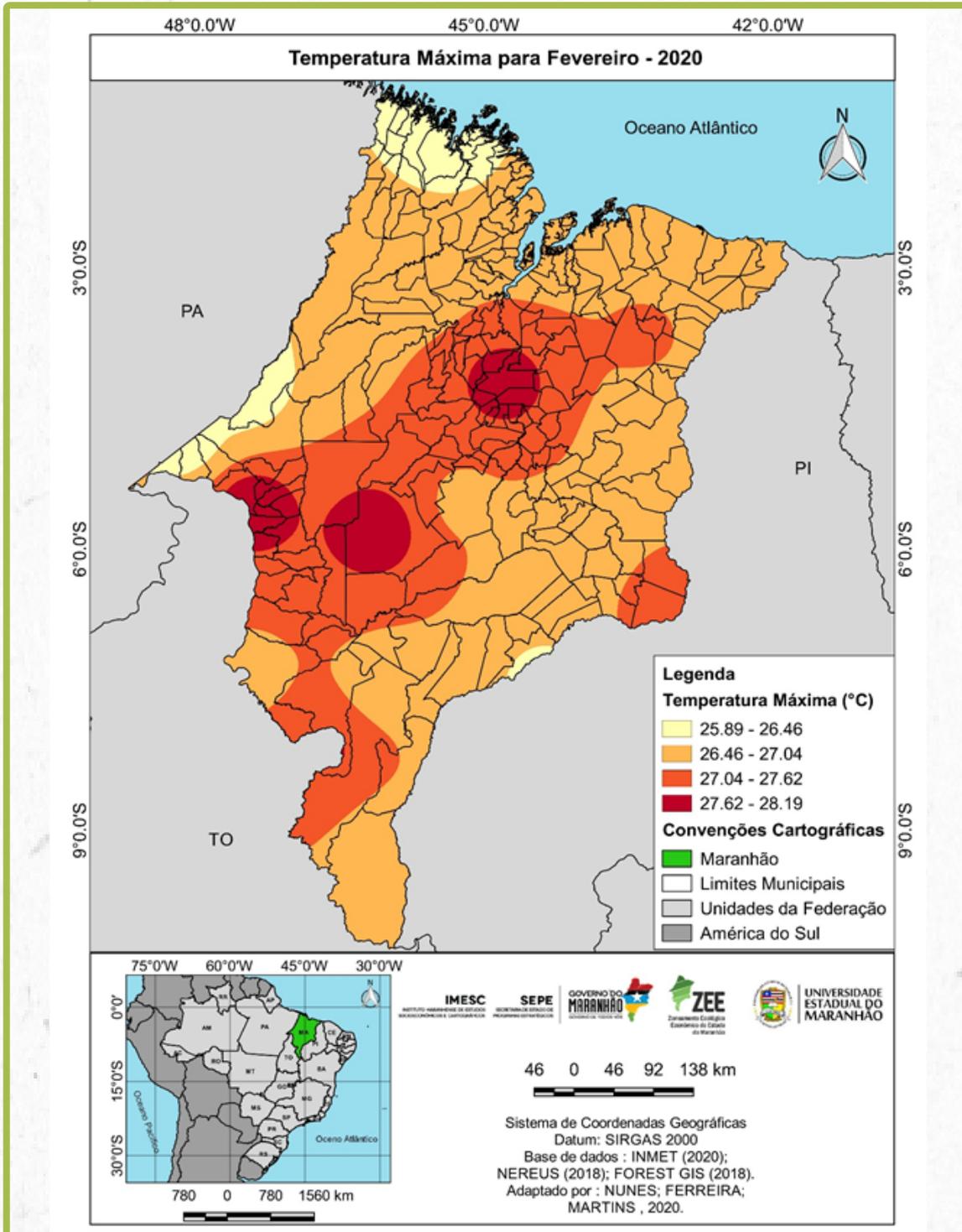
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 36 - Normal Climatológica de Temperaturas Máximas para o mês de fevereiro estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 37 - Mapa de Temperaturas Máximas para o mês de fevereiro de 2020 para o estado do Maranhão



Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

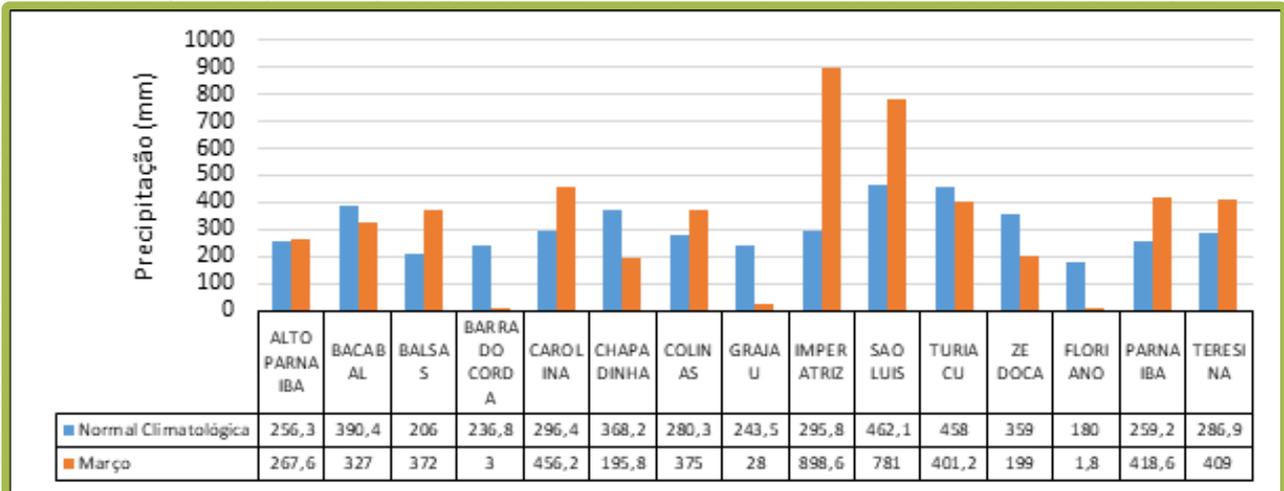
5.3 MARÇO DE 2020

Em março de 2020 houve a ocorrência dos últimos eventos relacionados à ZCAS, bem como dos VCANs. Assim, foi caracterizado como o mês mais chuvoso em todo o estado do Maranhão. Destacam-se os picos pluviométricos em Imperatriz, no Sudoeste Maranhense, com 898,6 mm/mês, equivalentes a 304% em relação à normal 1981-2010, Balsas (Sul do estado), com 181 mm/mês, relativos a 181% dos quantitativos médios de chuvas para 30 anos, e São Luís (Norte do Maranhão), com seus 781 mm/mês, referentes a 161% sobre a climatologia estabelecida para o período de 30 anos.

Em conformidade com os meses de janeiro e fevereiro, as temperaturas mínimas e máximas passaram por comportamentos opostos. Em outras palavras, as primeiras continuaram a apontar tendência de crescimento, enquanto o segundo conjunto de dados apresentou diminuição, isso em relação às normais climatológicas adotadas para o presente estudo. Enquanto $T_{mín}$ variou positivamente de 2,2°C (São Luís e Turiaçu) a até 4,6°C durante o mês de março, $T_{máx}$ flutuou de -3,6°C (São Luís) a -5,1°C (Alto Parnaíba). Grajaú, Barra do Corda e Floriano (PI) não tiveram registros de precipitações, o que pode ser por falha de medição.

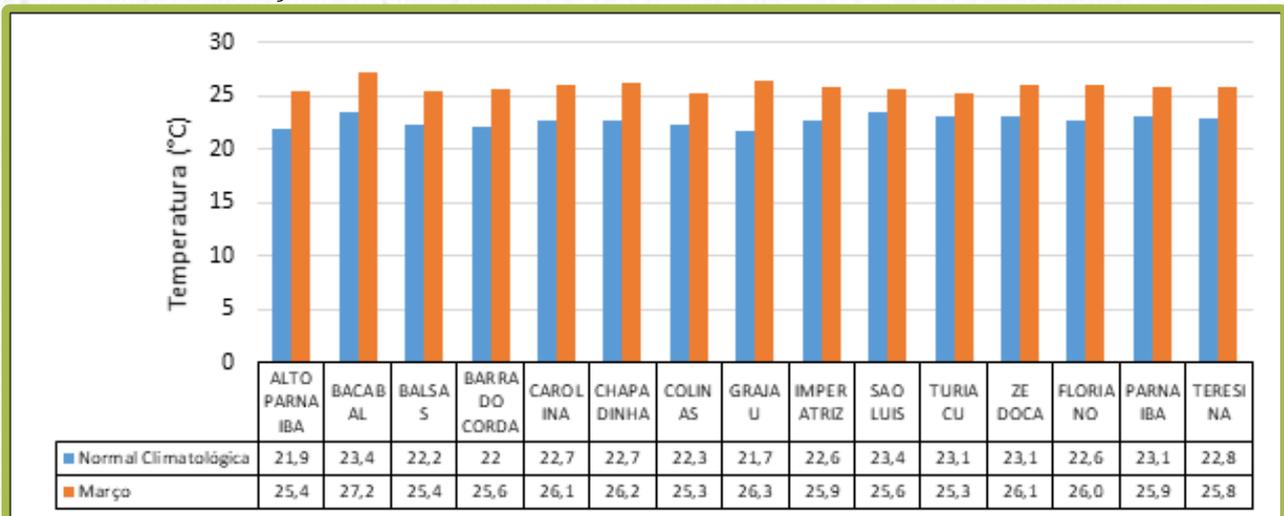
Dessa maneira, afirma-se que o território maranhense em sua totalidade apresentou para março, bem como para todo o primeiro trimestre de 2020, amplitudes térmicas médias mensais abaixo da normalidade, o que favorece, em tese, maior concentração de água nos sistemas terrestres, bem como maior potencial fenológico do período da safrinha no Centro-Sul do estado. Por conseguinte, favorece, ainda, a uma alta capacidade de escoamento superficial, culminando com a ocorrência de sinistros relacionados a alagamentos, enchentes, inundações e enxurradas em quase todas as regiões maranhenses. As Figuras 38 a 46 trazem os gráficos e mapas relacionados à comparação das normais climatológicas para precipitações e temperaturas mínima e máxima.

Figura 38 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Precipitação (1981-2010) e a Precipitação observada em março de 2020.



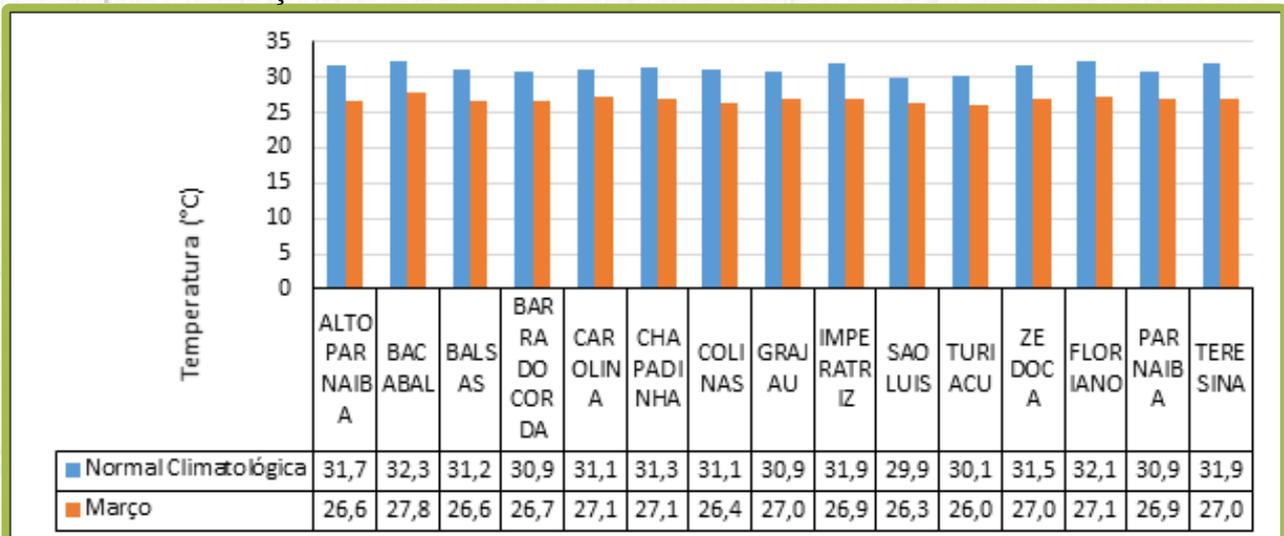
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 39 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmín (1981-2010) e a Tmín observada em março de 2020



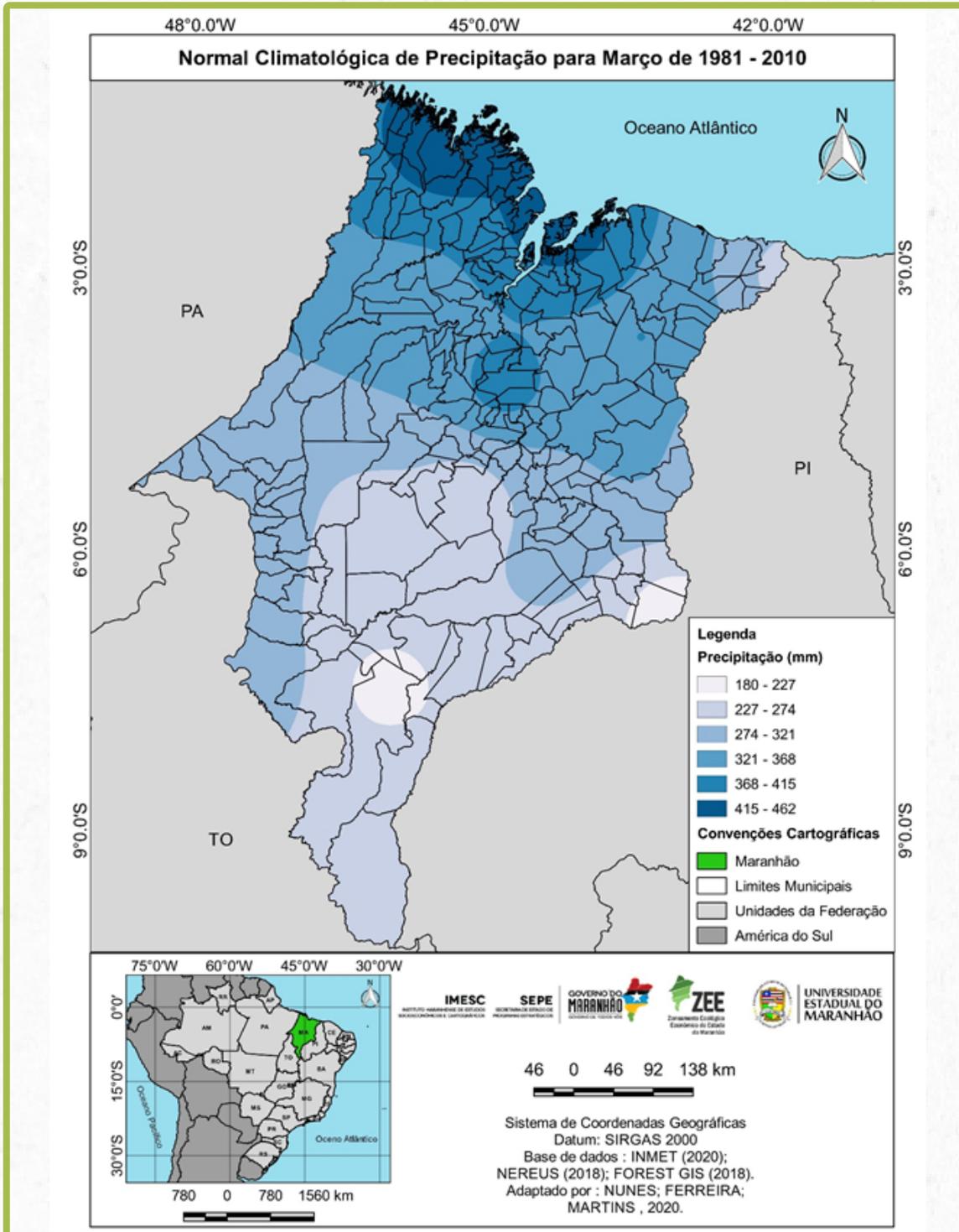
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 40 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmáx (1981-2010) e a Tmáx observada em março de 2020



