

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE HISTÓRIA E GEOGRAFIA  
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO

**RAPHAELA CARVALHO PACHECO**

**UMA HISTÓRIA RECENTE DOS CENÁRIOS CLIMÁTICOS DA ILHA DO  
MARANHÃO**

São Luís  
2021

**RAPHAELA CARVALHO PACHECO**

**UMA HISTÓRIA RECENTE DOS CENÁRIOS CLIMÁTICOS DA ILHA DO  
MARANHÃO**

Monografia apresentada ao curso de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Me. Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias

São Luís  
2021

Pacheco, Raphaela Carvalho.

Uma história recente dos cenários climáticos da Ilha do Maranhão. Raphaela Carvalho Pacheco. – São Luís, 2021.

68 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Geografia Bacharelado, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientador: Prof. Me. Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias.

1. Climatologia Geográfica. 2. Ilha do Maranhão (MA). 3. Sistema Clima Urbano.  
I. Título.

CDU: 551.58(812.1)

Elaborado por Giselle Frazão Tavares – CRB 13/665

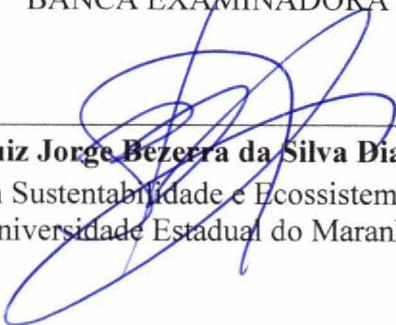
## UMA HISTÓRIA RECENTE DOS CENÁRIOS CLIMÁTICOS DA ILHA DO MARANHÃO

Monografia apresentada ao curso de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Me. Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias

Aprovada em: 17/12 / 2021

### BANCA EXAMINADORA



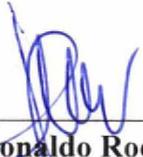
---

**Prof. Me. Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias** (Orientador)  
Mestre em Sustentabilidade e Ecossistemas (UFMA)  
Universidade Estadual do Maranhão



---

**Profa. Dra. Hermeneilce Wasti Aires Pereira Cunha**  
Universidade Estadual do Maranhão



---

**Prof. Dr. Ronaldo Rodrigues Araújo**  
Universidade Federal do Maranhão

*“A sabedoria não vem dos acertos, mas sim do  
aprendizado com os erros”*

*(Monja Coen)*

## AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, o pilar principal da vida que em muitos momentos foi o meu refúgio, onde busquei forças para continuar essa jornada.

Aos meus familiares, meu referencial e minha base, em especial a minha mãe Cintia Valquíria, e a minha avó Regina Celia, que me apoiaram e me forneceram tudo o que eu precisava para ultrapassar os obstáculos e conquistar os meus objetivos. Aos meus avôs José Raimundo Carvalho e Raimundo Pacheco, sou grata por seus suportes em meus estudos, ao meu Tio Luís Carvalho que também contribuiu para esse momento.

Ao meu namorado Deyvid, por seu ombro amigo, carinho e dedicação, me amparado e sendo uma peça fundamental nessa caminhada.

Aos amigos da graduação, Thaís Rodrigues, Josimara Paixão, Debora Serra, Thiago Ronyerisson, Dayana Maciel, que me acompanharam e auxiliaram durante o meu crescimento acadêmico. Ao Klinsmann Barros e Allana Pereira, por suas parcerias na elaboração da base cartográfica, a Jéssica Suyane, Brenda Nunes, Leticia Moura, Zidane Ferreira, Anny Portela, que me ajudaram direta e indiretamente a construir esse momento da minha história.

Ao professor Luiz Jorge, orientador, amigo, mestre, minha gratidão, por todas as oportunidades proporcionadas, por sua confiança em acreditar na minha capacidade, um exemplo de ser humano e profissional.

Não há sucesso solo, sempre existira alguém por trás de nós, muitos foram os que contribuíram para que esse resultado se concretizasse. Para a minha pessoa também deixo o meu agradecimento, por tamanha dedicação e por ter se mantido firme em meio a tantas atribuições.

## RESUMO

Em meio às discussões ambientais hodiernas, destaca-se a necessidade de analisar os elementos constituintes do clima, principalmente em âmbito regional e local. Em outros termos, não se pode falar de mudanças climáticas sem análises sistemáticas de dados estatísticos de longo prazo para aferir o comportamento e o ritmo dos elementos que compõem o clima local e regional. Assim, o estudo dos parâmetros meteorológicos formadores do clima (de longo prazo, ou seja, superiores a 30 anos de medições acumuladas ininterruptas) de uma região, em que pese nos ambientes Costeiros maranhenses, como é o caso da Ilha do Maranhão, auxilia diretamente na correlação de fatores e processos que causem alterações no ritmo e variabilidade das dinâmicas e perturbações atmosféricas pontuais em certas localidades espaciais, principalmente naquelas que possuem estações meteorológicas oficiais. Isso, por seu turno, concorre para o estabelecimento de indicadores climatológicos (denominados de normais) que possam apontar a naturalidade dos fenômenos meteoro-climáticos ou sua ligação com os fenômenos antropogênicos de durações variáveis, principalmente em Sistemas Climáticos Urbanos (SCU). Atualmente, são diversas as exigências por dados meteoro-climáticos aplicados a Zona Costeira Maranhense, 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 de planejamento e ordenamento territorial, sejam eles de caráter político ou ambiental.

**Palavras-chave:** Climatologia Geográfica. Sistema Clima Urbano (SCU). Ilha do Maranhão (MA).

## ABSTRACT

During today's environmental discussions, the need to analyse the elements that make up the climate stands out, especially at the regional and local levels. In other words, we cannot talk about climate change without systematic analysis of long-term statistical data to assess the behaviour and rhythm of the elements that make up the local and regional climate. Thus, the study of meteorological parameters that form the climate (long-term, that is over 30 years of uninterrupted accumulated measurements) of a region, especially in the coastal environments of Maranhão, as is the case of Maranhão Island, directly assists in the correlation of factors and processes that cause changes in the rhythm and variability of dynamics and atmospheric disturbances in certain spatial locations, especially those with official meteorological stations. This, in turn, contributes to the establishment of climatological indicators (called normal) that can point to the naturalness of meteorological-climatic phenomena or their connection with anthropogenic phenomena of variable durations, especially in Urban Climate Systems (UCC). Currently, there are several demands for meteorological-climatic data applied to the Coastal Zone of Maranhão, mainly in academic, public management and specialized consultancies. Demands for meteorological and climatic information are increasing for planning studies and territorial planning, whether political or environmental.

**Keys Words:** Geographic Climatology. Urban Climate System (SCU). Maranhão Island (MA).

## LISTA DE FIGURAS, TABELAS E QUADROS

<b>Figura 1</b> - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do INMET...21	21
<b>Figura 2</b> - Coleta dos dados mensais na base do INMET.....21	21
<b>Figura 3</b> - Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (Precipitação – Estação São Luís)....22	22
<b>Figura 4</b> - Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (Temperatura Máxima – Estação São Luís) .....22	22
<b>Figura 5</b> - Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (Temperatura Mínima– Estação São Luís) .....22	22
<b>Figura 6</b> - Interface do Sistema de Informação Geográfica Arcgis .....24	24
<b>Figura 7</b> - Presença da ZCIT na faixa Norte da Região Nordeste Brasileira (apontada por seta), em 18 de janeiro de 2018, gerando instabilidades atmosféricas.....26	26
<b>Figura 8</b> - Planície de maré lamosa, ocupada parcialmente por manguezais, no estuário do Bacanga (a jusante da barragem homônima), na localidade Tamancão, em episódio de baixa mar.....29	29
<b>Figura 9</b> - Seção esquemática litoestratigráfica do ambiente deposicional conhecido como Bacia Sedimentar Costeira de São Luís, de idade mesozoica.....30	30
<b>Figura 10</b> - Distribuição das litofácies sedimentares na Bacia Sedimentar Costeira de São Luís, especificamente na Ilha do Maranhão.....31	31
<b>Figura 11</b> - Sucessão ecológica em estratos iniciais e intermediários em áreas de antigas explorações minerais (lateritas) no atual Parque Estadual do Bacanga .....35	35
<b>Figura 12</b> - Manguezais frontais (bosque de mangue-vermelho <i>Rhizophora mangle</i> ) associados a canal de maré entre a Ilha do Maranhão e a Ilha de Curupu (município de Raposa – MA) ....36	36
<b>Figura 13</b> - Área inundada no trecho de montante do Canal do Rio das Bicas, Salinas Sacavém.....38	38
<b>Quadro 1</b> - Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar Costeira de São Luís.....33	33
<b>Tabela 1</b> - Unidades de planejamento territorial com base nas categorias da Escala Climatológica e suas possibilidades de interpretação geográfica.....19	19