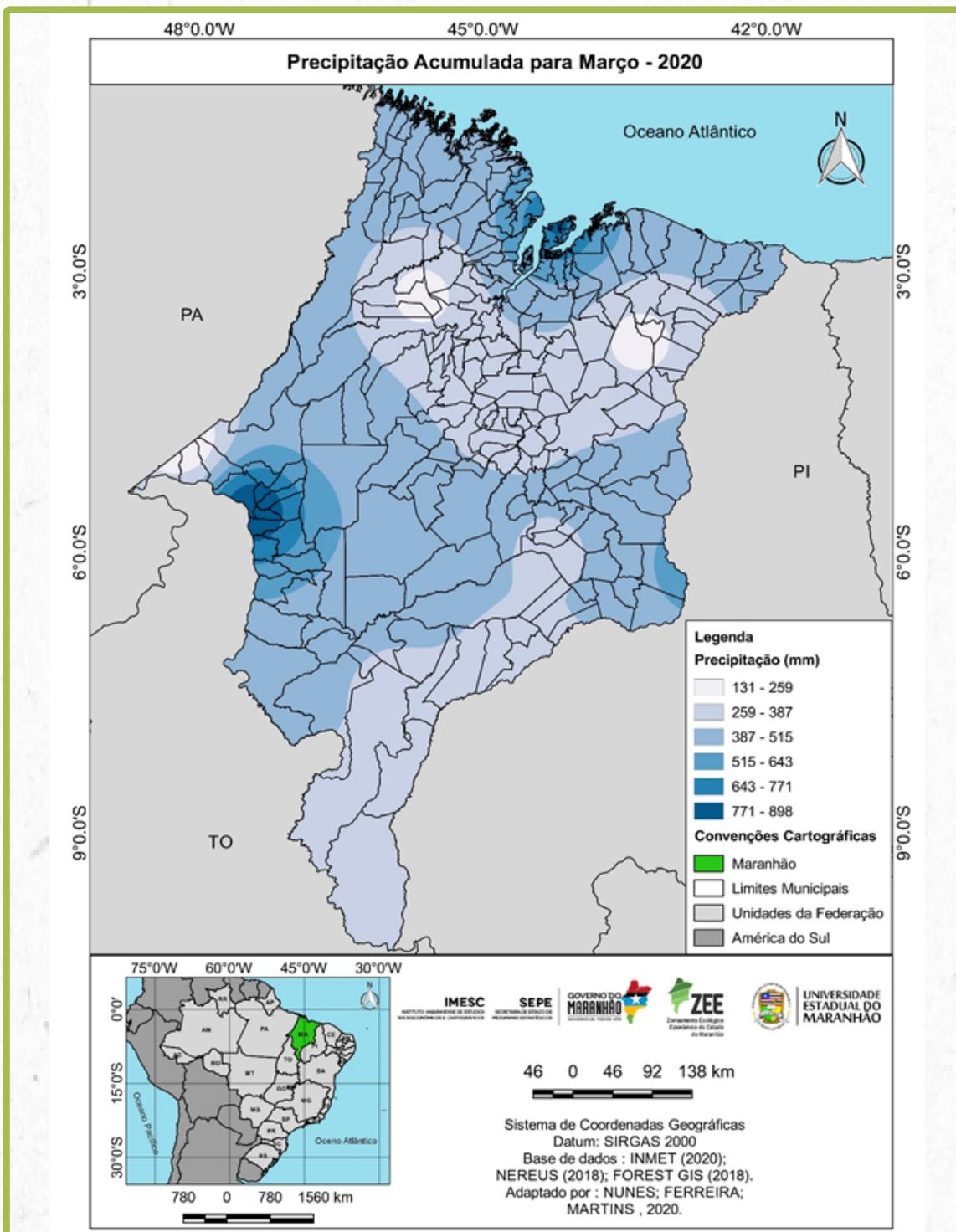
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 41 - Mapa de Normal Climatológica de precipitação para o mês de março estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



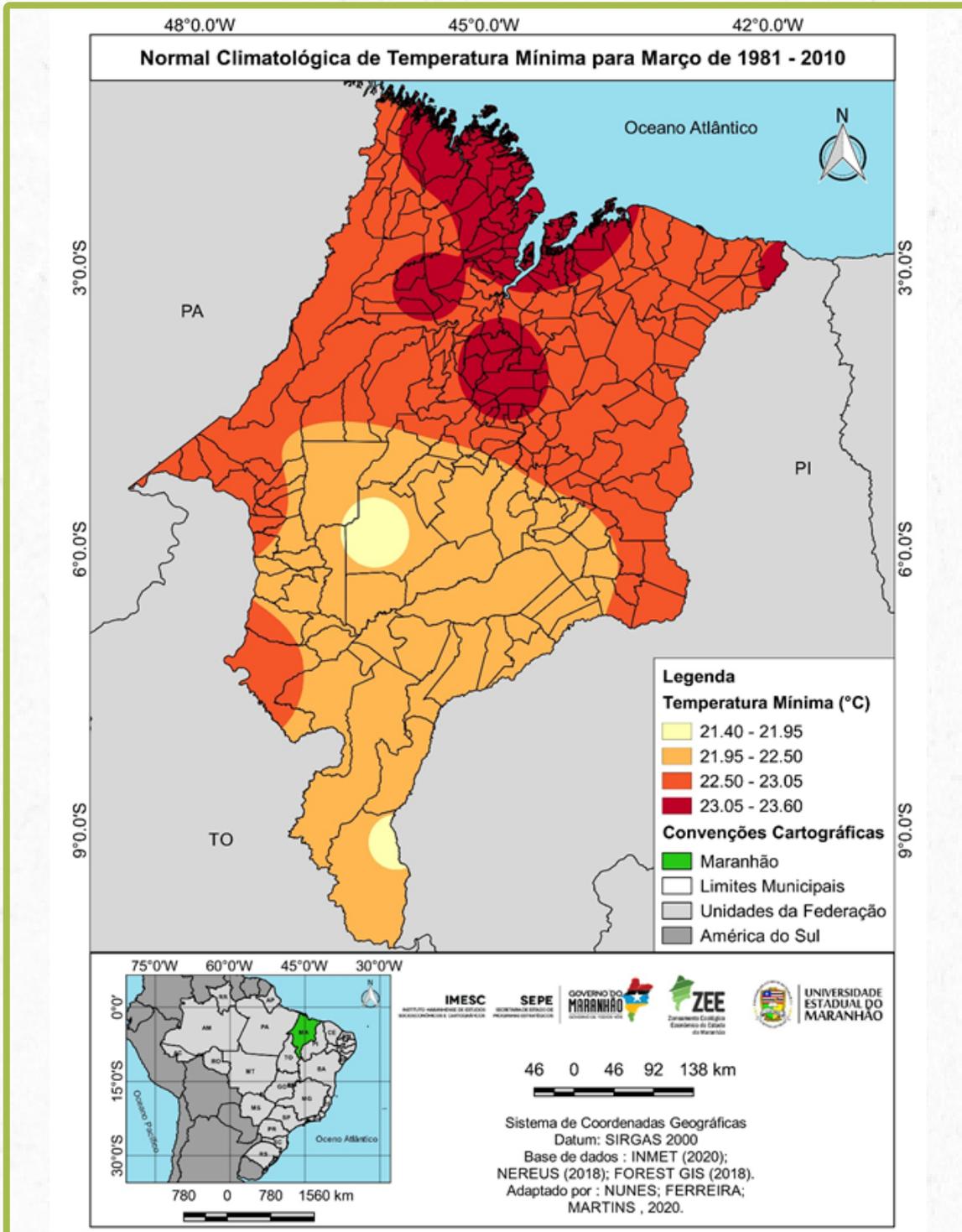
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 42 - Mapa de precipitação acumulada em março de 2020 no estado do Maranhão



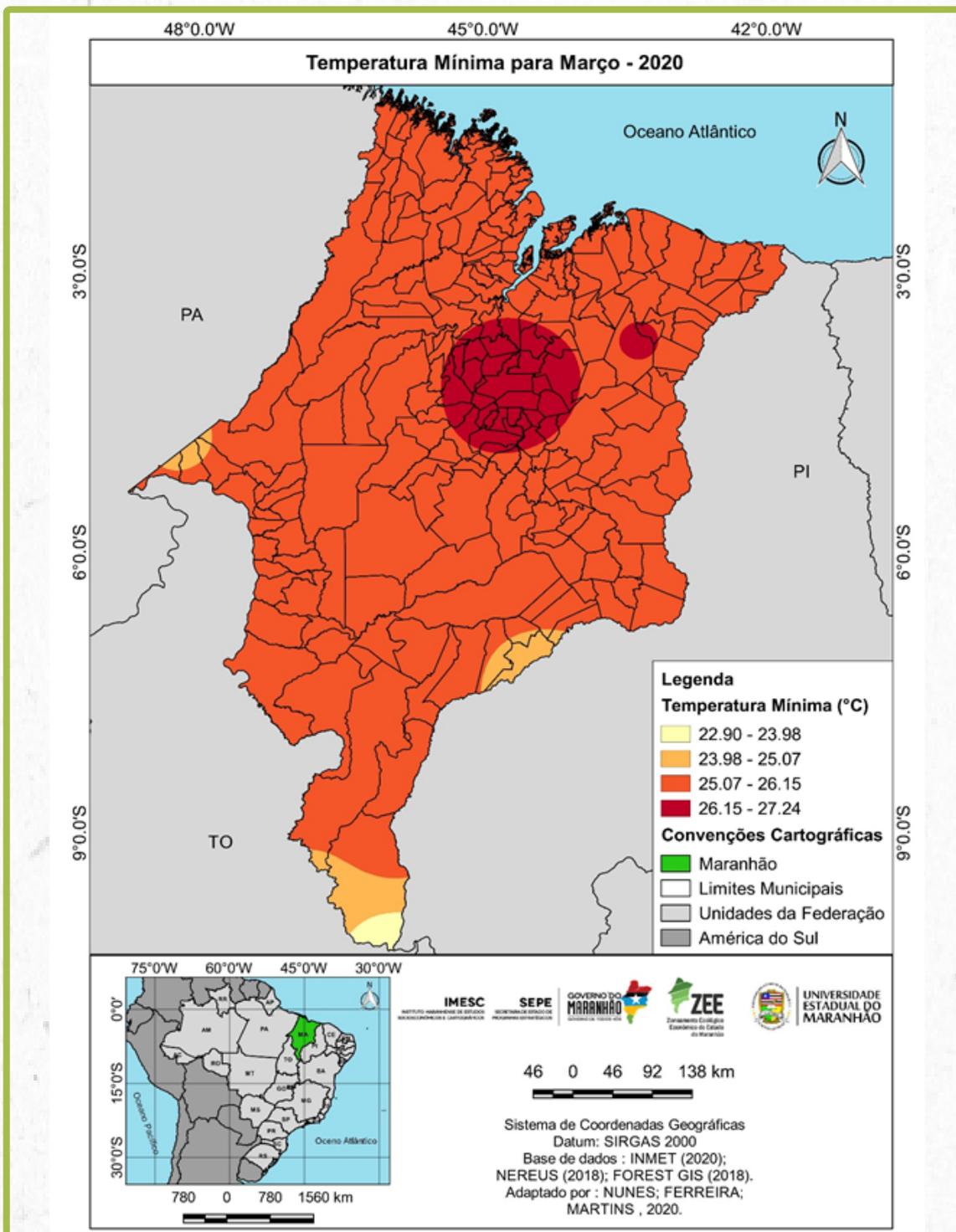
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 43 - Mapa de Normal Climatológica de Temperaturas Mínimas para o mês de março estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



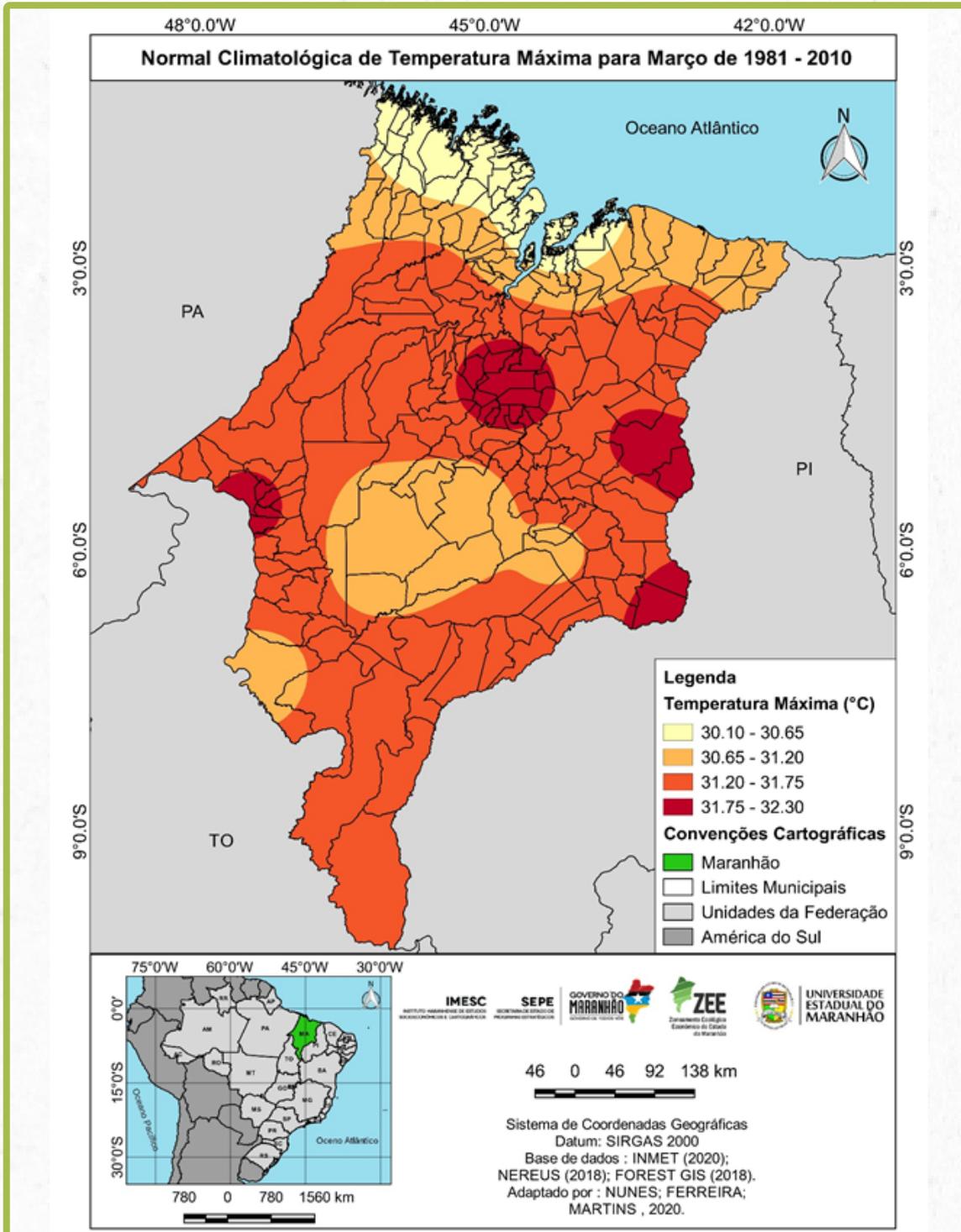
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 44 - Mapa de Temperaturas Mínimas para o mês de março de 2020 para o estado do Maranhão



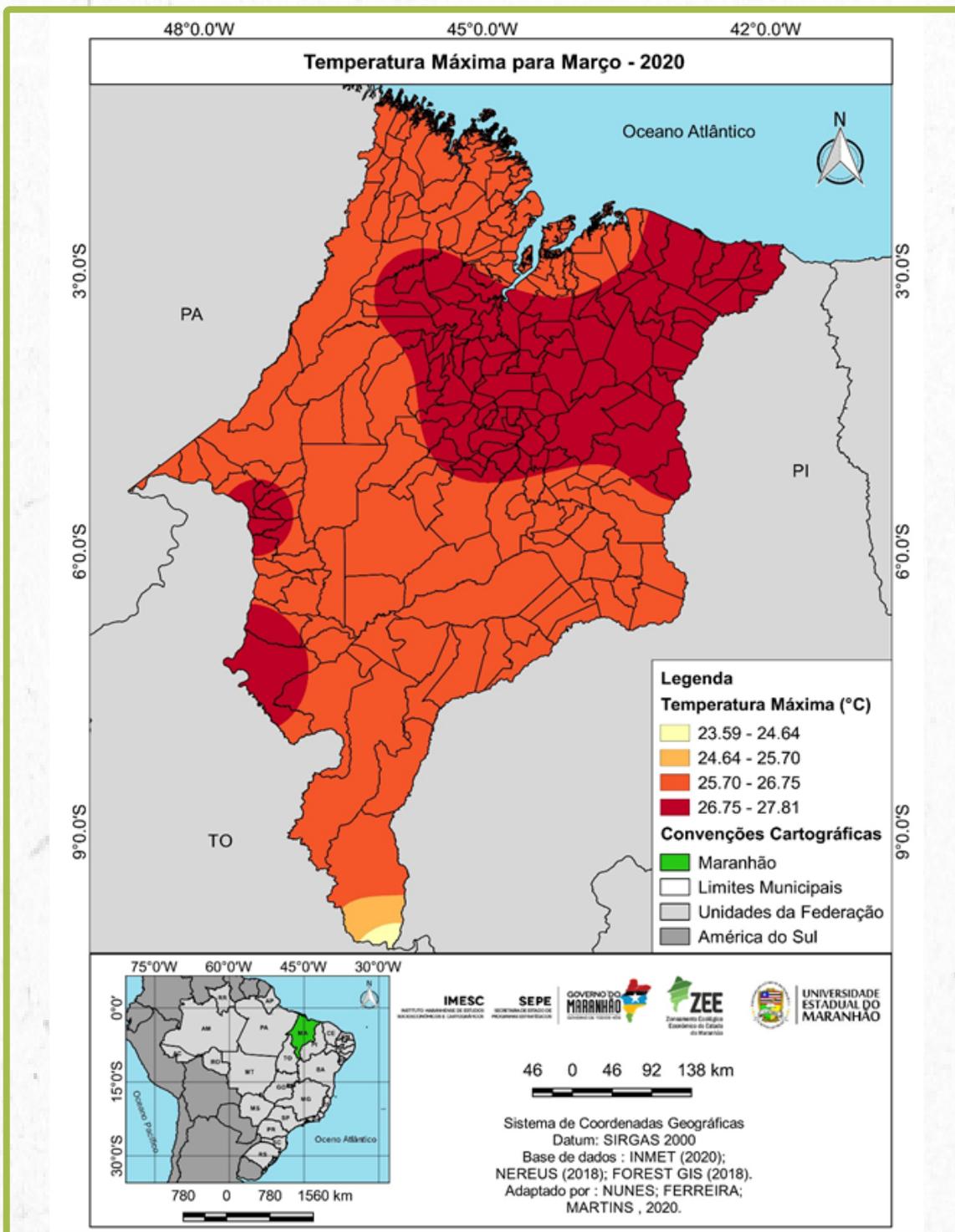
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 45 - Normal Climatológica de Temperaturas Máximas para o mês de março estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 46 - Mapa de Temperaturas Máximas para o mês de março de 2020 para o estado do Maranhão



Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

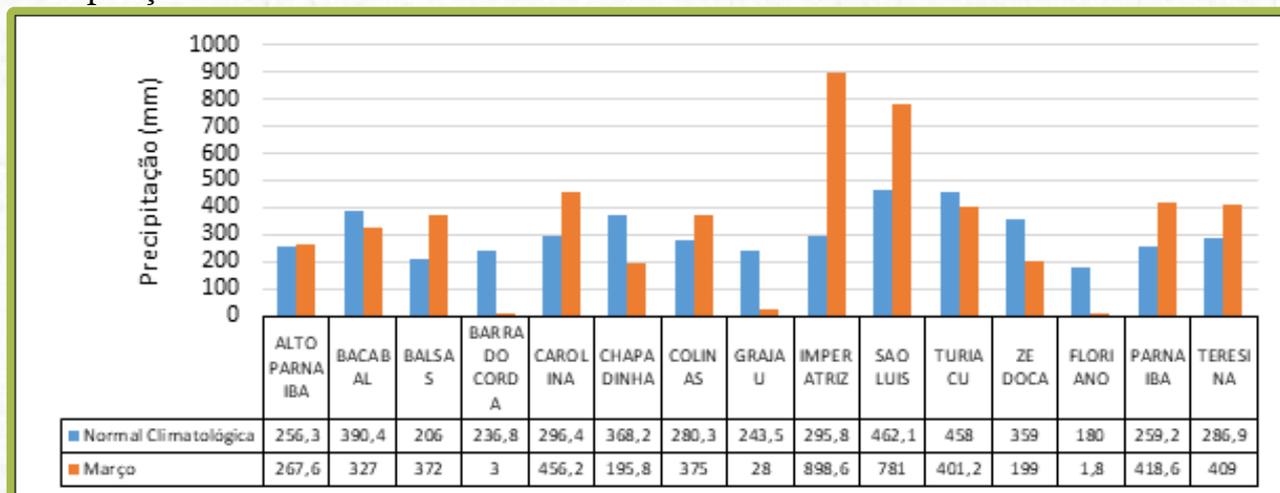
5.4 ABRIL DE 2020

O mês de abril de 2020 apresentou um panorama bem similar em termos de precipitações em relação ao primeiro trimestre de 2020. Com chuvas acima das normais climatológicas na maioria das estações meteorológicas do INMET (com exceção de Alto Parnaíba, Caxias, Barra do Corda e Colinas, no Maranhão, e Teresina, no Piauí), as pluviosidade foi destaque nas áreas em que o período chuvoso deveria estar em processo de transição para o seco, como são os casos do Sudoeste, Centro e Leste Maranhenses. Destacam-se os volumes elevados em Balsas e em Grajaú, com valores estabelecidos como o dobro dos estabelecidos para as suas respectivas normais climatológicas no intervalo 1981-2010.

Quanto às T_{mín}, apenas Zé Doca, Bacabal e Imperatriz apresentaram variação levemente abaixo das normais climatológicas. Todas as demais apresentaram tendência de crescimento, com destaque para as regiões de Carolina e Grajaú, com elevação de 3,2°C e 5,1°C em comparação com as normais climatológicas de 1981-2010, respectivamente.

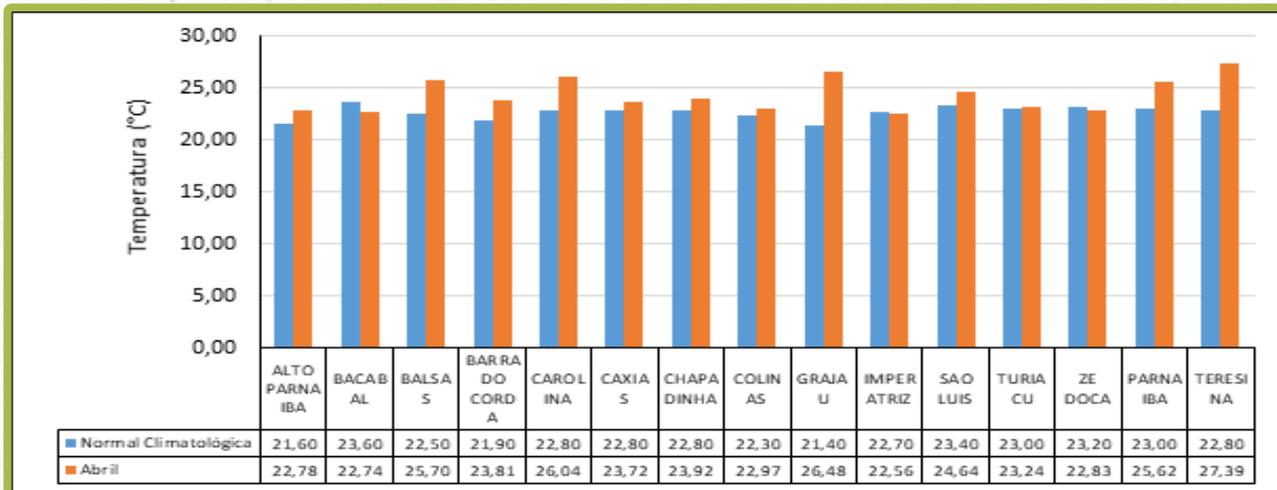
Em relação às temperaturas máximas aferidas, apenas as estações de Bacabal, Balsas, Carolina, Grajaú (MA) e Teresina e Parnaíba (PI) apresentaram variação negativa de temperaturas. Todas as demais se comportaram com elevação de T_{máx} no mês de abril de 2020. As Figuras 47 a 55 apresentam as normais climatológicas do intervalo de 1981 a 2010, bem como a espacialização das componentes meteorológicas aqui dispostas para o mês de abril de 2020, com gráficos e mapas.

Figura 47 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Precipitação (1981-2010) e a Precipitação observada em abril de 2020.



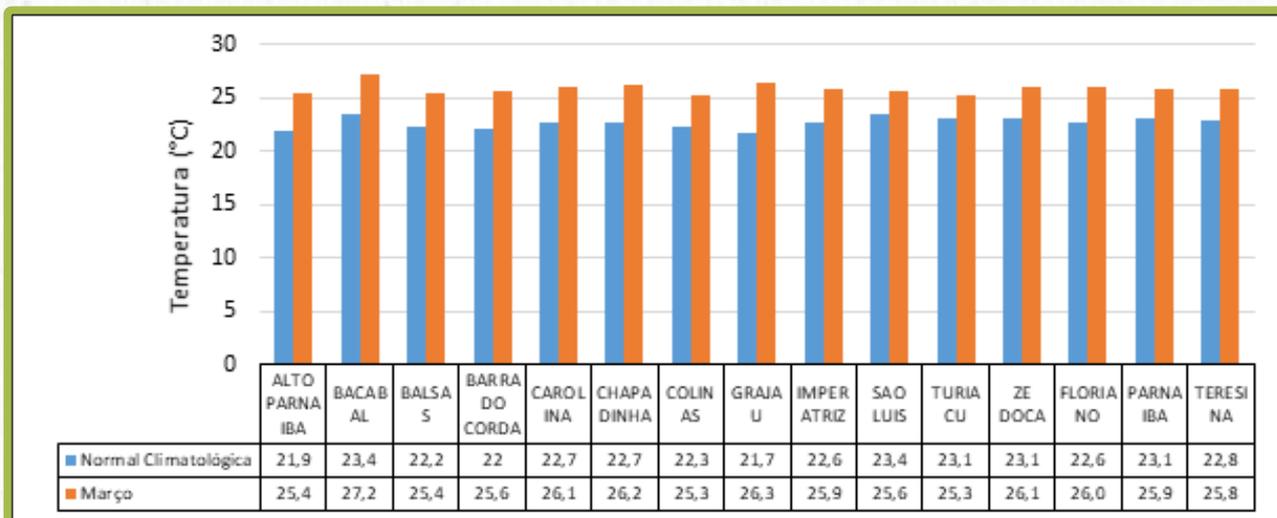
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 48 - Comparativo entre a Normal Climatológica de T_{mín} (1981-2010) e a T_{mín} observada em abril de 2020



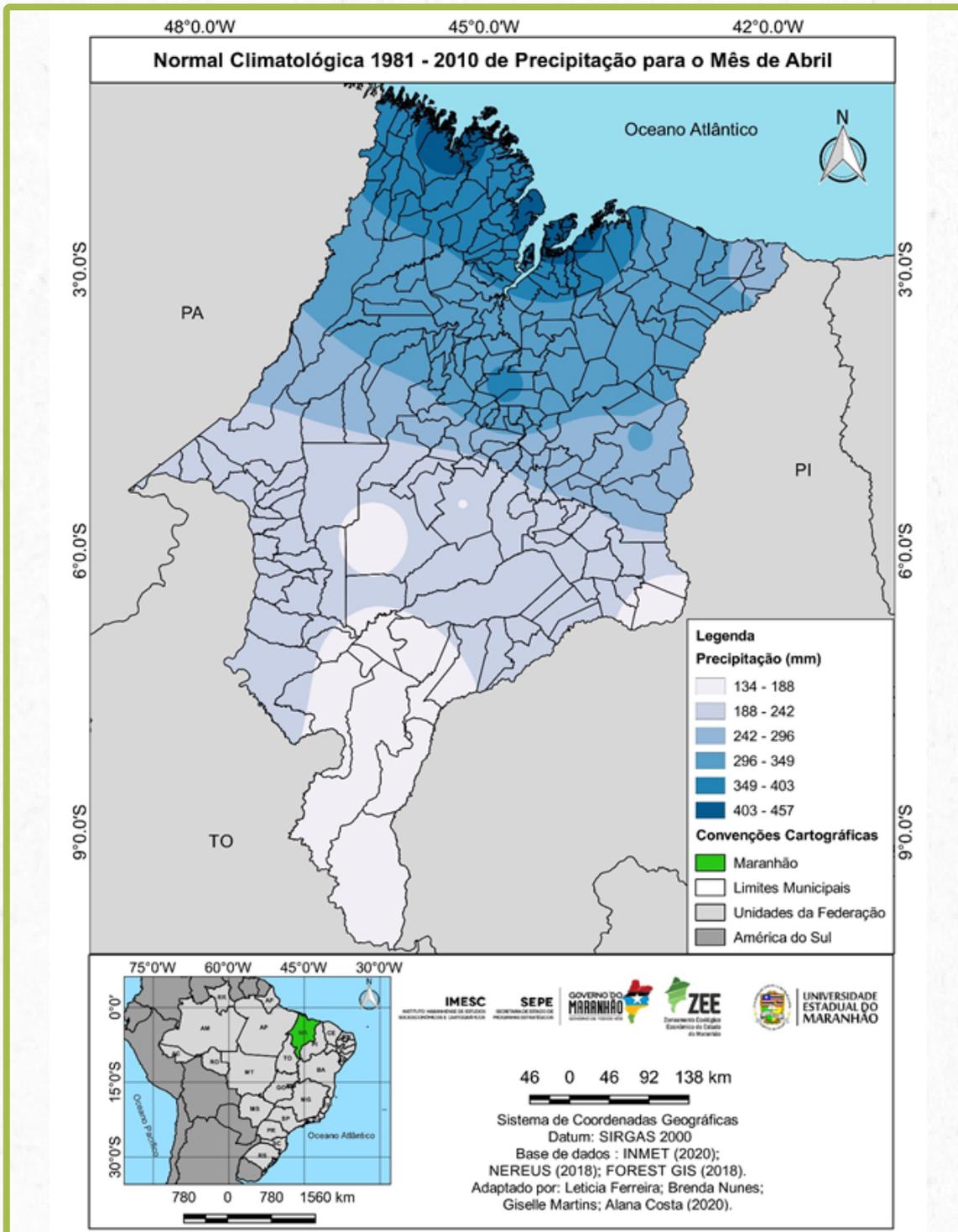
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 49 - Comparativo entre a Normal Climatológica de T_{máx} (1981-2010) e a T_{máx} observada em abril de 2020



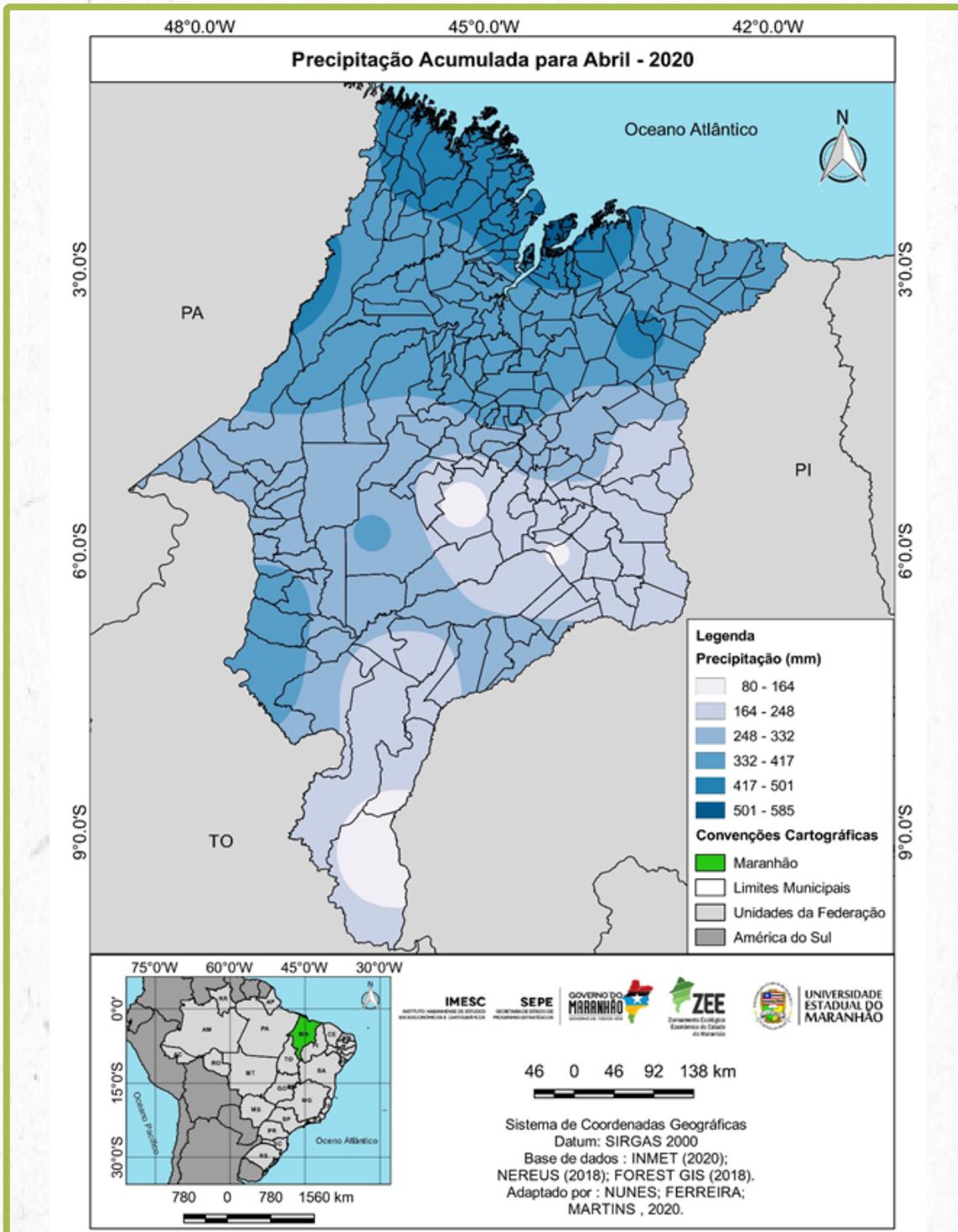
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 50 - Mapa de Normal Climatológica de precipitação para o mês de abril estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