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Distribuição anual média das precipitações para a estação meteorológica do INMET em São Luís (MA) no período de 1971 a 2013, com tendência de queda dos totais pluviométricos.....	37
<b>Gráfico 2</b> - Distribuição mensal das precipitações em São Luís (MA) no período de 1931-1960 (Normal 01), 1961-1990 (Normal 01) e de 1991-2017 (Tendência de Normal 1991-2017) .....	39
<b>Gráfico 3</b> - Distribuição mensal das temperaturas mínimas (T <sub>mín</sub> ) e máximas (T <sub>máx</sub> ) em São Luís (MA) no período de 1931-1960 (Normal 01), 1961-1990 (Normal 01) e de 1991-2017 (Tendência de Normal 1991-2017) .....	41
<b>Gráfico 4</b> - Climograma de precipitações e temperaturas mínimas (T <sub>mín</sub> ) e máximas (T <sub>máx</sub> ) em São Luís (MA) no período de 1931-1960 (Normal 01) e 1961-1990 (Normal 01) .....	49
<b>Gráfico 5</b> - Climograma de precipitações e temperaturas mínimas (T <sub>mín</sub> ) e máximas (T <sub>máx</sub> ) em São Luís (MA) no período de 1961-1990 (Normal 01) e 1991-2017 (Tendência de Normal) .....	51
<b>Gráfico 6</b> - Climograma de precipitações e temperaturas mínimas (T <sub>mín</sub> ) e máximas (T <sub>máx</sub> ) em São Luís (MA) nos períodos de 1931-1960 (Normal 01), de 1961-1990 e entre 1991-2017 (Tendência de Normal) .....	52

## LISTA DE MAPAS

<b>Mapa 1</b> - Situação geográfica da Ilha do Maranhão.....	27
<b>Mapa 2</b> - Ampliação dos focos de calor com base em tratamento da banda termal de imagens do Satélite LANDSAT 5 e 8, para os meses de novembro do ano 1984.....	43
<b>Mapa 3</b> - Ampliação dos focos de calor com base em tratamento da banda termal de imagens do Satélite LANDSAT 5 e 8, para os meses de novembro do ano de 1994.....	43
<b>Mapa 4</b> - Ampliação dos focos de calor com base em tratamento da banda termal de imagens do Satélite LANDSAT 5 e 8, para os meses de novembro do ano de 2004.....	46
<b>Mapa 5</b> - Ampliação dos focos de calor com base em tratamento da banda termal de imagens do Satélite LANDSAT 5 e 8, para os meses de novembro do ano de 2014.....	46
<b>Mapa 6</b> - Ampliação dos focos de calor com base em tratamento da banda termal de imagens do Satélite LANDSAT 5 e 8, para os meses de novembro do ano de 2017.....	47
<b>Mapa 7</b> - Ampliação dos focos de calor com base em tratamento da banda termal de imagens do Satélite LANDSAT 5 e 8, para os meses de novembro do ano de 2020.....	47

## LISTA DE SIGLAS

ALUMAR	Consórcio de Alumínio do Maranhão
APPs	Áreas de Preservação Permanente
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos do INMET
CO	Monóxido de Carbono
CO <sup>2</sup>	Dióxido de Carbono
DOL	Distúrbios Ondulatórios de Leste
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EIV	Estudos de Impactos de Vizinhança
ENOS	<i>El Niño</i> Oscilação Sul
EPIA	Estudos Prévios de Impactos Ambientais
ET	Estudos de Travessia
GIS	Sistema de Informação Geográfica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMESC	Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NASA	Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço
PCA	Planos de Controle Ambientais
PRAD	Planos de Recuperação de Áreas Degradadas
RAS	Relatórios Ambientais Simplificados
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RMGSL	Região Metropolitana da Grande São Luís
SCU	Sistema Clima Urbano
TSM	Temperatura de Superfície do Mar
TST	Temperatura de Superfície Terrestre
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	18
2.1	GERAL .....	18
2.3	ESPECÍFICOS.....	18
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	19
4	<b>RESULTADOS E DISCUÇÕES</b> .....	25
4.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	27
4.2	O COMPORTAMENTO HIDROMETEÓRICO DA ILHA DO MARANHÃO .....	35
4.3	O COMPORTAMENTO TERMODINÂMICO DA ILHA DO MARANHÃO .....	39
4.4	CLIMOGRAMAS DA ILHA DO MARANHÃO.....	47
4.5	PLANEJAMENTO PARA O SISTEMA CLIMA URBANO (SCU) DA ILHA DO MARANHÃO.....	52
4	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	56
	REFERÊNCIAS.....	59

## 1 INTRODUÇÃO

O século XXI apresenta um forte conjunto de fatores reais que conduzem à certeza científica de que há perturbações nos sistemas ambientais ocasionados por fatores antropogênicos. Problemas diversos, como poluições atmosféricas e hídricas, uso e ocupação de espaços urbanos e rurais procedidos inadequadamente, aumento do número de veículos circulantes, demanda por novos espaços industriais e portuários em áreas biogeográfica e geomorfologicamente sensíveis, bem como diminuição da cobertura vegetal e da biodiversidade associada, geram um estresse ambiental, comprometendo a sua resiliência.

Na esfera internacional são discutidas interferências antropogênicas no clima, nos padrões de circulação de mares e oceanos, na extinção de número considerável de espécies da fauna e da flora, tal como seus impactos na economia e na ocupação dos espaços, principalmente os costeiros (DIAS, 2006). Dessa maneira, são propostas atualmente diferentes e complementares estratégias para minimizar os efeitos das mudanças ambientais em curso, objetivando o desenvolvimento de novas tecnologias e políticas de controle e monitoramento das atividades humanas (PEREIRA, 2010).

Segundo Oliveira (2008), foi a partir do início do século XX que as atividades humanas tiveram atuação decisiva na mudança de composição da atmosfera, principalmente em função da atividade industrial. Enquanto está aumentou cerca de vinte vezes, o atual consumo de combustíveis fósseis é trinta vezes maior do que em 1900 (e a maior parte deste uso se deu a partir de 1950), fato que demonstra a rapidez do processo de urbanização mundial e seu crescente impacto sobre a atmosfera e os ecossistemas remanescentes. Esse crescimento e modificações no espaço levaram a um crescente dos registros meteorológicos que notaram o aumento médio na temperatura das grandes cidades em todo o mundo.

Embora haja uma forte corrente científica dentro das Ciências Ambientais e das Ciências da Natureza que convergem para esse tipo de análise, ela não é considerada consensual, tendo em vista que existem outros parâmetros a serem analisados, como os fatores de ordem natural associados à própria dinâmica da Terra, bem como dos movimentos astronômicos pelo planeta desenvolvidos. Nessa perspectiva, as alterações climáticas globais são apenas consideradas como partes de ciclos maiores, que em quase nada envolvem as alterações antropogênicas, bem como podem indicar um viés interpretativo econômico e geopolítico de acordos que freiem o desenvolvimento de países ainda não extensamente industrializados (FELÍCIO, 2014; MOLION, 2014; SANTOS; SILVA, 2016).

Independentemente de qual seja a vertente correta, certo é que o ritmo de crescimento da população mundial não veio acompanhado de níveis similares de melhoria das condições sanitárias, de higiene, de saúde, de habitação e de alimentação como direitos universais (HOGAN *et al.*, 2010). A preocupação com as alterações introduzidas pelo processo de urbanização na qualidade do ar da cidade constituiu-se no principal alerta a despertar o interesse para a elaboração de estudos climatológicos (OKE, 2009). O início de tais estudos remonta ao período da Revolução Industrial na Inglaterra e, no caso brasileiro, acompanham o momento em que a população urbana suplantou a rural (MONTEIRO, 1991). Foi a partir da década de 1970 que os estudos do clima urbano passaram a ser desenvolvidos, amiúde, no Brasil (SANT'ANNA NETO, 2013).

Metodologicamente, a partir de Sorrè (1952 *apud* MONTEIRO, 2003) os estudos dos parâmetros formadores do clima (ou seja, de condições atmosféricas estatísticas vistas em longo prazo, superiores a 30 anos de medições acumuladas ininterruptas) passaram a ter maior evidência e sistematização como objetivo de ação do profissional de Geografia. A análise do clima como fenômeno geográfico (ZAVATINI; BOIN, 2013) permite a correlação de fatores e processos que causem mudanças, variações ou mesmo apenas perturbações atmosféricas pontuais em certas localidades espaciais, em que pesem aquelas que possuem estações meteorológicas oficiais. Isso, por seu turno, concorrerá para o estabelecimento de indicadores que possam apontar a naturalidade dos fenômenos meteoro-climáticos ou sua ligação com os fenômenos antropogênicos de durações variáveis, principalmente em Sistemas Climáticos Urbanos – SCUs (MONTEIRO, 1976).

O Estado do Maranhão ainda é bastante 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, ausência de dados meteorológicos de longo prazo (superiores a 30 anos de medições diárias constantes) para a maior parte de seu conjunto territorial, indefinições quanto às tipologias climáticas de longo prazo (influências da semiaridez nordestina, por exemplo), bem como a falta de aplicação de conhecimentos estatísticos acumulados sobre elementos formadores de tempo e clima são fatos que concorrem para baixa quantidade de dados objetivos acerca dos climas regionais e locais do espaço total maranhense (DIAS; PINHEIRO JÚNIOR, 2013; BATISTELLA, 2013). Esse conjunto de fatores é refletido, igualmente e criticamente, para os espaços associados ao Bioma Costeiro e Marinho, cuja parte central em território maranhense (a Ilha do Maranhão) coaduna quase 20% da população estadual.

Atualmente, os recursos naturais dos municípios que compõem a Ilha do Maranhão (São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa) passam por um processo de degradação expressiva, o que foi iniciado fortemente na década de 1960, com maior expressividade espacial de danos ocorrendo entre os fins da década de 1970 e início dos anos 2000 (DIAS; NOGUEIRA JÚNIOR, 2005). Os processos ambientais derivados das intervenções antrópicas geraram condições adversas à sustentação de atividades humanas e de manutenção de ecossistemas diversos.

Com uma frota circulante de aproximadamente 350.000 automóveis/dia, os municípios cujos territórios estão circunscritos à ilha do Maranhão possui sensível comprometimento das suas condições de baixa atmosfera, elevando os riscos potenciais de origem e manutenção de ilhas de calor. Ademais, com o baixo índice de arborização e intensificação dos processos de calmarias na Baía de São Marcos e na Baía de São José, a Leste, a Norte e a Oeste do ambiente insular em discussão, a dispersão de particulados atmosféricos torna-se baixa em aproximadamente 25% a 30% dos dias do ano, ocasionando problemas sérios de saúde pública (DIAS, 2016).

Os efeitos do aquecimento antropogênico regional na Ilha do Maranhão, bem como da ruptura induzida nos sistemas da baixa e média troposfera, já são perceptíveis a um raio de até 30 km, o que tem comprometido significativamente a sustentabilidade de importantes ecossistemas costeiros ao longo da Costa Oeste e Central do Golfão Maranhense, circunjacente ao ambiente insular ocupado por parte da Região Metropolitana da Grande São Luís (RMGSL). Existem processos em curso que podem concorrer para um maior comprometimento das características de ritmo e variabilidade climática nos municípios que compõem a Ilha do Maranhão, quais sejam:

- Aumento da especulação imobiliária por empreendimentos de moradia e de natureza comercial, principalmente em áreas de coberturas vegetais em fase de sucessão ecológica intermediária e em áreas de preservação permanente (APPs) de fundo de vale, de nascentes e de manguezais;
- Comprometimento das micro e macrodrenagens, em função da ocupação inadequada de margens de cursos d'água;
- Elevação dos riscos à erosão costeira, dada a ocupação de dunas e paleodunas, bem como direcionamento de construções no sentido das praias.

Assim, cenários de crescimento demográfico, especulações imobiliárias e indução de novos processos de ocupação podem trazer problemas indelévels ao território insular ora

abordado, considerando que o modelo de ordenamento espacial hodierno não insere em seu contexto as estratégias de mitigação que porventura possam vir a ser adotadas face ao crescimento das interferências meteoro-climáticas sobre as áreas urbanas da Ilha do Maranhão. Em outros termos, se hoje já se infere a possibilidade de formação de ilhas de calor pela falta de adoção de políticas públicas de controle e mitigação da expansão horizontal sobre áreas outrora naturais, há indicativos de piora de quadros em médio prazo, caso não sejam realizados estudos sistemáticos sobre o comportamento climático de cada um dos retromencionados municípios (DIAS, 2016).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

Analisar, à luz da Climatologia Geográfica, o comportamento dos elementos formadores de tempo e clima na Ilha do Maranhão para os subsistemas termodinâmico e hidrometeorológico, válidos para sua região de influência, com vistas ao planejamento e ordenamento territorial.

### **2.3 ESPECÍFICOS**

- Identificar os dados oficiais acerca dos elementos formadores do clima urbano do ambiente insular costeiro da Região Metropolitana da Grande São Luís no intervalo compreendido entre janeiro de 1931 e dezembro de 2017;
- Analisar as séries de dados meteorológicos e climáticos válidos para a Ilha do Maranhão, tendo em vista a necessidade de estabelecimento de ritmos e variabilidades climatológicas em relação com os episódios climáticos macrorregionais ocorridos no período estabelecido pela pesquisa;
- Elaborar perfil termográfico da Ilha do Maranhão, com base em sensores termais de imagens de satélite.

### 3 METODOLOGIA

A análise climatológica para os subsistemas hidrometeorológicos e termodinâmico da Ilha do Maranhão é baseada na proposta metodológica de Monteiro (1971; 1976; 2015), que define o Sistema Climático Urbano (SCU) com suas escalas de análise, a partir do ritmo climático. Dessa maneira, Monteiro (1976), acompanhando a tendência de estabelecimento de recortes territoriais cartografáveis para a orientação de pesquisas em Geociências da década de 1970 trazidas pelos paradigmas da Teoria dos Geossistemas (BERTRAND, 2004), em que pesem as voltadas para a Climatologia Geográfica, elabora uma proposta de definição das escalas para o mapeamento climático segundo a dimensão e a distribuição dos fenômenos atmosféricos relacionados. Ribeiro (1993) aponta para uma descrição mais objetiva dos fenômenos climatológicos, a qual é baseada no primeiro autor citado (Tabela 01).

**Tabela 1** - Unidades de planejamento territorial com base nas categorias da Escala Climatológica e suas possibilidades de interpretação geográfica.

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

**Fonte:** Adaptado de Ribeiro (1993) e Monteiro (2015).

Nessa perspectiva, o potencial integrador expresso pela cartografia temática consegue transmitir com maior clareza as particularidades de cada articulação geográfica com base em uma escala que imprima a compilação de dados e informações acerca de uma área, embora sua maior precisão dependa das dimensões mapeadas e em *geossistema*, ou seja, Unidade Inferior de análise da geodiversidade local (DIAS *et al.*, 2018). Marques (2016) ratifica essa orientação metodológica ao apontar que sem essa *interface* é impossível trabalhar com cenários prospectivos em uma base territorial, o que, em síntese, configura-se como uma dificuldade crônica para a formatação de políticas públicas transversais e suas consequentes aplicações, o que é certamente necessário quando da abordagem das questões climáticas locais.

Para o desenvolvimento da pesquisa e obtenção dos objetivos propostos, foi realizado levantamento bibliográfico sobre os princípios basilares da Escola Brasileira de Climatologia Geográfica e vários conceitos que apoiam a tomada de decisão no tratamento das informações meteorológicas (coleta, tabulação e organização de dados). Tendo como meta a aprendizagem do tratamento estatístico dos dados meteorológicos e abordá-los do ponto de vista rítmico (dinâmico) descrevendo algumas das inúmeras aplicações que a Climatologia Geográfica oferece à melhor compreensão do clima (SANT'ANNA NETO, 2013; LIMA; DIAS, 2015).