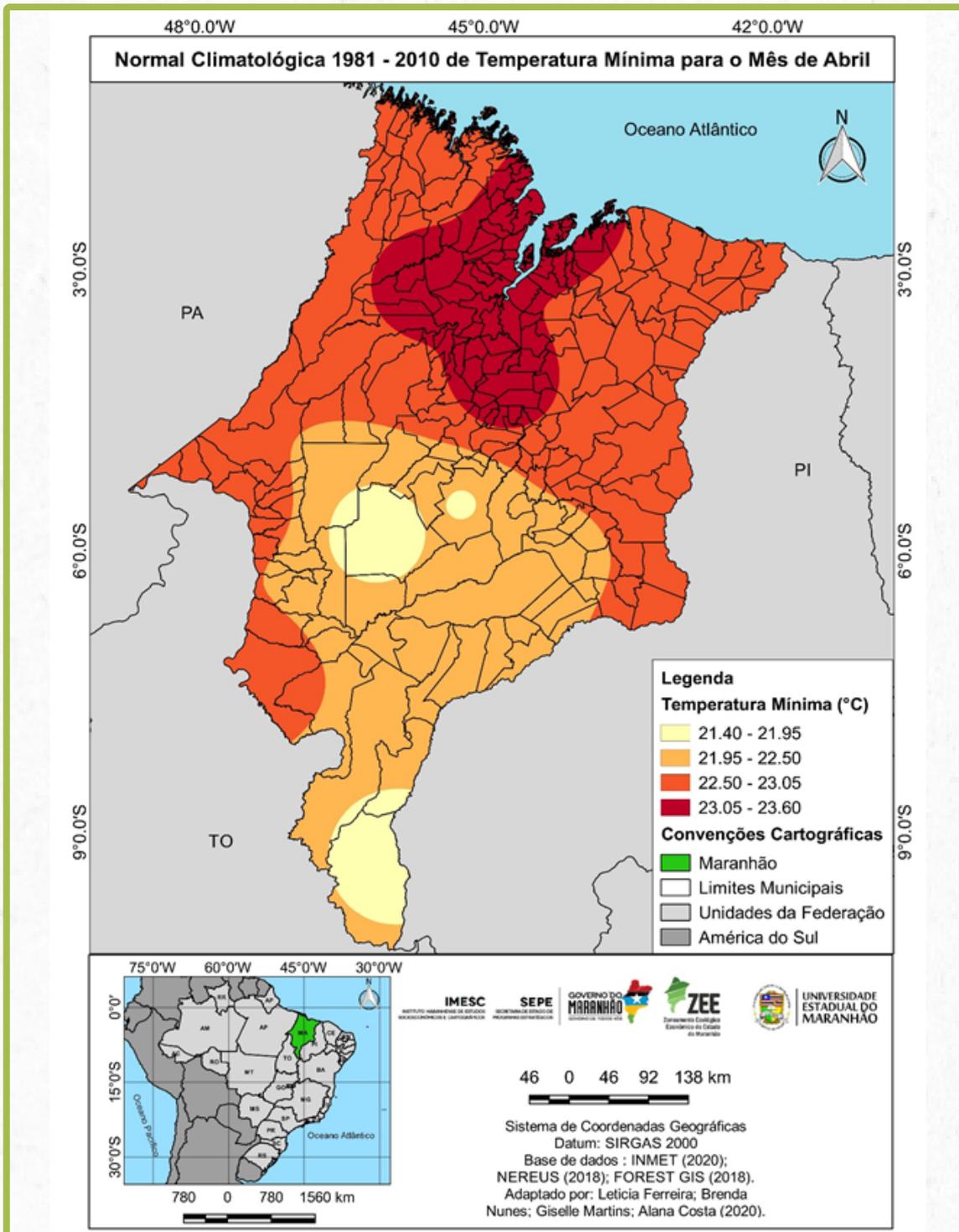
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 51 - Mapa de precipitação acumulada em abril de 2020 no estado do Maranhão



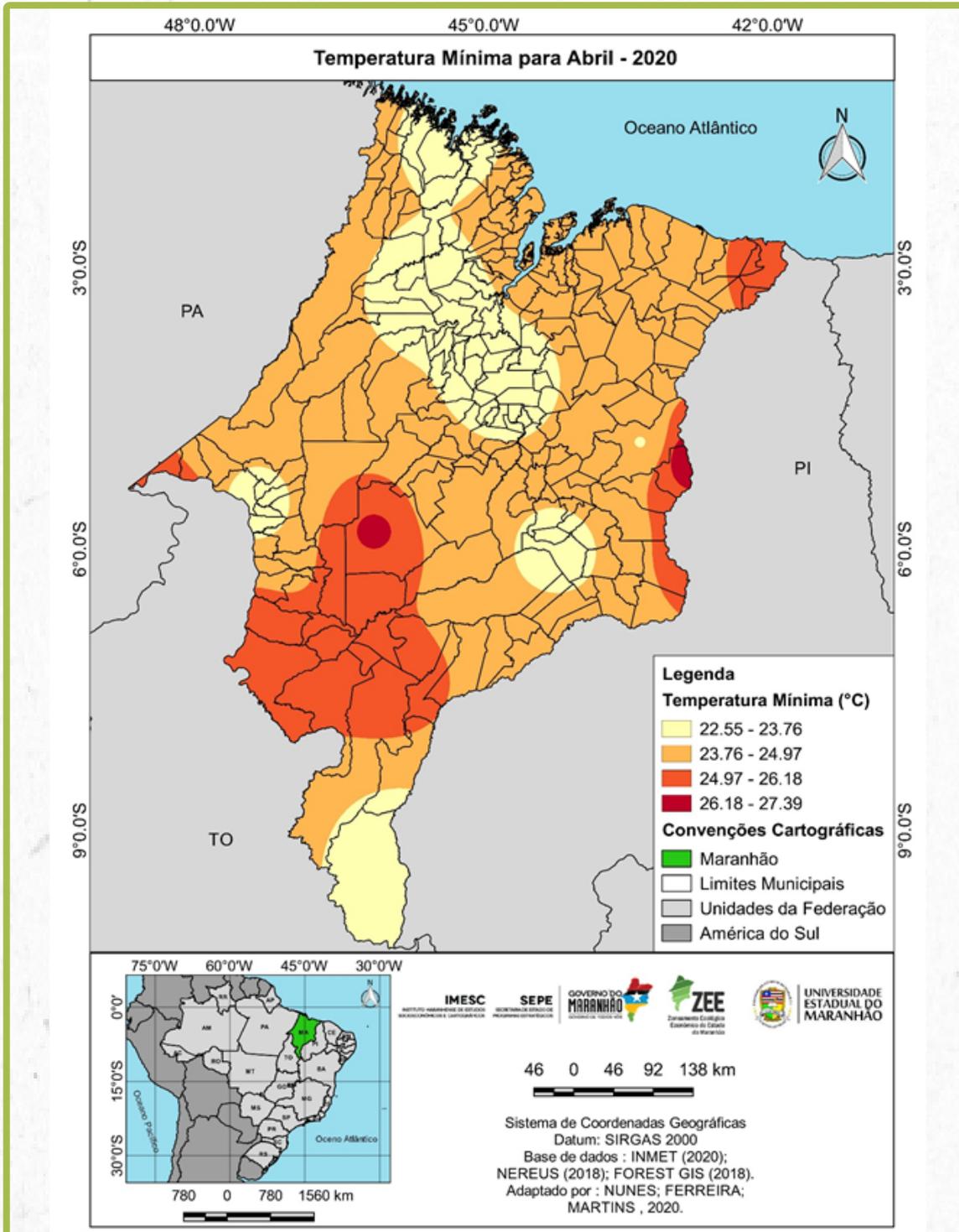
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 52 - Mapa de Normal Climatológica de Temperaturas Mínimas para o mês de abril estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



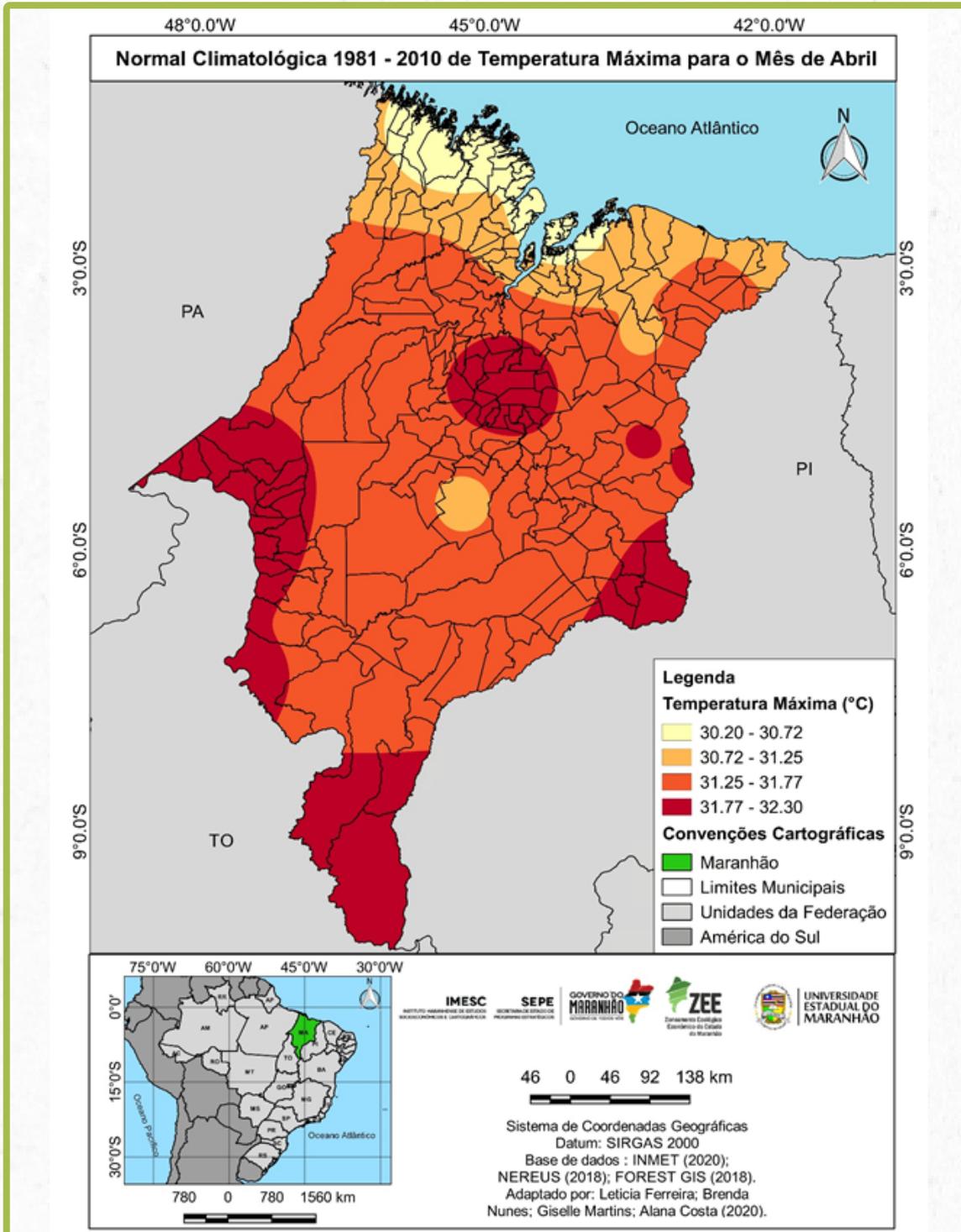
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 53 - Mapa de Temperaturas Mínimas para o mês de abril de 2020 para o estado do Maranhão



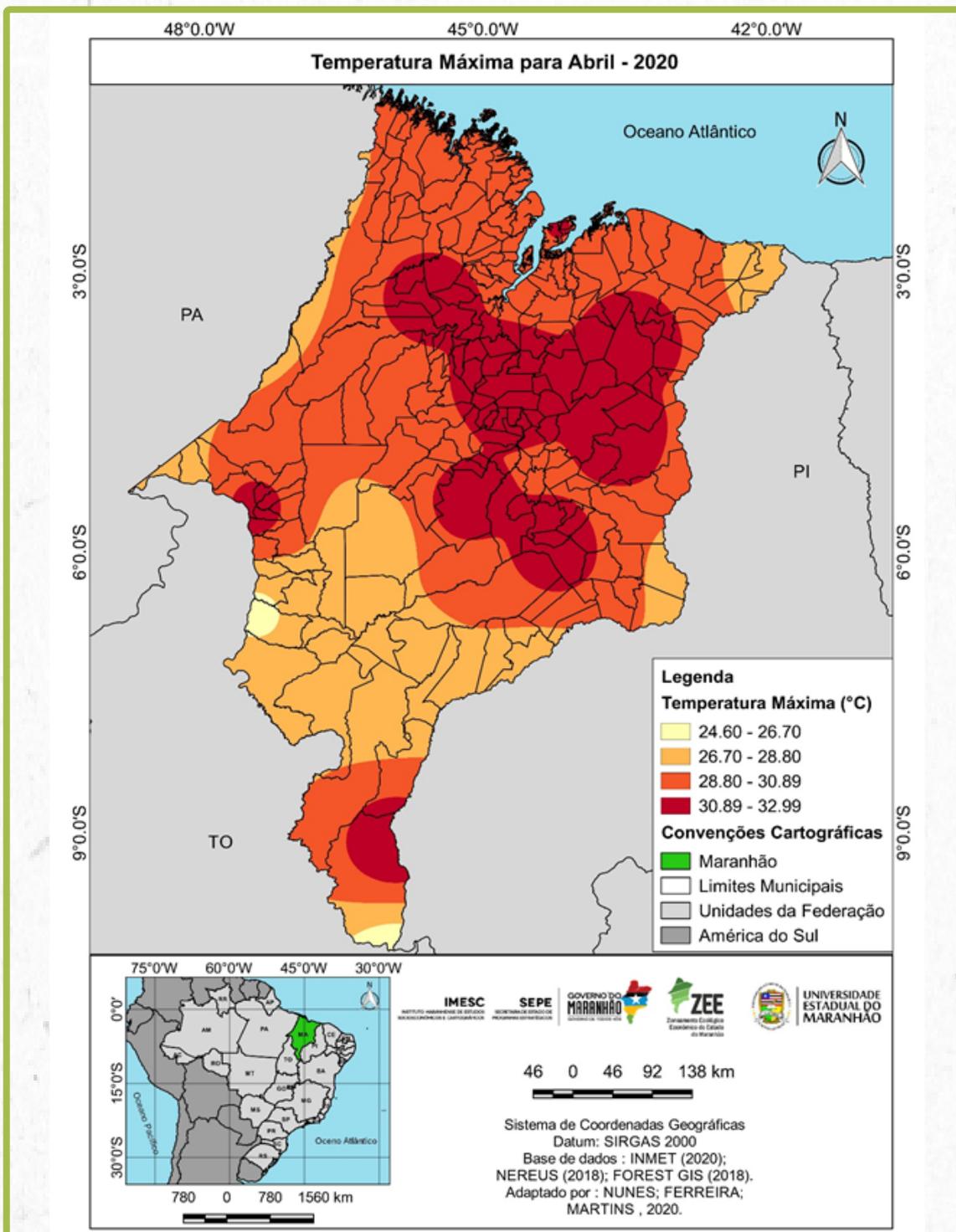
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 54 - Normal Climatológica de Temperaturas Máximas para o mês de abril estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 55 - Mapa de Temperaturas Máximas para o mês de abril de 2020 para o estado do Maranhão



Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

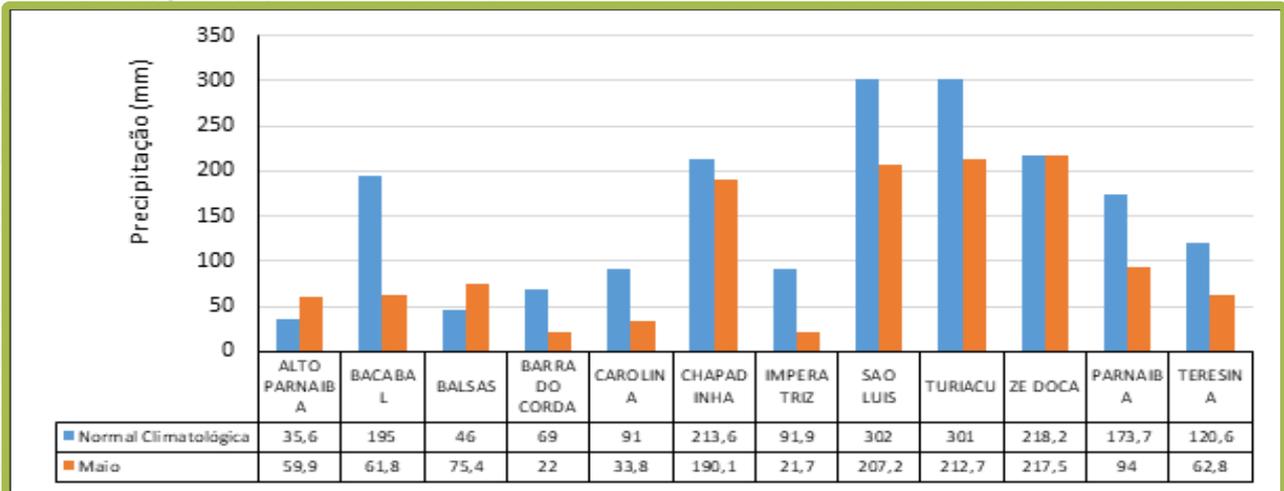
5.5 MAIO DE 2020

O mês de maio de 2020 foi caracterizado por uma grande mudança nas dinâmicas pluviométricas em todo o território maranhense. Apenas as estações meteorológicas de Alto Parnaíba, Balsas e Zé Doca, com respectivamente 59,9 mm/mês, 75 mm/mês e 210 mm/mês estiveram ou dentro ou acima da normalidade climática para chuvas. Todas as demais mantiveram o mesmo ritmo, com precipitações abaixo das médias históricas para 30 anos, dentre as quais as estações de São Luís (69% do total comparativo) e Turiaçu (com 71% dos volumes estimados se concretizando).