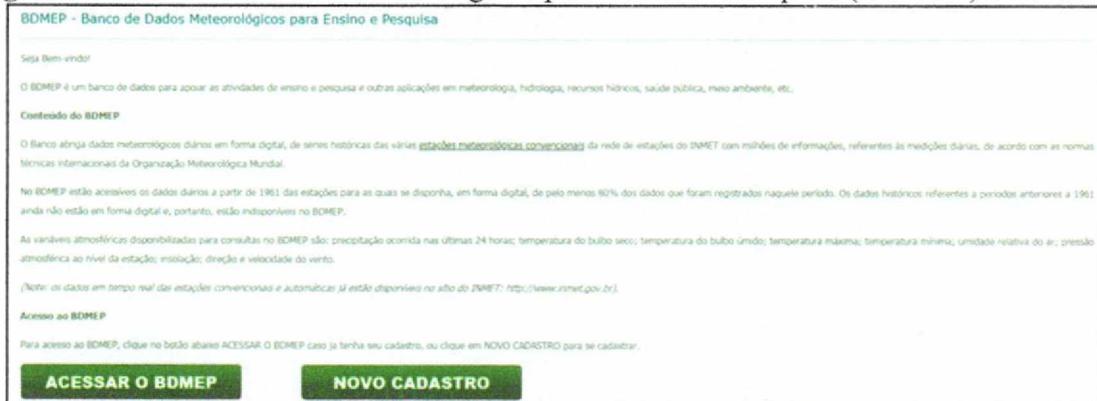
O SCU tem por objetivo compreender a organização climática peculiar da cidade, ou seja, as relações complexas entre a atmosfera e as diferenciações da estrutura urbana (AMORIM, 2013). Como um sistema aberto e complexo, o clima urbano tem na cidade um componente essencial na transformação que ocorre na atmosfera urbana. As maiores expressões da transformação da atmosfera pela urbanização são a ilha de calor e a poluição atmosférica (MONTEIRO, 1976, p. 96-7).

Dos três campos de estudo do clima preconizados por Monteiro (1976) – constituintes do que ele chama SCU (Sistema Clima Urbano) – o termodinâmico é aquele sobre a qual a maioria dos estudos foi realizada; evidencia-se, neste particular, a similaridade com os países desenvolvidos, nos quais também se observa maior preocupação com as condições térmicas e higrométricas da cidade (MENDONÇA, 2011, p. 180).

Para entender os processos de variabilidade climática a espaços insulares da Ilha do Maranhão, entre as décadas de 1960 a 2010, foram aplicados os pressupostos teórico-metodológicos balizadores do Sistema Clima Urbano – SCU, proposto por Monteiro (1976). Adotou-se a elaboração de gráficos termopluiométricos que indicam os valores da temperatura e precipitação registradas ao longo de um ano (MONTEIRO, 1990). Assim, metodologicamente tem-se que as entradas de energia no SCU são de natureza térmica (oriundas da fonte primária de energia da Terra – Sol), implicando componentes dinâmicos inequívocas, determinadas pela circulação atmosférica, e decisivas para a componente hídrica englobada nesse conjunto (MONTEIRO, 2015).

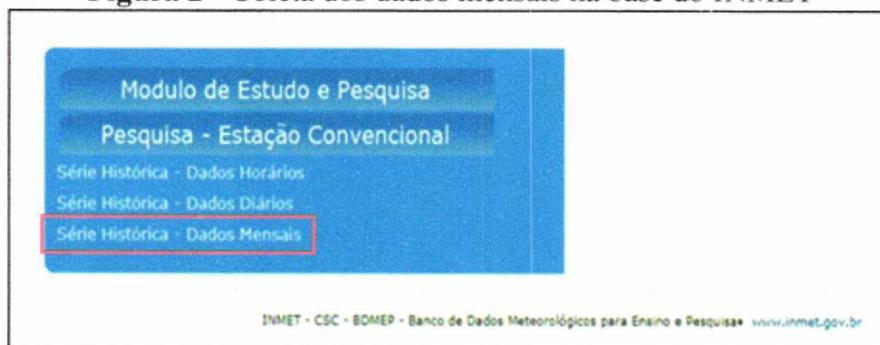
Por conseguinte, foram acessados os dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) conforme a (Figura 1) e (Figura 2), para os campos hidrometeorológicos (precipitações) e termodinâmicos (temperaturas máximas e mínimas) para o intervalo temporal compreendido entre janeiro de 1931 e dezembro de 2017. Esses parâmetros foram necessários para a configuração de climogramas que relacionam duas normais climatológicas fechadas para esses componentes formadores de tempo e clima (Normal 1931-1960 e Normal 1961-1990) observado na (Figura 3), (Figura 4) e (Figura 5), com uma normal em fase de consolidação (Tendência de Normal 1991-2017), com uma tendência rítmica sólida para os elementos ora

**Figura 1 - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do INMET.**



**Fonte:** INMET (2018)

**Figura 2 - Coleta dos dados mensais na base do INMET**



**Fonte:** INMET (2018)

Para a tabulação e tratamento dos dados retromencionados adquiridos, foi utilizada a ferramenta MS Excel 2013, calculando as medidas de tendência central (média, mediana e moda), indispensáveis a toda pesquisa climatológica em Geografia, pois são necessárias para a obtenção da Tendência de Normal Climatológica. Após, foram cruzados os dados para apresentação do ritmo e da variabilidade atmosférica de médio prazo aferidas ao longo de 87 (oitenta e sete) anos interruptos para a Estação Meteorológica de São Luís, estabelecida sob Código 82.280 (INMET, 2017).

**Figura 3 - Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (Precipitação – Estação São Luís)**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
85	82768	Balsas	MA	172,3	157,0	246,8	167,1	42,7	9,7	1,1	7,9	25,0	115,7	107,7	178,0	1231,0
86	82571	Barra do Corda	MA	171,2	179,7	218,9	204,3	59,4	20,0	7,8	11,4	20,7	39,6	65,9	123,6	1122,5
87	82765	Carolina	MA	253,7	264,7	310,8	182,7	66,5	17,8	12,0	12,4	46,9	148,5	189,1	219,6	1724,4
88	82476	Caxias	MA	245,9	290,0	388,4	317,7	144,1	37,4	12,0	12,1	9,0	26,5	63,0	144,4	1690,4
89	82382	Chapadinha	MA	235,5	287,7	346,0	344,8	211,3	69,0	51,5	18,6	12,1	15,8	33,1	91,5	1716,9
90	82676	Colinas	MA	223,3	185,0	299,5	215,8	65,6	23,1	4,6	11,5	23,1	76,7	78,2	110,3	1316,7
91	82568	Grajaú	MA	175,7	214,4	258,6	180,8	54,6	12,9	9,6	5,7	17,0	64,8	105,2	139,4	1238,6
92	82564	Imperatriz	MA	215,5	209,3	314,5	208,1	63,9	80,4	6,5	8,4	30,2	75,6	115,2	205,7	1533,3
93	<b>82280</b>	<b>São Luís</b>	<b>MA</b>	<b>244,2</b>	<b>373,0</b>	<b>428,0</b>	<b>475,9</b>	<b>316,5</b>	<b>173,3</b>	<b>131,1</b>	<b>29,4</b>	<b>23,3</b>	<b>7,6</b>	<b>16,3</b>	<b>77,4</b>	<b>2290,0</b>
94	82198	Tunaçu	MA	192,3	392,4	443,0	387,0	280,0	199,6	157,4	55,7	16,4	16,3	19,5	62,5	2222,0
95	82376	Zé Doca	MA	245,1	286,9	312,8	291,6	212,0	87,5	55,0	29,1	23,1	52,2	41,2	107,6	1744,1

Fonte: INMET (2018)

Figura 4 - Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990  
(Temperatura Máxima – Estação São Luís)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
81	82768	Balsas	MA	30,3	30,6	30,7	31,2	32,1	32,4	33,0	34,3	34,6	32,6	31,3	30,4	32,0
82	82571	Barra do Corda	MA	30,4	30,2	30,2	30,4	30,8	31,3	32,0	33,4	34,2	33,4	33,0	31,6	31,7
83	82765	Carolina	MA	30,1	30,3	30,5	31,2	32,3	33,2	33,8	34,7	34,2	32,1	31,0	30,4	32,0
84	82476	Caxias	MA	32,1	31,6	31,5	31,5	31,3	31,5	32,2	34,0	35,7	35,6	35,0	33,9	33,0
85	82382	Chapadinha	MA	31,8	31,0	30,9	30,8	31,0	31,0	31,8	33,3	34,6	34,9	34,8	33,7	32,5
86	82676	Colinas	MA	30,7	30,3	30,6	31,0	31,6	31,9	32,6	34,0	34,7	33,9	32,8	31,6	32,1
87	82568	Grajaú	MA	31,0	30,7	31,0	31,5	32,0	32,8	33,4	34,6	34,9	34,0	32,5	31,8	32,5
88	82564	Imperatriz	MA	31,1	31,1	31,2	31,6	32,3	32,8	33,5	34,4	34,1	33,2	32,7	31,4	32,5
89	<b>82280</b>	<b>São Luís</b>	<b>MA</b>	<b>30,0</b>	<b>29,4</b>	<b>29,4</b>	<b>29,6</b>	<b>30,1</b>	<b>30,4</b>	<b>30,2</b>	<b>30,7</b>	<b>31,0</b>	<b>31,2</b>	<b>31,4</b>	<b>31,1</b>	<b>30,4</b>
90	82198	Tunaçu	MA	30,5	29,6	29,5	29,7	30,1	30,2	30,1	30,6	31,2	31,2	31,5	31,5	30,5
91	82376	Zé Doca	MA	31,5	31,1	31,5	31,3	31,4	31,4	31,8	32,8	33,6	33,7	33,8	33,2	32,3

Fonte: INMET (2018)

Figura 5 - Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990  
(Temperatura Mínima – Estação São Luís)

	Código	Nome da Estação	UF	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Ano
82	82768	Balsas	MA	21,7	21,8	22,1	22,3	21,7	20,5	19,5	20,3	22,0	22,2	21,8	21,8	21,5
83	82571	Barra do Corda	MA	21,5	21,6	21,8	21,7	20,9	19,5	18,7	19,1	21,1	22,1	22,2	21,9	21,0
84	82765	Carolina	MA	21,2	21,3	21,5	21,7	21,0	19,5	18,9	19,7	21,6	21,7	21,5	21,4	20,9
85	82476	Caxias	MA	22,3	22,1	22,2	22,4	22,0	20,9	20,2	20,5	21,9	22,7	23,0	22,7	21,9
86	82382	Chapadinha	MA	22,5	22,4	22,5	22,5	22,4	21,8	21,5	21,6	22,1	22,5	22,8	22,9	22,3
87	82676	Colinas	MA	21,9	22,0	22,2	22,1	21,0	19,5	18,4	18,6	20,8	22,2	22,2	22,2	21,1
88	82568	Grajaú	MA	20,7	21,0	21,1	21,0	19,6	17,8	16,8	16,9	19,4	20,7	20,7	20,8	19,7
89	82564	Imperatriz	MA	22,2	22,2	22,2	22,4	21,8	20,2	19,4	19,9	21,4	22,4	22,3	22,2	21,6
90	<b>82280</b>	<b>São Luís</b>	<b>MA</b>	<b>23,5</b>	<b>23,1</b>	<b>23,0</b>	<b>23,1</b>	<b>23,1</b>	<b>22,9</b>	<b>22,6</b>	<b>23,0</b>	<b>23,5</b>	<b>23,7</b>	<b>24,0</b>	<b>24,0</b>	<b>23,3</b>
91	82198	Tunaçu	MA	23,5	23,1	23,1	23,2	22,9	22,9	23,5	23,8	23,9	24,0	24,0	23,4	
92	82376	Zé Doca	MA	22,5	22,5	22,6	22,8	22,6	21,7	21,6	21,3	21,8	22,3	22,6	22,8	22,3

Fonte: INMET (2018)

Para a extração de dados relacionados a temperatura de superfície terrestre (TST), foram utilizadas imagens oriundas dos anos de 1984, 1994, 2004, 2014, 2017 e 2020, dos sensores *Landsat 5* e 8, respectivamente. Para ambos foram utilizadas as bandas termais (Banda 6 – *Landsat 5* e Banda 10 – *Landsat 8*), as quais tiveram seus números digitais (DN), bem como os

valores do pixel, convertidos para valores de temperatura, para que desta maneira fosse possível a comparação em diferentes lapsos temporais.

Este processamento, foi realizado em três etapas, por meio de equações introduzidas no monitoramento de ilhas de calor urbanas: a primeira, consistiu em do número digital (DN), também citado como nível de cinza, através dos dados fornecidos pela banda infravermelha termal (banda 6, 10,4 – 12,5  $\mu\text{m}$ ) do *Landsat 5 TM*; (banda 10, 10.6 - 11.19  $\mu\text{m}$ ) do *Landsat 8* (COELHO *et al.*, 2013). A seguinte equação (Qin e Karnieli, 2001) desenvolvida pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) converte o número digital em radiação espectral:

$$L\lambda = ((L_{\text{max}\lambda} - L_{\text{min}\lambda}) / (Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}})) * (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{calmin}}) + L_{\text{min}\lambda}$$

Onde:

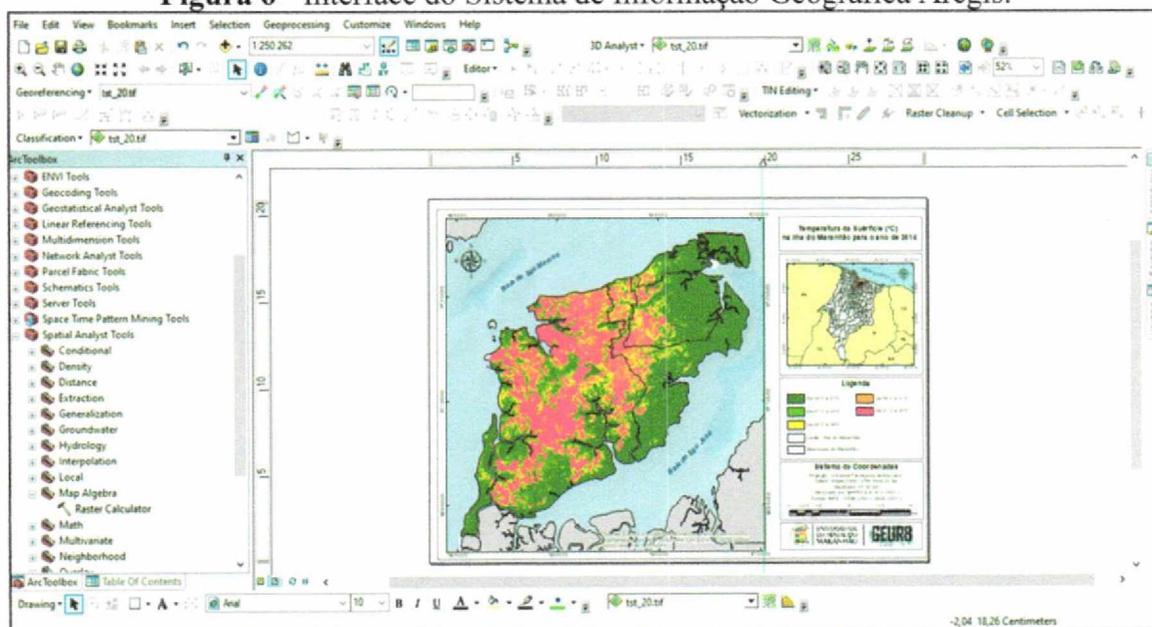
$L\lambda$  = Radiação de Energia Espectral;

$L_{\text{min}}$ ;  $L_{\text{max}}$  = (Valores de radiança espectral – valor do DN);

$Q_{\text{cal}}$ ;  $Q_{\text{calmax}}$ ;  $Q_{\text{calmin}}$  = Valores quantizados, calibrados pelo pixel em DN bandas 6 e 10;

Cabe ressaltar que os dados foram digitalizados e analisados em laboratório, através de uso de Sistema de Informação Geográfica, do acrônimo do inglês (GIS – *Geographic Information System*), pelo *software* Arcgis, versão 10.5 (ENT-ES-0006-17 IMESC - 0117) para elaboração de mapas temáticos, com o intuito de auxiliar no esclarecimento e compreensão da análise aqui realizada, levando em consideração interpretações acerca do tema levantado. Para tal foi necessária a ferramenta de Calculadora raster o programa, a qual é localizada pelo seguinte caminho: ***ArcTool Box – Spatial Analyst Tools – Map Algebra – Raster Calculator*** (Figura 6). Os dados utilizados durante esta etapa, foram obtidos através do Banco de dados Virtual do Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e do Portal do Serviço Geológico dos estados Unidos (USGS – Earth Explorer).

**Figura 6 - Interface do Sistema de Informação Geográfica Arcgis.**



**Fonte:** Registros da pesquisa (2021).

Os dados utilizados durante esta etapa, foram obtidos através do Banco de dados Virtual do Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e do Portal do Serviço Geológico dos estados Unidos (USGS – Earth Explorer).

#### 4 RESULTADOS E DISCUÇÕES

Segundo Cordeiro e Diniz (2008), a chamada Região Metropolitana da Grande São Luís (RMGSL) apresenta alterações em sua configuração socioespacial, devido ao grande volume de novos investimentos públicos e privados, fomentando os chamados Grandes Projetos. Destacam-se, neste contexto, a Instalação da VALE (Companhia Vale do Rio Doce) em 1978 com o início da construção da Estrada de Ferro Carajás, concluída quatro anos depois, e a ALUMAR (Consórcio Alumínio Maranhense) inaugurada em julho de 1984.