O aquecimento do Atlântico Equatorial, bem como a total ausência de dinâmicas associadas à ZCIT, que se deslocou para Norte a partir do final de março, e a ampliação de veranicos, comuns no Centro-Norte do Maranhão nesse mês, acabaram por provocar escassez de chuvas e elevação das temperaturas, sobretudo nesse citado recorte territorial. O bloqueio do prolongamento das faixas de instabilidade atmosférica associadas aos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), que atingem parcela considerável no Norte do estado foi dado, igualmente, pelo aquecimento das águas do Atlântico ao largo do litoral maranhense.

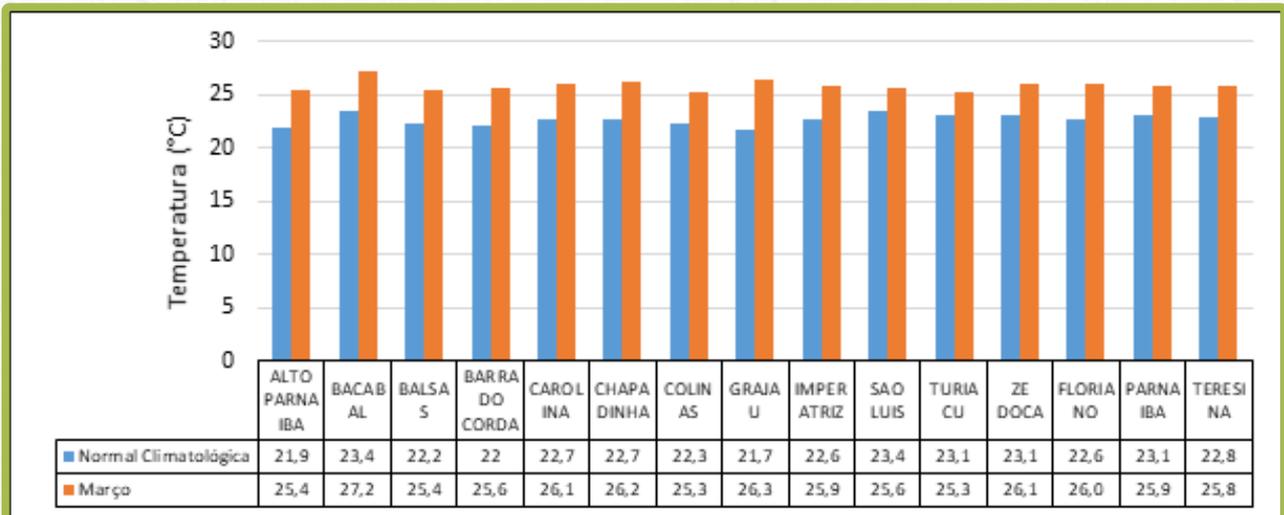
No Leste do Maranhão, bem como no Sul e no Sudoeste, picos de elevação de temperaturas mínimas foram caracterizados nesse mês. Destaca-se que nesse momento do ano há o início da temporada de queimadas de células territoriais. Por outro lado, as temperaturas máximas passam de valores de $-4,88\text{ }^{\circ}\text{C}$ em relação aos parâmetros dispostos nas normais climatológicas para maio durante o intervalo 1981-2010 a $+1,41\text{ }^{\circ}\text{C}$ em São Luís e $+2,17\text{ }^{\circ}\text{C}$ em Barra do Corda. As Figuras 56 a 64 apresentam gráficos e mapas que esclarecem acerca das dinâmicas de precipitação, $T_{\text{máx}}$ e $T_{\text{mín}}$ para o Maranhão com base nas estações do INMET.

Figura 56 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Precipitação (1981-2010) e a Precipitação observada em maio de 2020



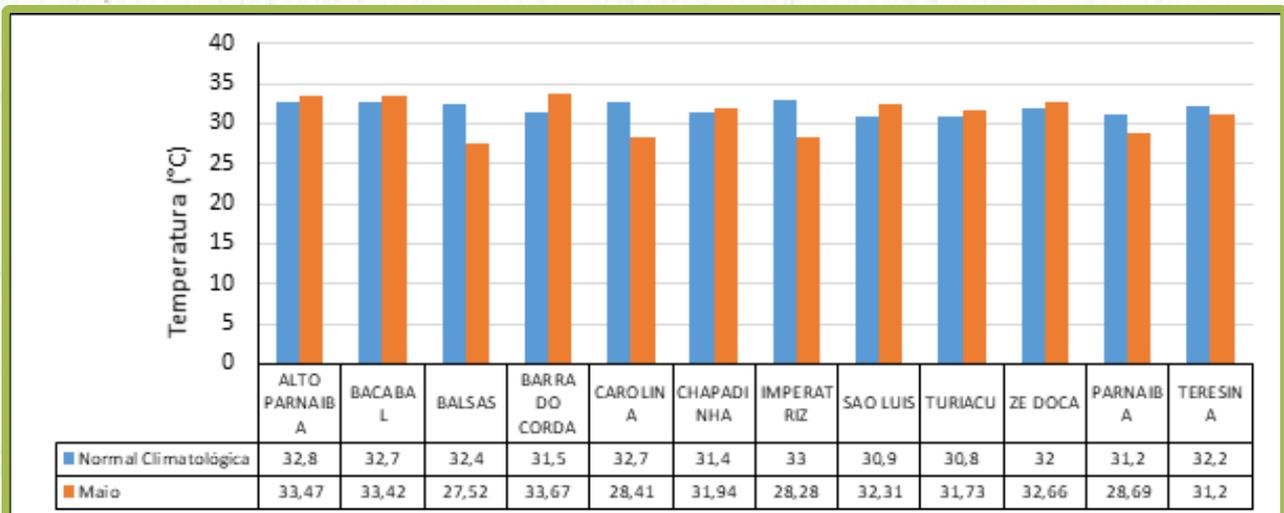
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 57 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmín (1981-2010) e a Tmín observada em maio de 2020



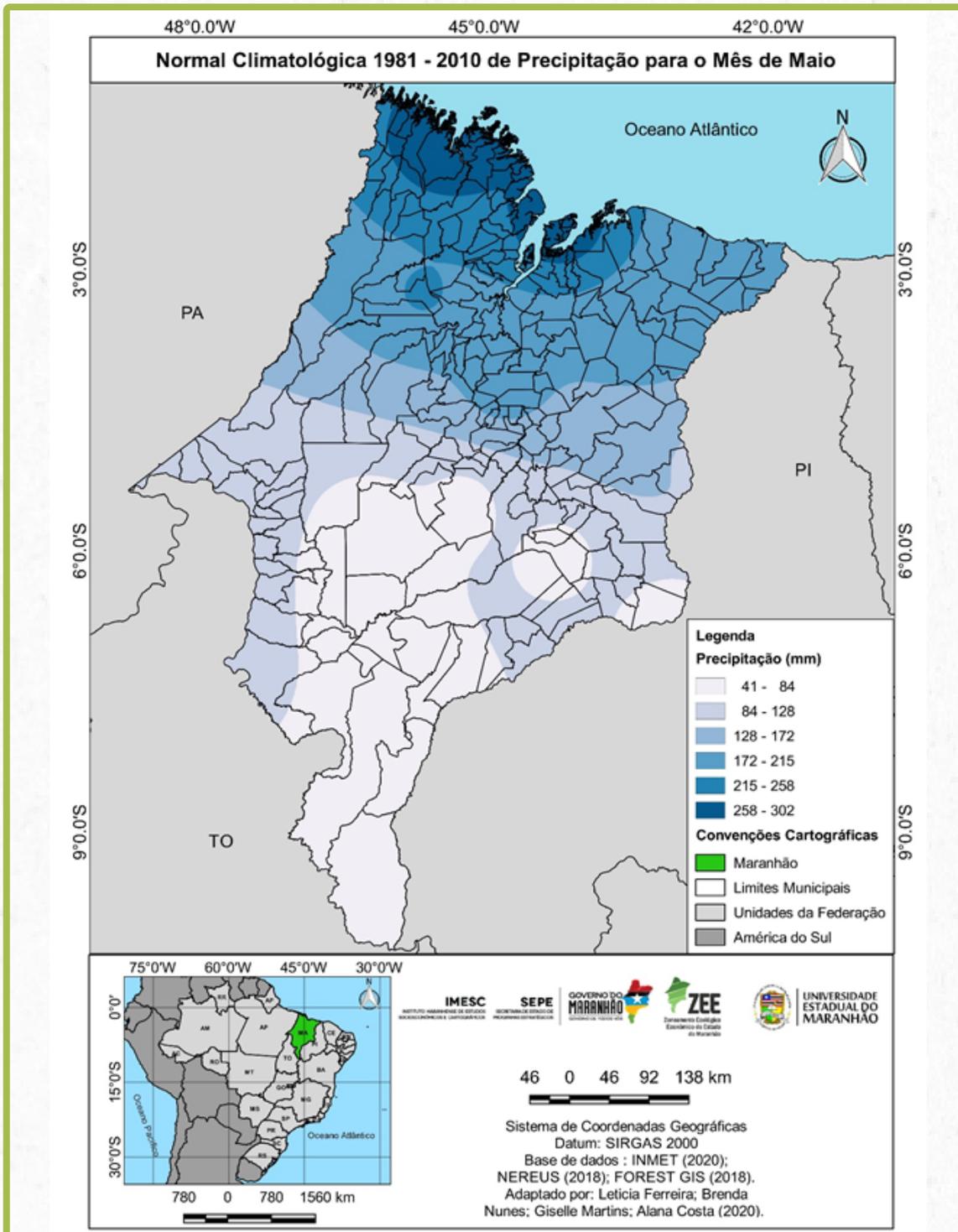
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 58 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmáx (1981-2010) e a Tmáx observada em maio de 2020



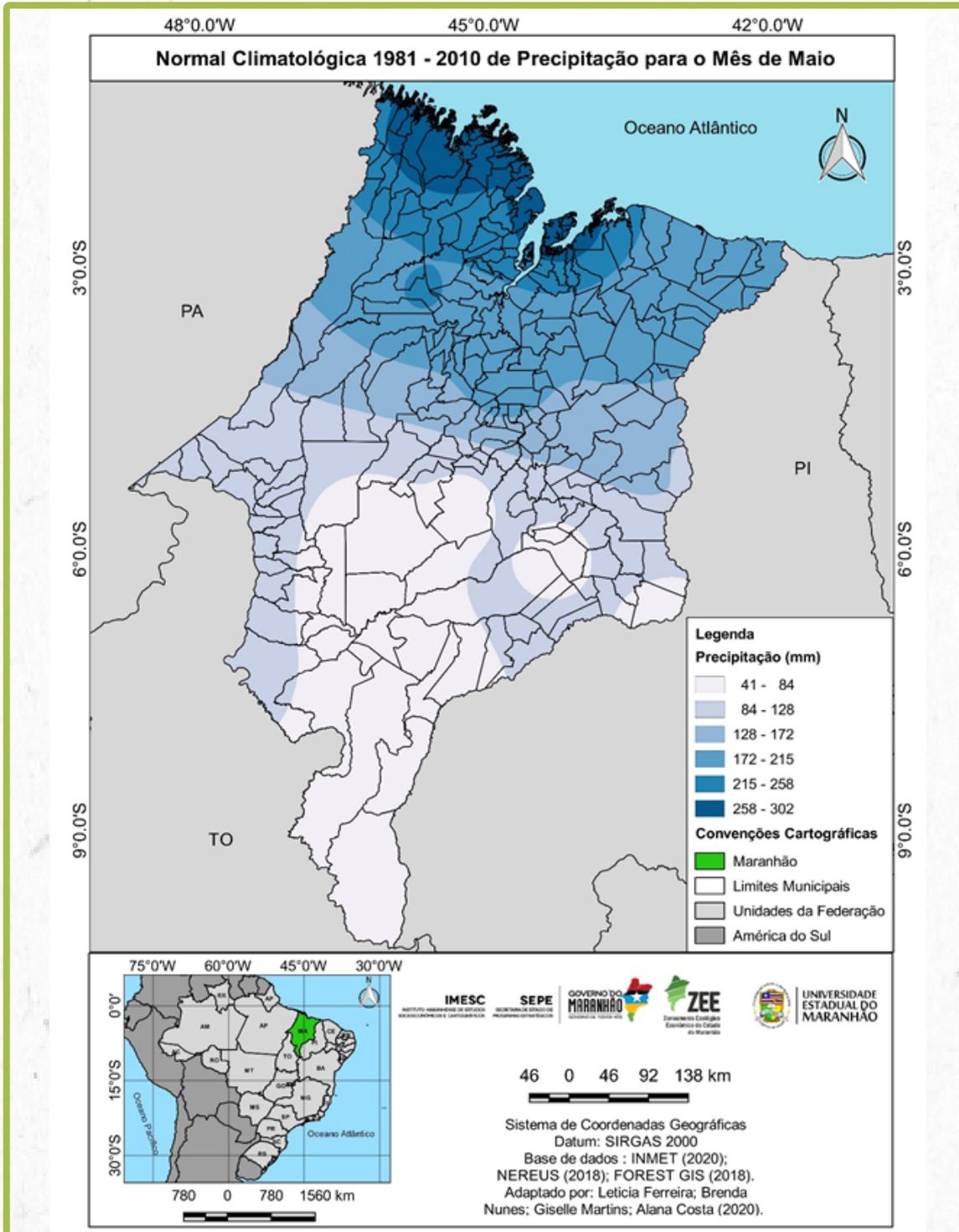
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 59 - Mapa de Normal Climatológica de precipitação para o mês de maio estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



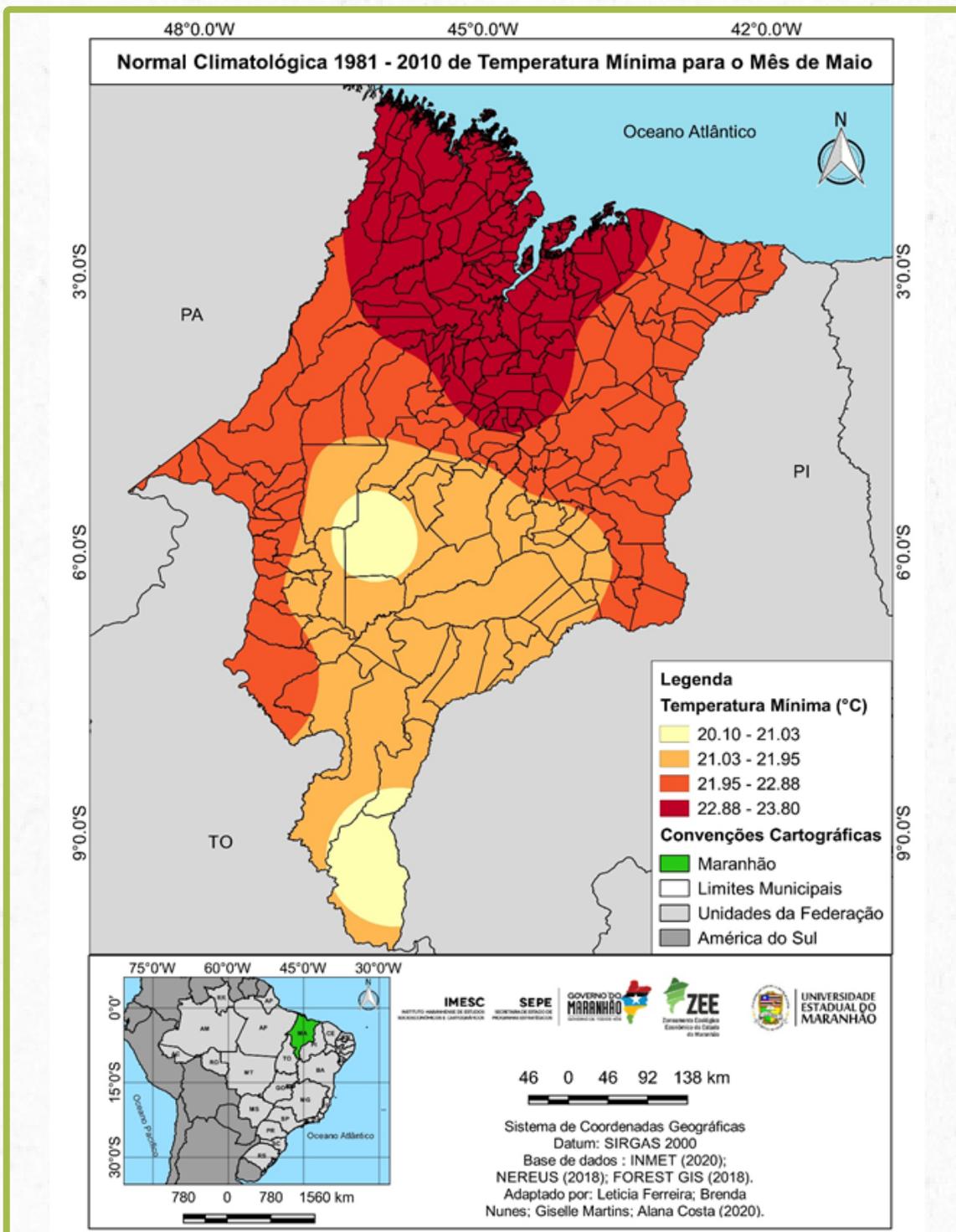
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 60 - Mapa de precipitação acumulada em maio de 2020 no estado do Maranhão