A RMGSL concentra muitas atividades econômicas, além de funções estratégicas no gerenciamento das atividades de exportação dos bens produzidos na região. Essa tendência foi observada pelo IBGE (2008 *apud* CORDEIRO; DINIZ, 2008), ao registrar que, apesar de não possuir uma configuração metropolitana, a aglomeração formada pelos quatro municípios da Ilha do Maranhão teve ampliada a sua influência estratégica e pró-parte centralizada.

Sabe-se, pois, que atualmente essa configuração territorial extrapola os limites impostos pela barreira natural de insulamento, chegando aos municípios de Alcântara, Bacabeira, Santa Rita, Rosário, Presidente Juscelino, Cachoeira Grande, Axixá, Morros e Icatu, perfazendo um total de 13 (treze) municípios. Porém, como já destacado, os objetivos dessa Pesquisa centram-se na parte insular da RMGSL.

O domínio climático atuante na Ilha do Maranhão é caracterizado por 02 (duas) estações bem definidas: estação chuvosa (primeiro semestre, ou seja, de janeiro a junho) e estação seca, ou estiagem (segundo semestre, de julho a dezembro). Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 159) e Dias (2016), em São Luís (MA) observa-se uma expressiva regularidade térmica ao longo do ano, apresentando-se como efeito direto da maritimidade<sup>1</sup> e de seus fatores correlacionados. Todavia, a pluviosidade apresenta dois períodos bem definidos: verão e outono chuvosos (principalmente março e abril) e inverno e primavera pouco chuvosos ou secos.

Assim sendo, segundo Dias (2016), a região Norte Maranhense, na qual se encontram a Ilha do Maranhão, está sob o tipo climático Tropical-Equatorial com cinco meses potencialmente secos, seis meses chuvosos e um transicional (chuvas-estiagem ou estiagem-chuvas). Ademais, de acordo com a habitual classificação climatológica de Köppen (1955 *apud* AYOADE, 2001), o território municipal está situado no domínio dos Climas Tropicais Chuvosos de Floresta (Af), mesmo não havendo mais ampla distribuição florestal no conjunto

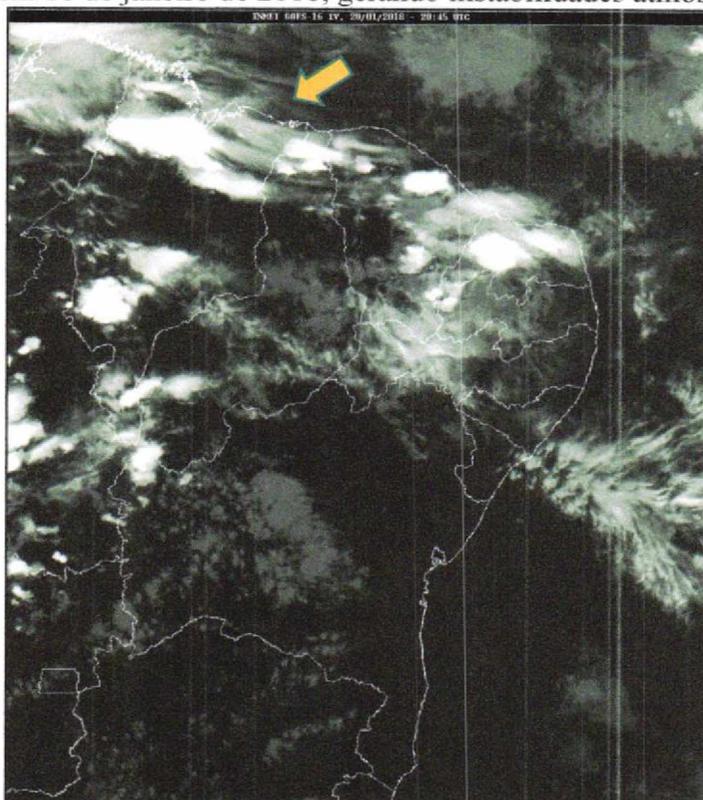
---

<sup>1</sup>Em Climatologia, *maritimidade* é o conceito teórico-pragmático que demonstra os efeitos da proximidade de certa área com relação ao mar, o que permite expressiva regulação térmica entre áreas emersas e 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.

dos sistemas ambientais da Ilha do Maranhão, a classificação é válida, pois pouco houve variações significativas (do ponto de vista pluviométrico, por exemplo) das normais climatológicas tridecenais nos últimos 90 (noventa) anos na Cidade de São Luís, conforme será visto adiante. E esse aspecto é considerado o mais importante nesse tipo de definição climatológica.

A Ilha do Maranhão (*lato sensu*) sofre influências climatológicas diretas da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Esta, por seu turno, é uma macrorregião atmosférica formada na região próxima ao Equador Geográfico, ou seja, em espaços de baixas latitudes, onde há o encontro dos ventos alísios de Nordeste e de Sudeste. As massas de ar originárias nessa faixa global de instabilidades são geralmente úmidas e/ou superúmidas e são as principais responsáveis pelas dinâmicas pluviométricas de todo o Norte da Região Nordeste do Brasil e Zona Costeira Maranhense (Figura 07), em que pese na Ilha do Maranhão.

**Figura 7** - Presença da ZCIT na faixa Norte da Região Nordeste Brasileira (apontada por seta), em 18 de janeiro de 2018, gerando instabilidades atmosféricas.



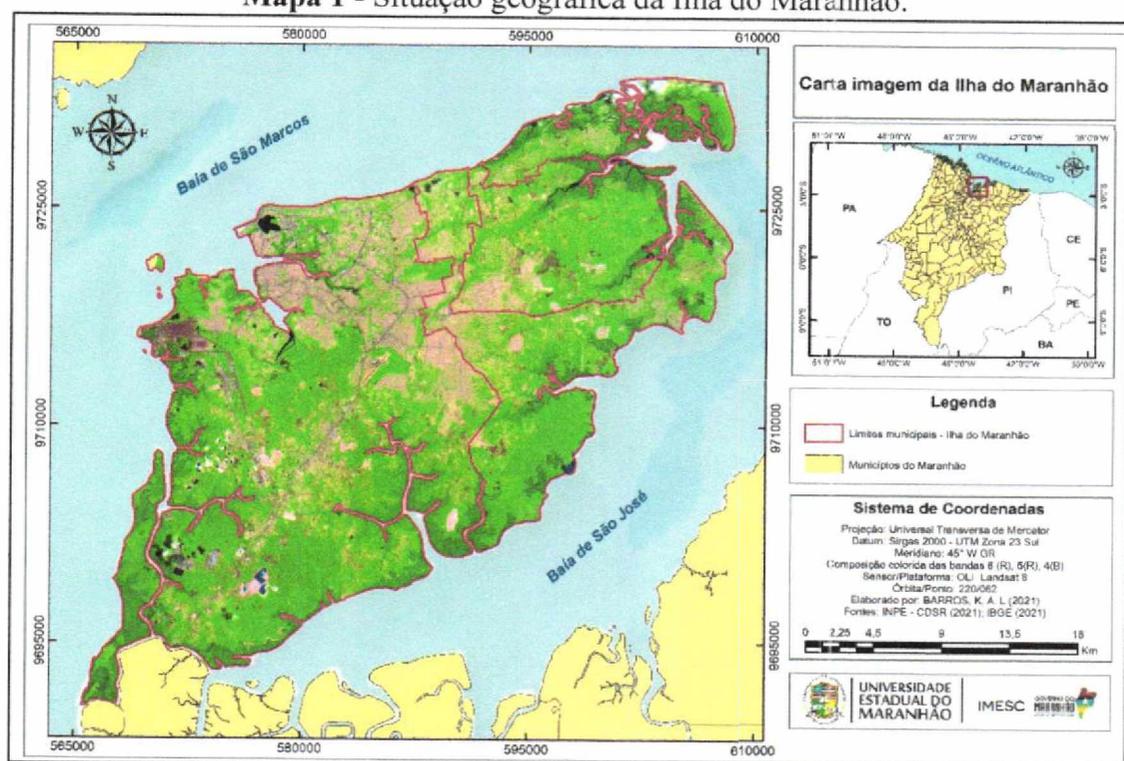
**Fonte:** INMET (2018).

As massas de ar originárias nessa faixa global de instabilidades são geralmente úmidas e/ou superúmidas e são as principais responsáveis pelas dinâmicas pluviométricas de todo o Norte da Região Nordeste do Brasil e Zona Costeira Maranhense, em que pese na Ilha do Maranhão.

#### 4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

A Ilha do Maranhão é composta por quatro municípios: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. A área está compreendida na Mesorregião Norte Maranhense e na Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís. Sua localização está inserida entre as coordenadas de  $02^{\circ}24'27''$  e  $2^{\circ}29'32''$  de latitude Sul e  $44^{\circ}15'48''$  e  $44^{\circ}17'41''$  de longitude Oeste (Mapa 1).

**Mapa 1 - Situação geográfica da Ilha do Maranhão.**



**Fonte:** INPE, 2021; IBGE, 2021.

Assim, pois, o recorte territorial desta pesquisa, a Ilha do Maranhão, possui conforme IMESC (2018), uma área de pouco mais de 905 km<sup>2</sup>. Na Ilha do Maranhão foram delimitadas 12 bacias hidrográficas (ARAÚJO *et al.*, 2009). Essas bacias são formadas por rios de pequeno porte que deságuam em várias direções e desenvolvem manguezais em seus estuários. O rio Bacanga é o de maior porte, chegando a 233,84km de extensão, da nascente no Parque Estadual do Bacanga até a foz na Baía de São Marcos. Já o Igarapé Nunca Mais, da Bacia Hidrográfica Praias, no extremo norte da Ilha, é o de menor porte em termos de comprimento, com apenas 3,75km de extensão, desaguando diretamente no Oceano Atlântico. Entretanto, em termos de área, a Bacia Hidrográfica do Rio Paciência, ao Norte da ilha, ocupa a maior área com

153,12km<sup>2</sup>, drenando águas dos quatro municípios da ilha. A Bacia Hidrográfica Guarapiranga, no extremo leste da ilha, ocupa a menor área com apenas 16,48km<sup>2</sup>, desagando na Baía de São José.

O clima da Ilha do Maranhão é justamente de transição entre o semiárido nordestino e o tropical úmido amazônico. É caracterizado como tropical úmido, tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (DIAS, 2012). A cidade de São Luís está localizada em faixa de atuação direta da Zona de Convergência Intertropical. O clima é marcado por duas estações distintas, com evidente sazonalidade das chuvas: período chuvoso de janeiro a junho, considerado inverno na região nordeste do país, e seco nos meses de julho a dezembro.

De modo geral, a temperatura mínima varia de 21 a 27°C, enquanto a máxima fica entre 27 e 34°C, embora já tenham sido registradas temperaturas mínimas de 16°C e máximas de 42°C (INMET, 2017). A precipitação média acumulada ao longo do ano está em torno de 2.325mm, com maior volume de chuva nos meses de março e abril, o suficiente para provocar alagamentos, inundações enchentes, gerando calamidades públicas nas partes mais baixas dos municípios que compõem a Ilha do Maranhão, cujos problemas de drenagem são mais sensíveis.

Às mudanças e variações climatológicas seguem as alterações da dinâmica do relevo, que, num contexto mais abrangente do ponto de vista geográfico, gera novas geoformas (TORRES *et al.*, 2012), permitindo a ocorrência de alterações sucessivas e graduais na configuração da geodiversidade regional pelas dinâmicas de paisagens historicamente construídas e constituídas pela natureza (DANTAS *et al.*, 2008).

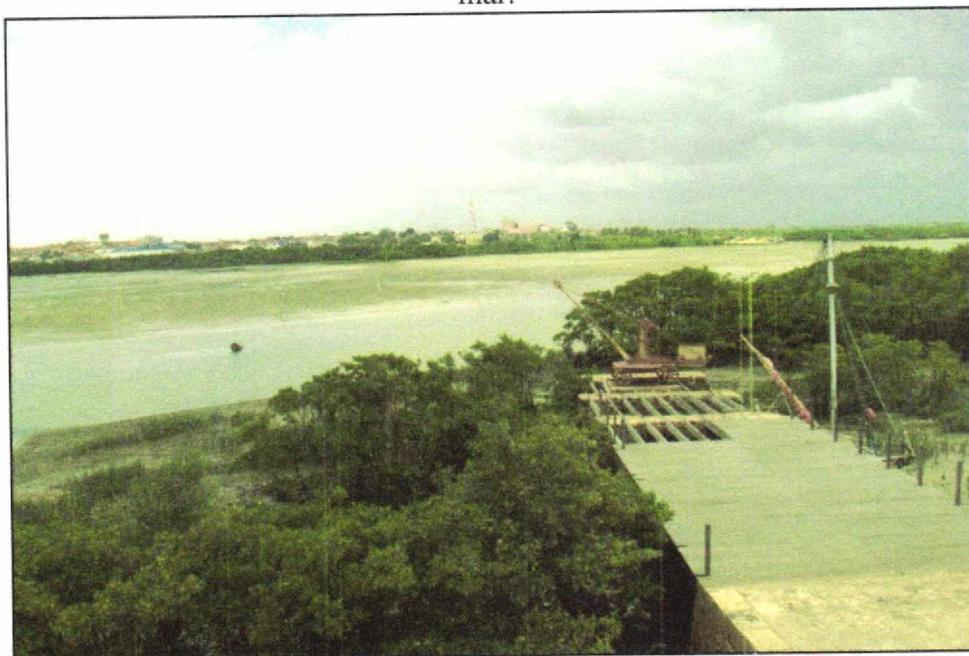
Tricart (1977), ao amadurecer uma abordagem sob a perspectiva morfoclimática, indica que, para os esforços de integrar as análises da dinâmica das paisagens naturais, é imprescindível que estas sejam acompanhadas pela definição técnico-científica da regionalização dos processos climáticos, bem como pela compreensão dos quadros ecológicos (sobretudo fitogeográficos) e dos processos geomorfológicos atuantes na mesma escala.

De modo geral, a Ilha de Maranhão é caracterizada por relevo suavemente ondulado, com superfícies aplainadas e dissecadas, onde predominam platôs e colinas de baixa altitude, por vezes com topos tabulares, e vales poucos profundos. A unidade geomorfológica predominante na Ilha do Maranhão é a Planície Flúvio-Marinha do Golfão Maranhense, inserida no domínio morfoestrutural da Bacia Costeira de São Luís. Trata-se de planície resultante do afogamento dos vales dos rios, desenvolvendo planícies aluviais e de marés, em virtude da oscilação do nível do mar em épocas pretéritas (AB'SÁBER, 2004).

Face à proximidade da Ilha do Maranhão com a Linha do Equador, bem como pela sua configuração costeira reentrante (ou seja, por estar no centro do Golfão Maranhense), os efeitos de maré são notáveis e pode chegar até 7 metros de altura, conforme conjunção lunar, afetando, também, os canais fluviais em seus baixos cursos (DIAS, 2015). Essa situação configura um ambiente costeiro de macromarés (GARRISON, 2016).

A unidade flúvio-marinha é recortada por inúmeros canais e estuários, formando manguezais (Figura 08) que penetram nos vales dos rios, resultando em ilhas, lagunas, praias vadosas, dunas, cordões litorâneos, enseadas, estreitos e baías. Nas bordas dessa planície flúvio-marinha ocorrem terraços e falésias esculpidas em rochas de idade meso-cenozóica (DIAS, 2014; DIAS *et al.*, 2018).