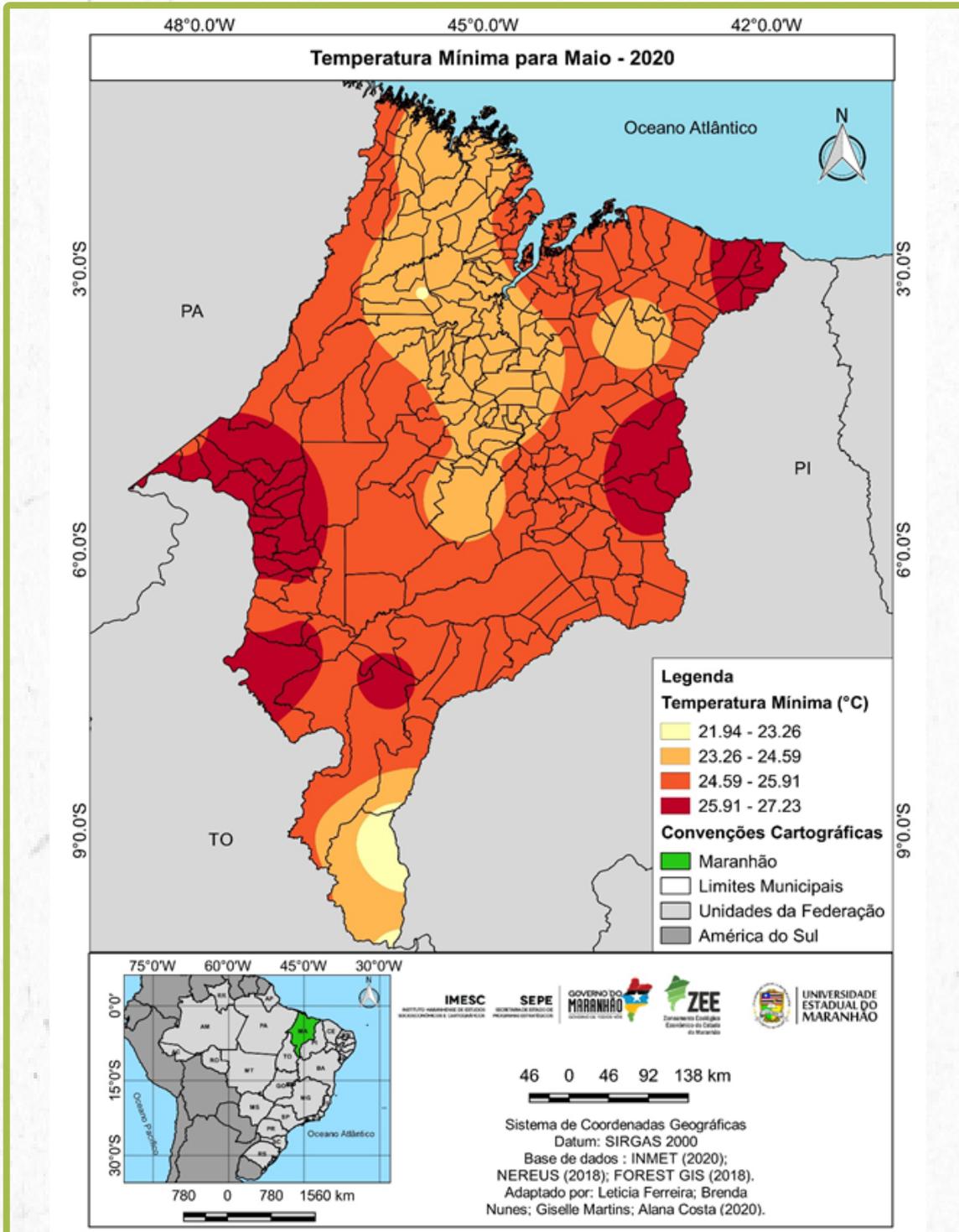
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 61 - Mapa de Normal Climatológica de Temperaturas Mínimas para o mês de maio estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



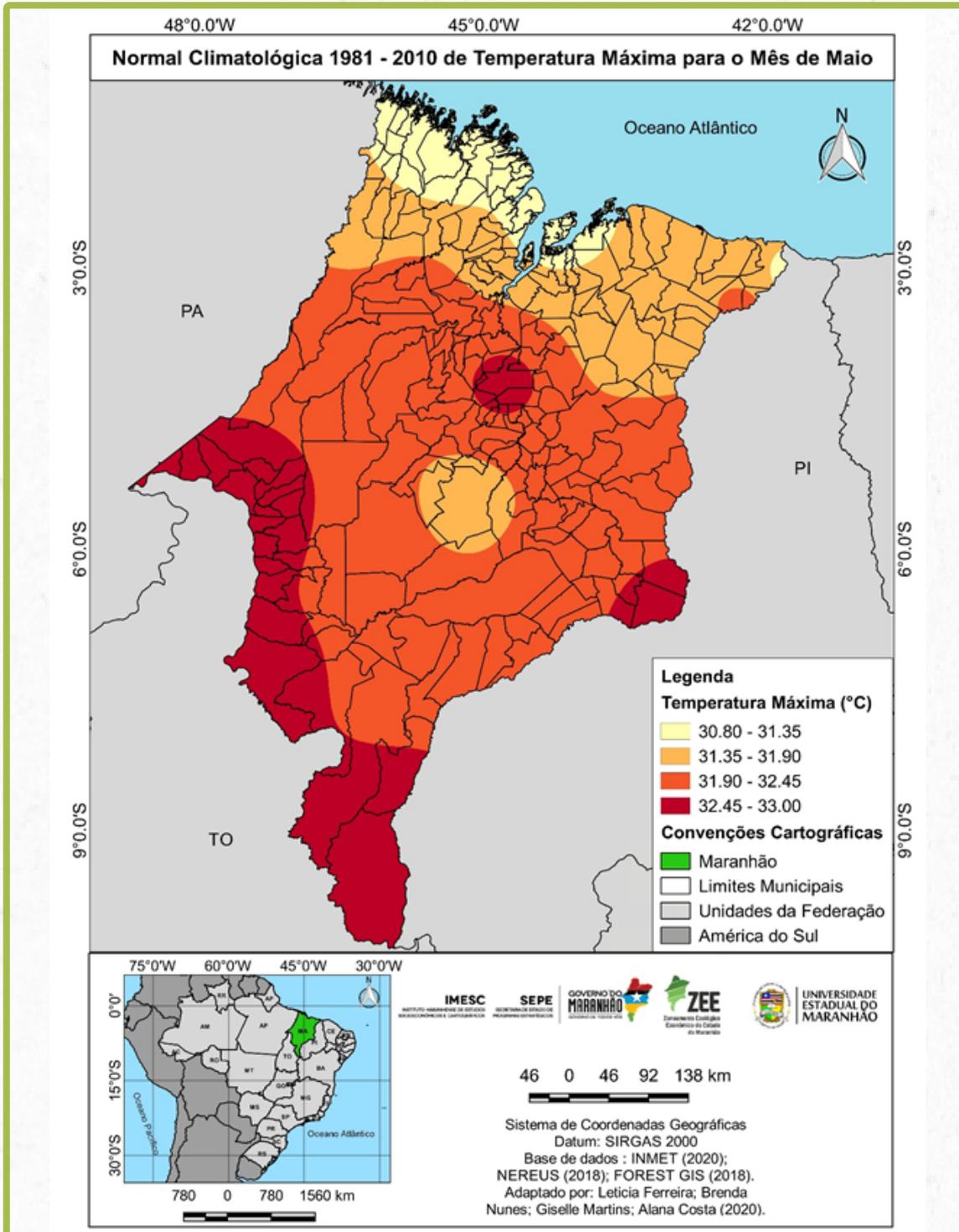
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 62 - Mapa de Temperaturas Mínimas para o mês de maio de 2020 para o estado do Maranhão



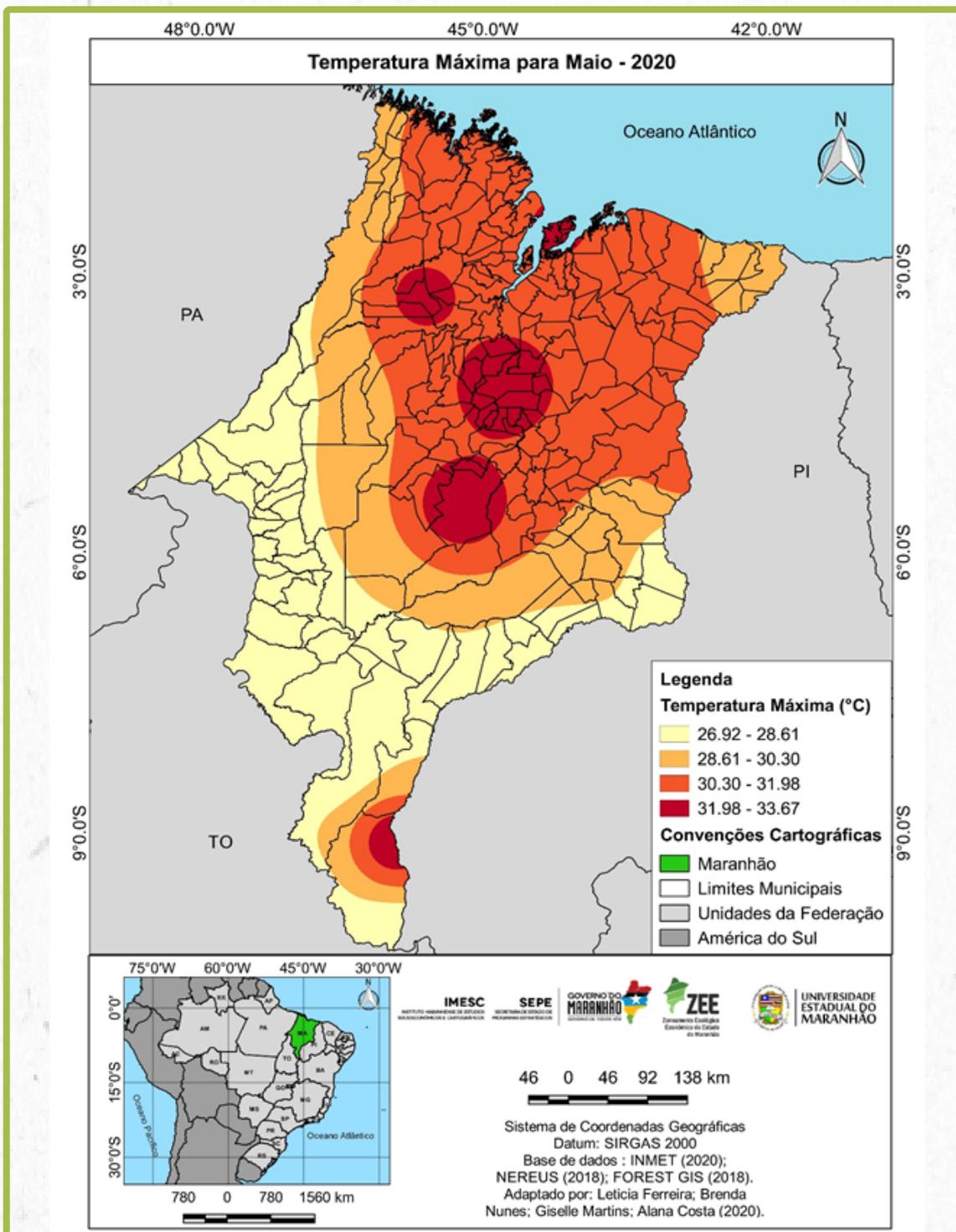
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 63 - Normal Climatológica de Temperaturas Máximas para o mês de maio estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 64 - Mapa de Temperaturas Máximas para o mês de maio de 2020 para o estado do Maranhão



Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

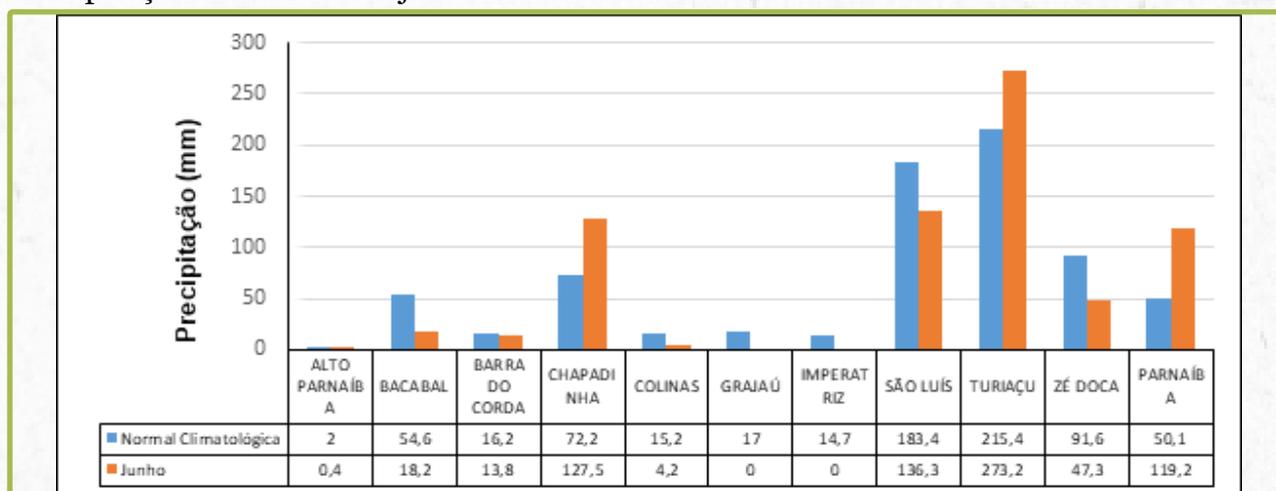
5.6 JUNHO DE 2020

Sendo o último mês da análise ora procedida, junho de 2020 apresenta-se de duas formas no contexto maranhense. A primeira é que se configura como o primeiro mês realmente seco do Centro-Sul do estado, com precipitações mínimas. O segundo, é a marcação da fase de transição entre o período chuvoso e o seco no Centro-Norte do Maranhão, notadamente para a faixa compreendida entre o litoral até 200 km continente adentro.

Com exceção de Turiaçu (MA), com chuvas acima de 127% da normal climatológica, e do extremo Nordeste do Maranhão, no Delta do Parnaíba, com precipitações em 238% em relação à média histórica, todas as demais estações meteorológicas apresentaram valores de 0% a 75% de pluviosidade em relação ao que se estabeleceu para o período comparativo de 1981 a 2010. Chapadinha e região de influência, chegando até Brejo, apresentaram chuvas de 177% em comparação com a normalidade, atingindo 127,5 mm/mês.

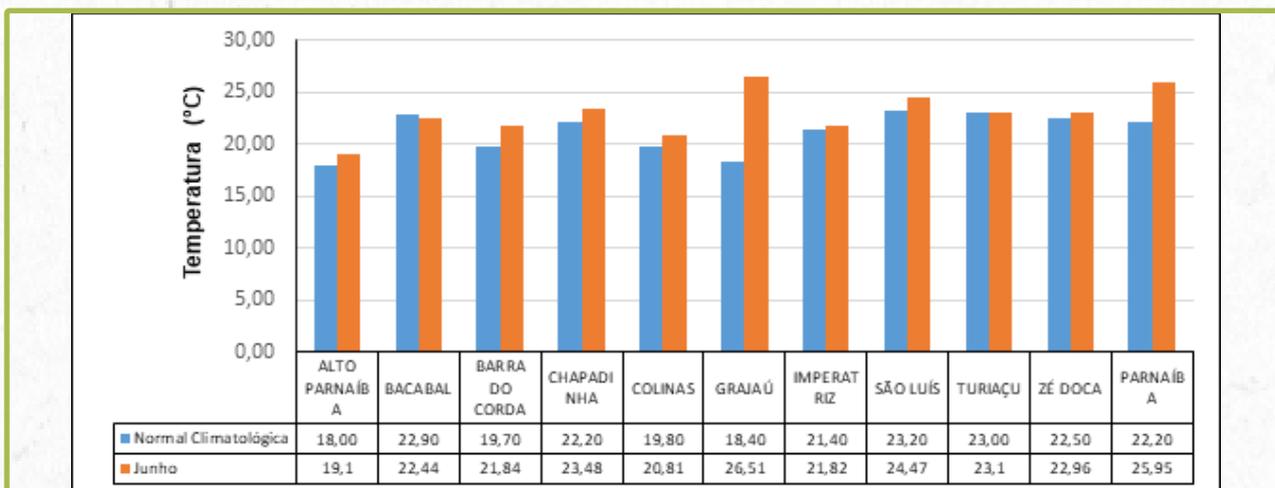
Quanto às temperaturas mínima e máximas, as amplitudes em algumas localidades passam a ser praticamente iguais a 1°C, como é o caso de Grajaú, cujas $T_{mín}$ chegaram a atingir 8,11°C a mais que as normais climatológicas, enquanto as $T_{máx}$ alcançaram diminuição na ordem de -5,29°C, possivelmente relacionadas à nebulosidade regional. Os gráficos e mapas que descrevem a situação de junho de 2020 em relação às normais climatológicas para as variáveis trabalhadas estão dispostos nas Figuras 65 a 73.

Figura 65 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Precipitação (1981-2010) e a Precipitação observada em junho de 2020



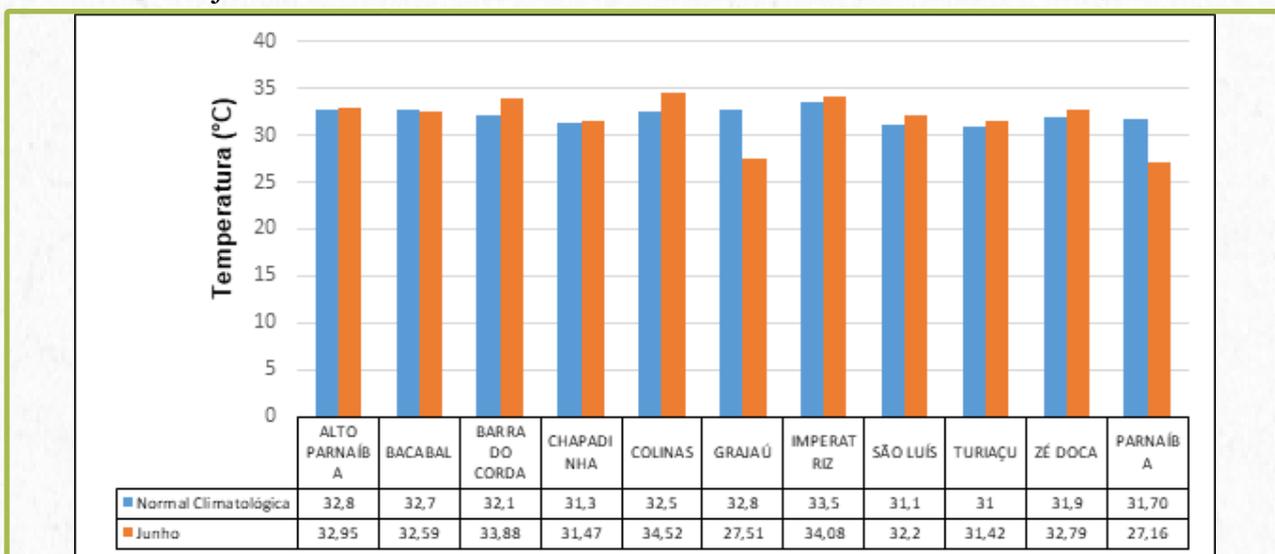
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 66 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmín (1981-2010) e a Tmín observada em Junho de 2020



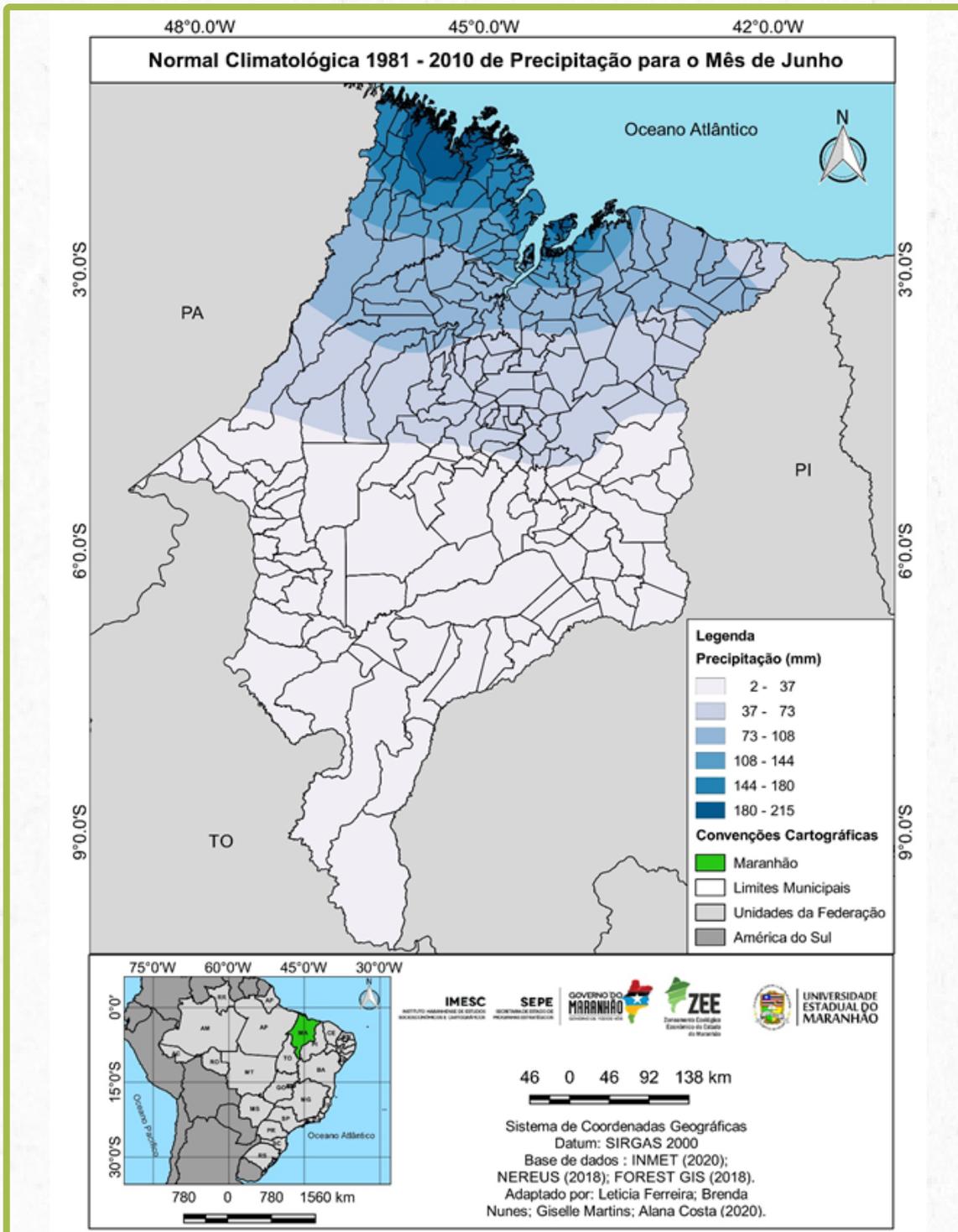
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 67 - Comparativo entre a Normal Climatológica de Tmáx (1981-2010) e a Tmáx observada em junho de 2020



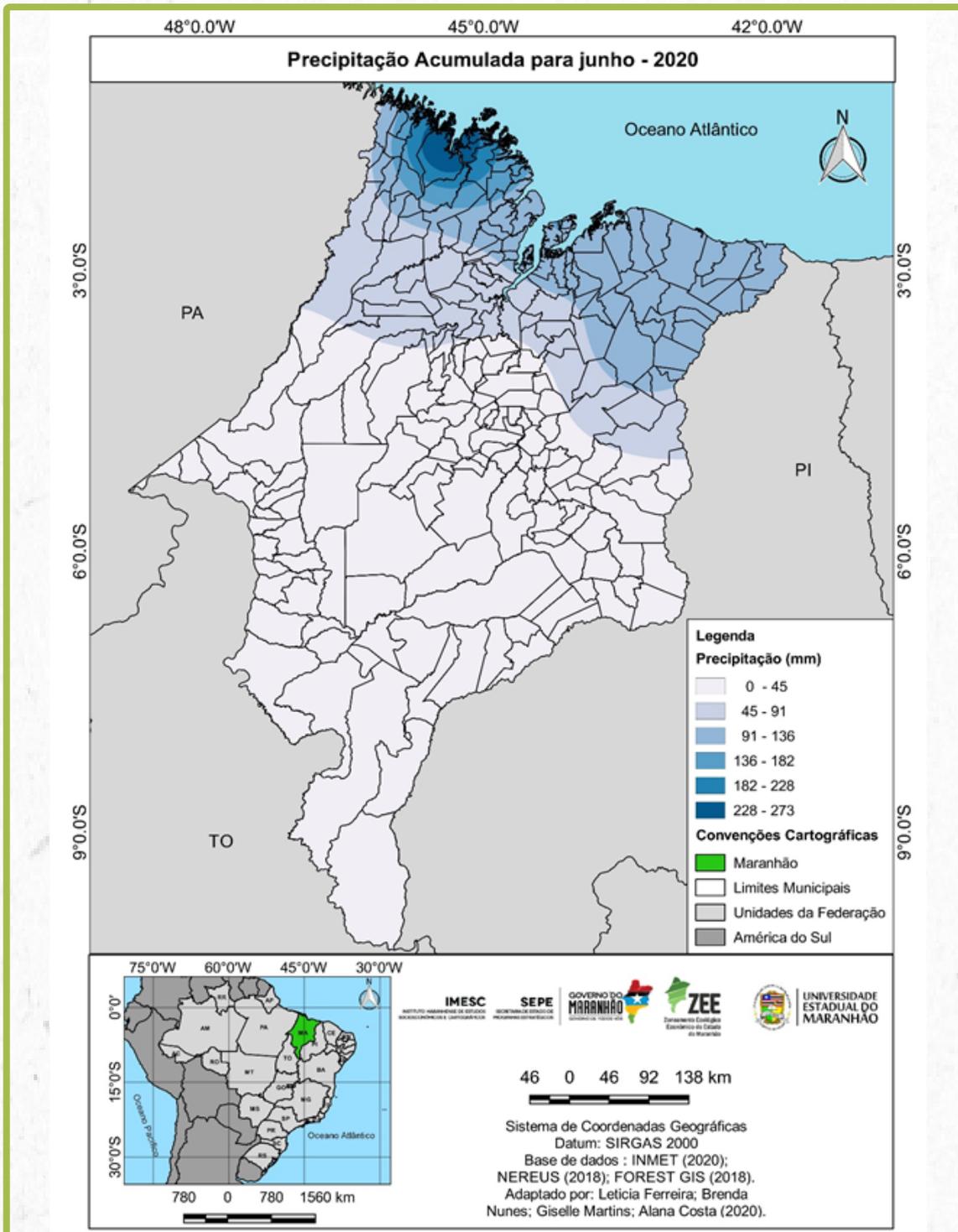
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Figura 68 - Mapa de Normal Climatológica de precipitação para o mês de junho estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



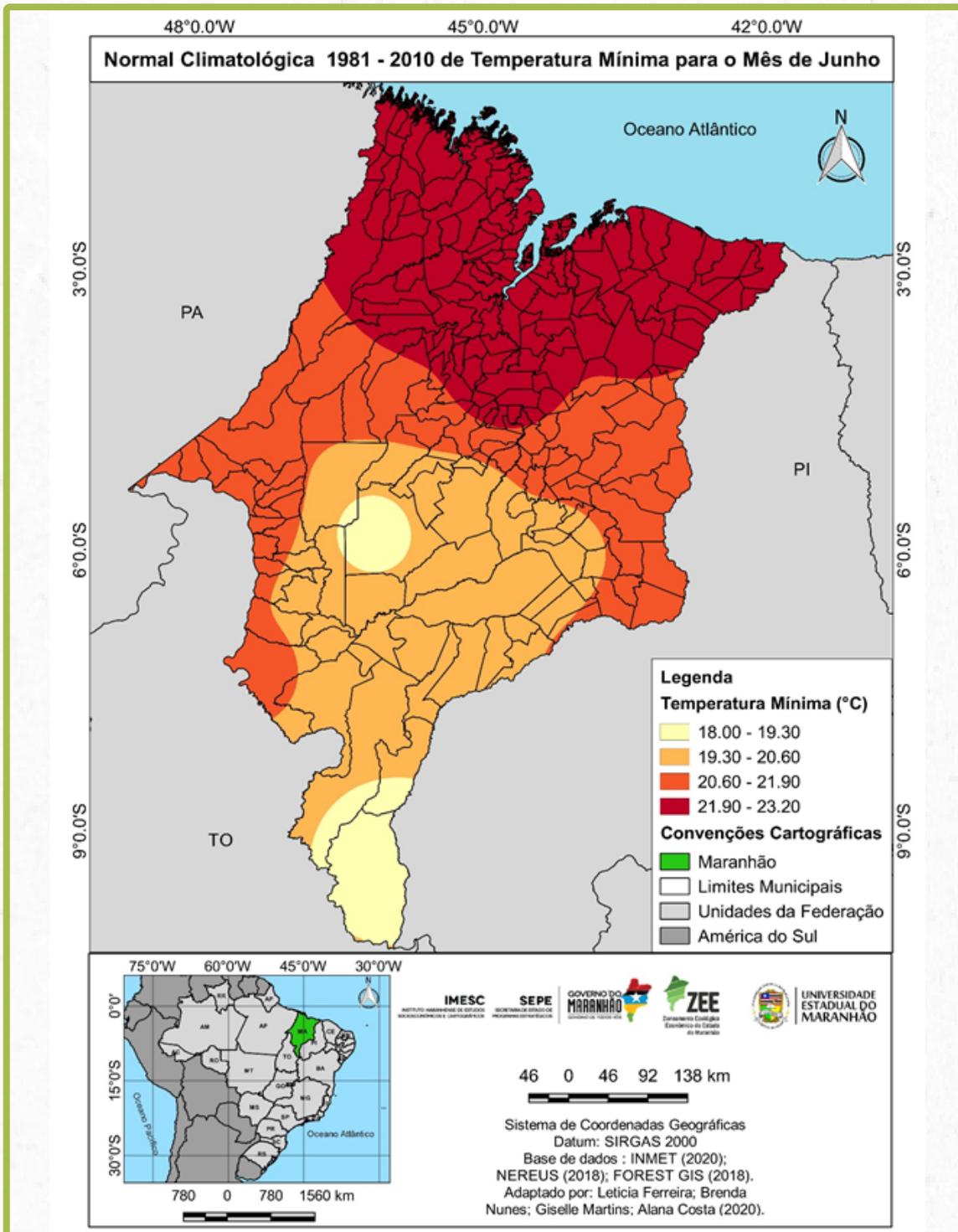
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 69 - Mapa de precipitação acumulada em junho de 2020 no estado do Maranhão



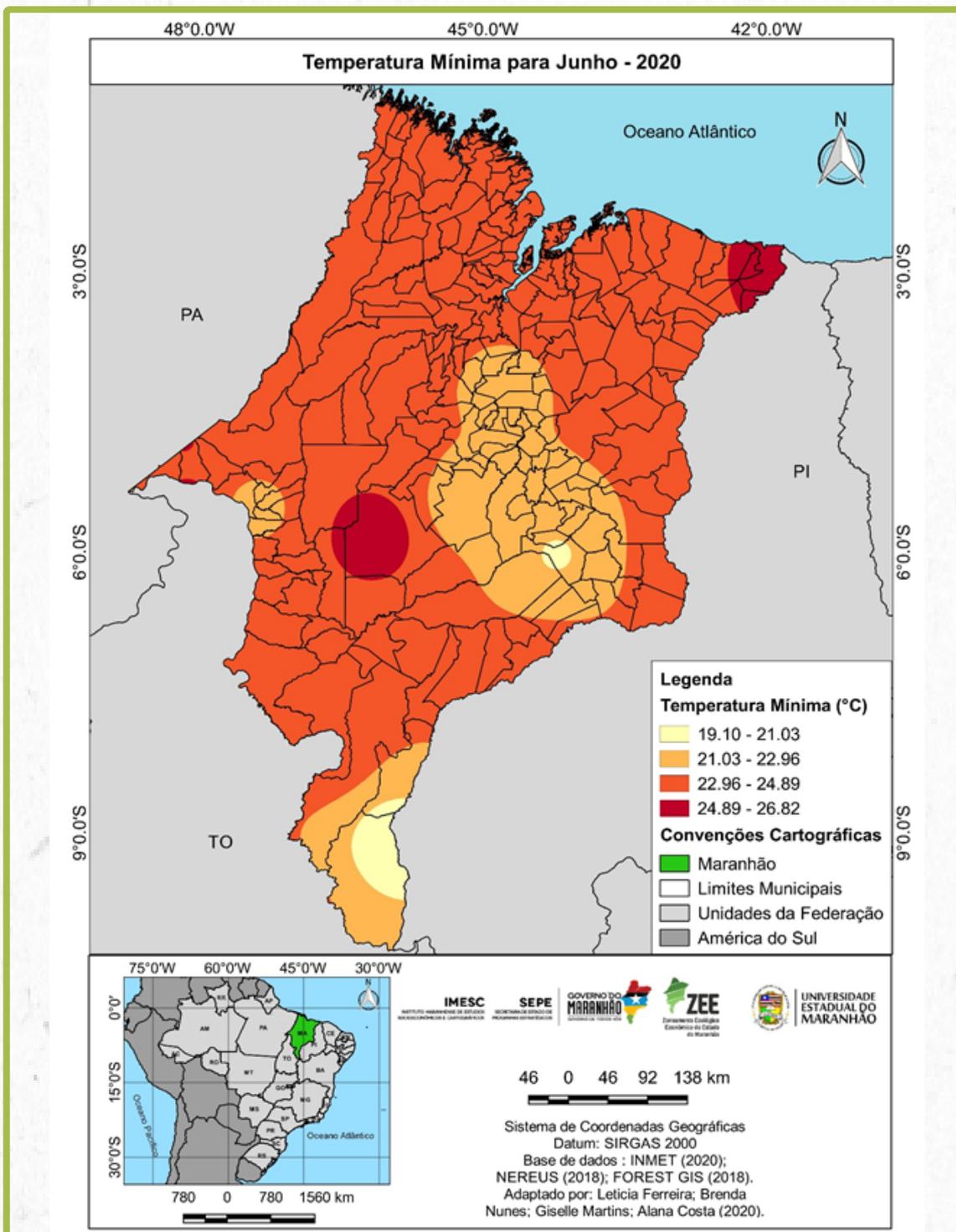
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 70 - Mapa de Normal Climatológica de Temperaturas Mínimas para o mês de junho estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



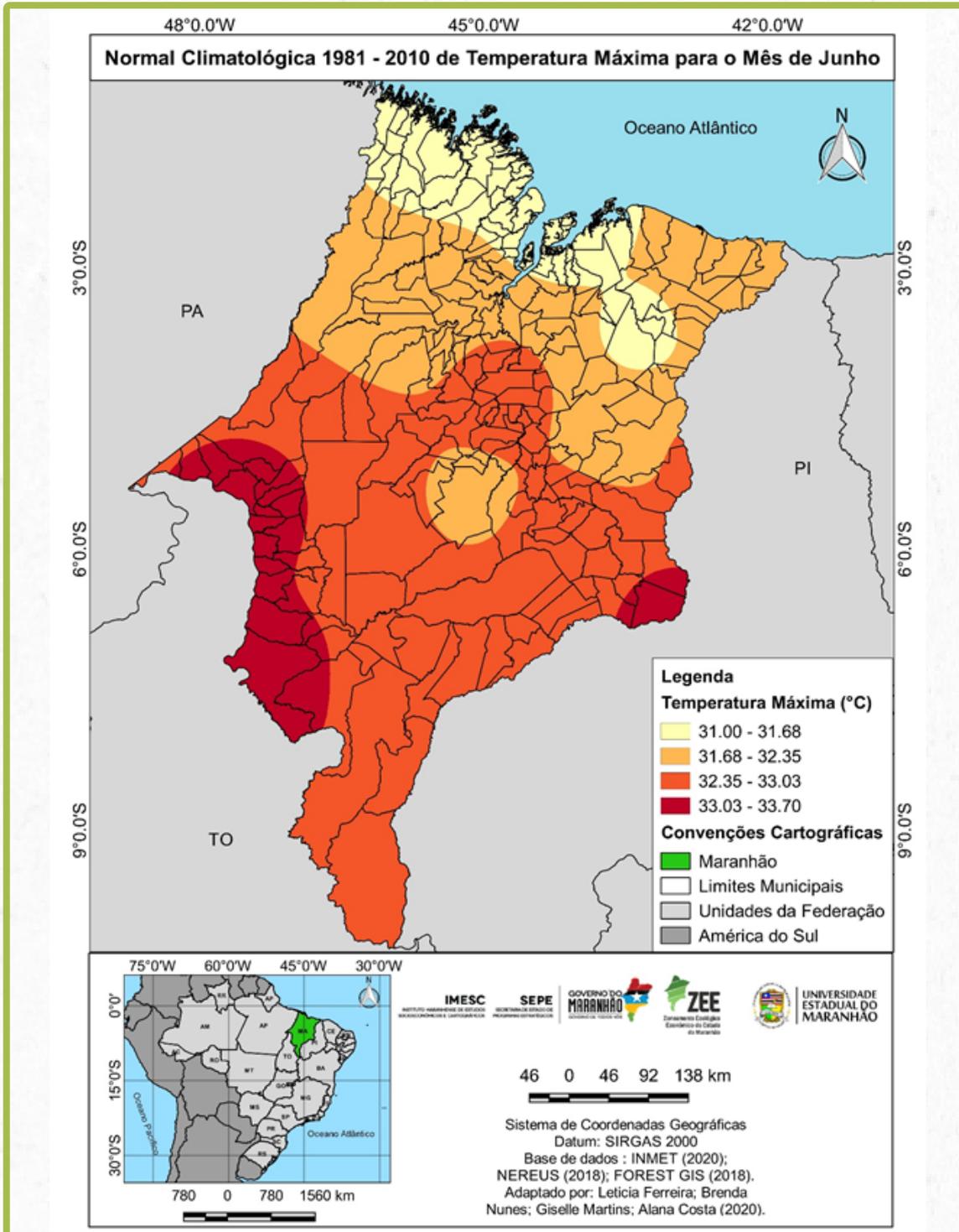
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 71 - Mapa de Temperaturas Mínimas para o mês de junho de 2020 para o estado do Maranhão



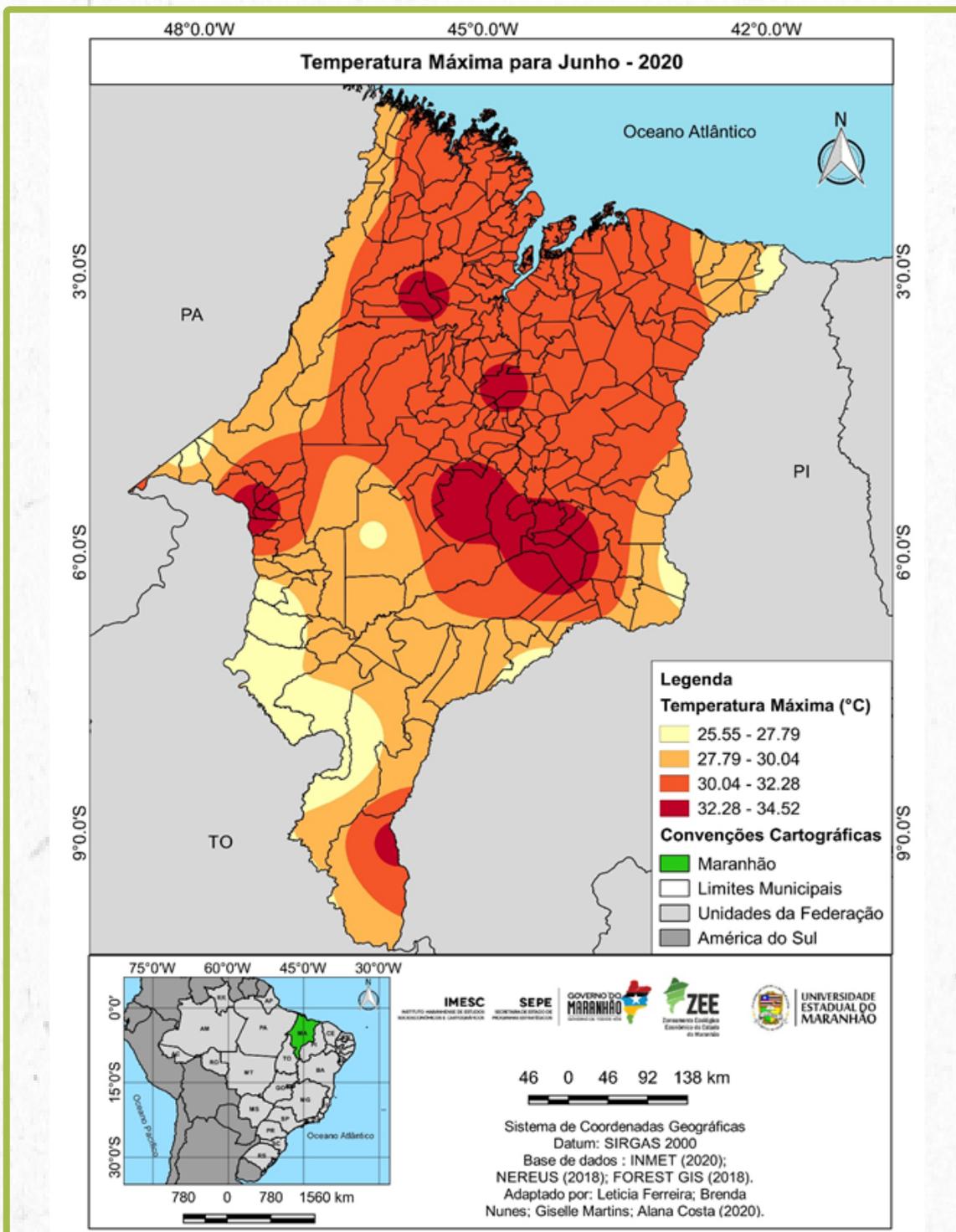
Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 72 - Normal Climatológica de Temperaturas Máximas para o mês de junho estabelecida para o intervalo de 1981 a 2010



Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

Figura 73 - Mapa de Temperaturas Máximas para o mês de junho de 2020 para o estado do Maranhão



Fonte: Adaptado de INMET (2020) pelos autores

6.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises climatológicas do território maranhense, em conjunto, na escala do milionésimo, ainda são bastante escassas. Contudo, a evolução do uso dos dados acerca das condições de tempo e clima adaptadas à realidade regional é condição necessária para o correto emprego desse estratégico conjunto de conhecimentos técnico-científicos que, por um lado, pode fomentar novas interpretações das realidades econômicas, sociais e de políticas públicas aplicadas ao Maranhão.

Por outro lado, faz-se mister adotar esse tipo de saber na articulação de planos de desenvolvimento estadual, quer seja no contexto da produção, quer seja para a elaboração de planos de contingências para adoção em períodos de ocorrência de sinistros associados às dinâmicas atmosféricas. Assim, faz-se prudente que o Governo do Estado do Maranhão, em parceria entre seus órgãos constituintes e capitaneados pelo IMESC, possa utilizar dados do MACROZEE e do ZEE-MA do Bioma Amazônico para a articulação de fundamentos técnicos e científicos para a promoção da resiliência territorial, econômica e ambiental maranhense.

Cenários prospectivos de curto e médio prazo devem ser elaborados, com vistas à indicação do que segue:

- a)** avaliação trimestral das dinâmicas atmosféricas, com vistas a facilitar o entendimento dos principais mecanismos associados ao comportamento dos elementos formadores de tempo em relação às normais climatológicas, conforme desenvolvido neste estudo semestral;
- b)** adoção das variáveis tempo atmosférico e clima na elaboração dos relatórios de conjuntura econômica desenvolvidos pelo IMESC, em abordagem diagnóstica trimestral e cenários de curto prazo, ou seja, de três meses futuros, segundo previsão de consenso dos órgãos oficiais que tratem sobre os citados temas;

c) acompanhamento mensal das dinâmicas de interação oceano-atmosfera e suas implicações no estado do Maranhão, pelo IMESC;

d) aprimoramento das análises climatológicas de conjunto para o estado do Maranhão, com vistas ao entendimento retrospectivo de teleconexões oceano-atmosfera, com elaboração de materiais técnicos sobre o tema, com vistas à sua lógica utilização para a prevenção de riscos climáticos no estado do Maranhão.

Destarte, tendo o clima como elemento analítico integrado à dinâmica dos sistemas ecológico e econômico do Maranhão, será possível traçar cenários interpretativos mais adequados à compreensão dos principais desafios de médio e longo prazos para o desenvolvimento territorial com sustentabilidade social e ambiental, tal como maior acuidade das intervenções econômico-produtivas.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2012. 159 p.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 332 p.

BANCO MUNDIAL. **Relatório sobre o desenvolvimento mundial 2010: desenvolvimento e mudança climática**. São Paulo: Banco Mundial / EDUNESP, 2010. 418 p.

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 512 p.

BEREZUK, André Geraldo. Análise das tendências de ritmo pluviométrico na bacia hidrográfica do Amambá – MS/Brasil. In: SILVA, Charlei Aparecido da; FIALHO, Edson Soares; STEINKE, Ercília Torres (orgs). **Experimentos em Climatologia Geográfica**. Dourados: UFGD, 2014. p. 325-340.

BERTALANFY, Ludwig von. **Teoria geral dos sistemas**. Petropólis: Vozes, 1973. 351 p.

BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Revista RA'E GA**. Curitiba: EDUFPR, n. 8, 2004. p. 141-152.

CLIMATE Prediction Center. **Cold & worm episodes by season**. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 28. Jul. 2020.

DIAS, Luiz Jorge B.; TEIXEIRA, Wenderson; SILVA, Jessica Conceição; SOUSA, Jéssica Suyane. Vulnerabilidades morfoclimáticas no Bioma Amazônia no Estado do Maranhão: orientações ao Zoneamento Ecológico-Econômico regional. In: SEABRA, Geovanni (org.). **Educação Ambiental: natureza, biodiversidade e sociedade**. Ituiutaba: Barlavento, 2017. p. 461-472.

GARRISON, Tom. **Fundamentos de Oceanografia**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning/National Geographic Learning, 2016. 451 p.

ENSO Alert System Status: La Niña Watch. **El Niño Southern Oscillation (ENSO) diagnostic discussion**. College Park: Climate Prediction Center / National Centers for Environmental Prediction / NOAA / National Weather Service. Acesso em: 12. Jul. 2020. Disponível em: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.shtml.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa: Série Histórica – Dados Mensais**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 03. jul. 2020.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **INMET – Imagens de Satélites**. Disponível em: <https://satelite.inmet.gov.br/>. Acesso em: 01. Jul. 2020.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Monitoramento global**. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/monitoramentoglobal/pt>. Acesso em: 04. Jul. 2020.

KAYANO, M.T.; CAPISTRANO, V.B. How the Atlantic multidecadal oscillation (AMO) modifies the ENSO influence on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, v. n/a, p. n/a-n/a, 2013.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Análise rítmica em **Climatologia**. Climatologia, São Paulo: USP\IGEOP, n. 1, 1971. 21 p.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. A climatologia geográfica no Brasil e a proposta de um novo paradigma. In: MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo (org.). **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. Campinas: Alínea, 2015. p. 61-153.

NERY, Jonas Teixeira; CARFRAN, Ana Cláudia. **Glossário de termos técnicos em Meteorologia e Climatologia**. Jundiaí: Paco Editorial, 2013. 416 p.

NUNES, Breda Soares da Silva; DIAS, Luiz Jorge B.. **O subsistema hidrometeorológico no Estado do Maranhão e a sua associação com o IOS/ENOS entre 1989 e 2018: elaboração de uma cartografia climatológica regional**. Relatório de Iniciação Científica. São Luís: UEMA/PIBIC, 2019. 209 fls.

PACHECO, Raphaela Carvalho. **O fenômeno ENOS e suas relações com as queimadas e o subsistema termodinâmico no Estado do Maranhão: subsídios à cartografia temática**. Relatório de Iniciação Científica. São Luís: UEMA/PIBIC, 2019. 85 fls.

PINET, Paul R.. **Fundamentos de Oceanografia**. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 430 p.

PIZZATTO, Luciano; PIZZATTO, Raquel (orgs.). **Dicionário socioambiental brasileiro**. 22. ed. Curitiba: TECNODATA Educacional, 2009. 368 p.

ROSENZWEIG, Cynthia; SOLECKI, William D.; HAMMER, Stephen A.; MEHROTRA, Shagun (eds.). **Climate change and cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network**. Nova York: Cambridge University Press, 2011. 286 p.

SANT'ANNA NETO, João Lima. A climatologia geográfica no Brasil: origem e contexto histórico. In: AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; SANT'ANNA NETO, João Lima; MONTEIRO, Ana (orgs.). **Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso**. São Paulo: Outras Expressões, 2013. p. 11-73.

SILVA, Elaine Rosângela Leutwiler Di Giacomo; SILVA, Maria Elisa Siqueira. Memória de eventos ENOS na precipitação da América do Sul. **Revista do Departamento de Geografia – USP**. v. 30, 2015, p. 34-55.

TUCCI, Carlos E. M.; BRAGA, Benedito. Clima e recursos hídricos. In: TUCCI, Carlos E. M.; BRAGA, Benedito (orgs.). **Clima e recursos hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003. p. 01-30.