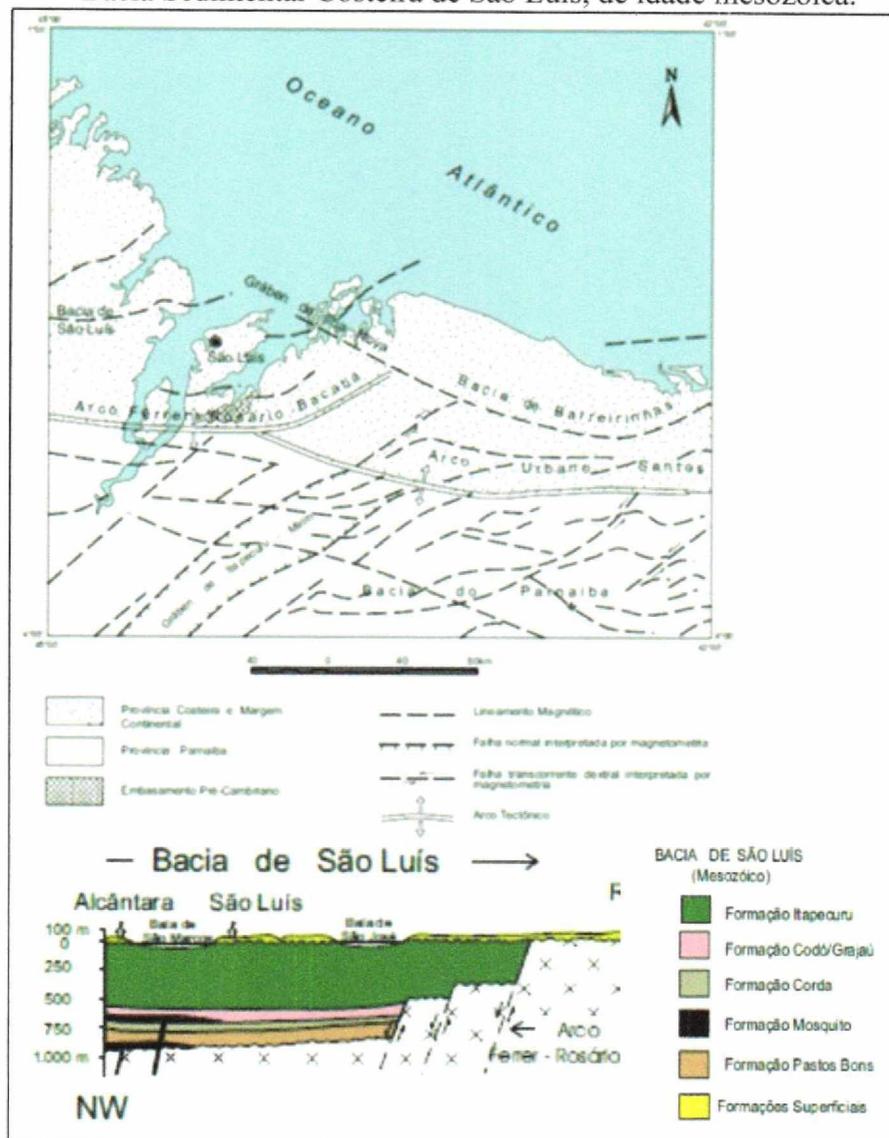
**Figura 8** - Planície de maré lamosa, ocupada parcialmente por manguezais, no estuário do Bacanga (a jusante da barragem homônima), na localidade Tamancão, em episódio de baixa-mar.



**Fonte:** Acervo pessoal de Luiz Jorge B. Dias (2017).

Em âmbito mesoestrutural, a Ilha do Maranhão e os seus quatro municípios constituintes está localizada na porção Leste da Bacia Sedimentar Costeira de São Luís. A (Figura 9) apresenta a seção esquemática desse ambiente deposicional.

**Figura 9** - Seção esquemática litoestratigráfica do ambiente deposicional conhecido como Bacia Sedimentar Costeira de São Luís, de idade mesozoica.

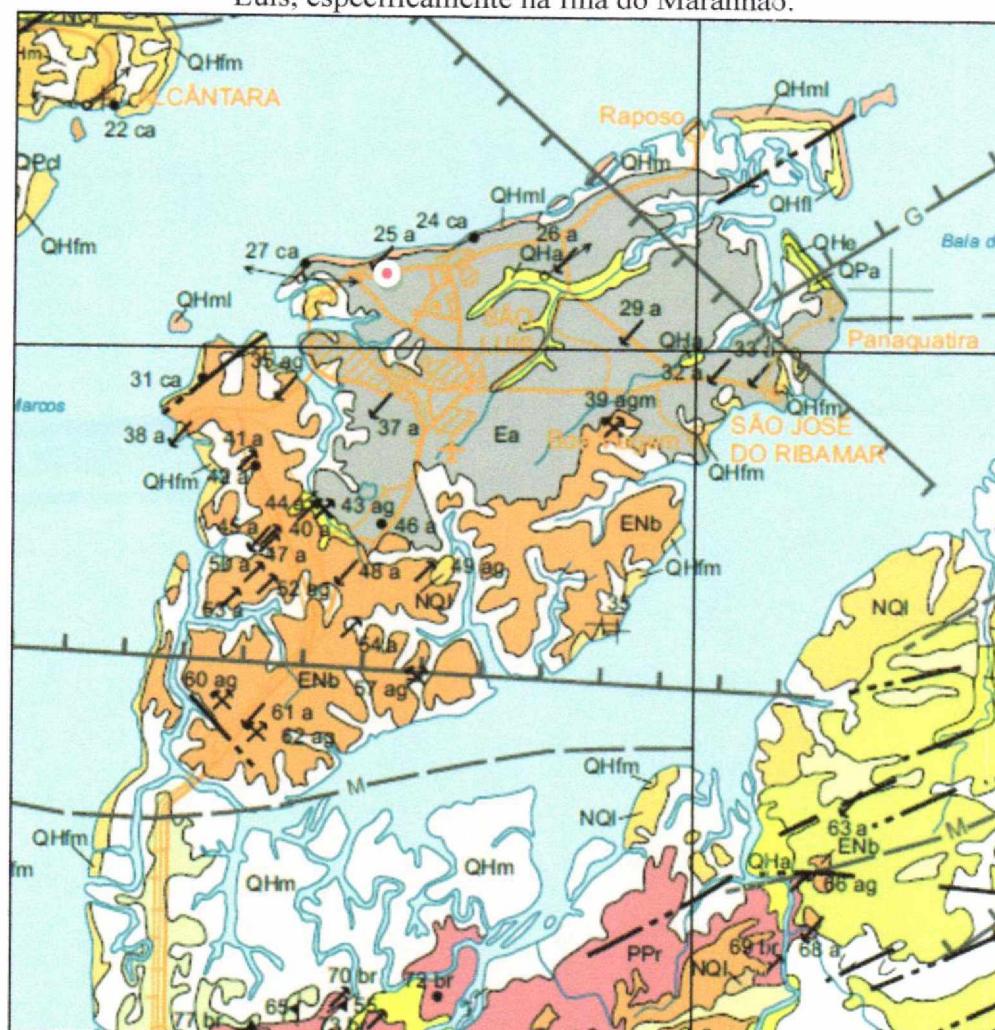


Fonte: Adaptado de Almeida (2000).

Por conseguinte, essa morfoestrutura deposicional faz parte do conjunto de áreas de subsidência associadas à Zona Costeira Brasileira, as quais foram originadas por ocasião da abertura do Atlântico, a partir de sistemas de *rifteamento* associados à separação tectônica das placas Sul-americana e Africana. Sua idade data do Período Cretáceo (aproximadamente 140 M.A.<sup>2</sup>). A síntese do mapeamento regional da Ilha do Maranhão foi procedida pelo Governo Brasileiro no início dos anos 2000 e está demonstrada na (Figura 10), que apresenta a distribuição desses agrupamentos sedimentares em superfície

<sup>2</sup> M.A. = Milhões de anos.

**Figura 10** - Distribuição das litofácies sedimentares na Bacia Sedimentar Costeira de São Luís, especificamente na Ilha do Maranhão.



Fonte: Adaptado de Almeida (2000).

Como se pode observar frente à ilustração anterior, a Bacia Sedimentar Costeira de São Luís é um ambiente deposicional que, em sua estrutura, apresenta uma sucessão de falhamentos a Leste da Baía de São José (representados por linhas tracejadas), o que a configura como um *rift*. Ademais, as maiores concentrações de agrupamentos rochosos (ou fácies sedimentares) são de idade cretácea (entre 140 e 66 M.A.). Contudo, conforme constatado na Figura 10, o capeamento sedimentar superficial do Município de São Luís (e, por conseguinte, da Ilha do Maranhão) é formado por litoestruturas cenozoicas, em especial a Formação Barreiras (de idade mio-pliocênica, entre 15 e 2,5 M.A.) e Formação Açuí, de idade quaternária (últimos 1,81 M.A.). Por conseguinte, no que tange à Estratigrafia da Bacia Sedimentar Costeira na Ilha do Maranhão, Pereira e Zaine (2007) atribuem a seguinte coluna estratigráfica, presente no (Quadro 01)

**Quadro 1** - Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar Costeira de São Luís.

<b>ERA/PERÍODO</b>	<b>UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS</b>	<b>LITOLOGIA</b>	<b>POTENCIAL MINERAL</b>
<b>CENOZÓICA</b>	<b>PLEISTOCENO</b>	Areia fina a média, madura a submatura, com estratificação cruzada. Argila arenosa, maciça bioturbada.	Areia e argila
	<b>MIO- PLIOCENO</b>	<b>FORMAÇÃO BARREIRAS</b>	Argila, lateritas e águas subterrâneas
	<b>PALEÓGENO</b>	<b>PALEÓGENO</b>	Argila, lateritas e águas subterrâneas
<b>MESOZÓICA</b>	<b>CRETÁCEO SUPERIOR</b>	<b>MEMBRO ALCÂNTARA</b>	Calcitulos, silte e arei fina a muito fina, com argila, texturalmente imaturos, micáceos, estratificação plano-paralela
		<b>MEMBRO PSAMÍTICO</b>	Arenito fino a médio, quartzo com feldspato, caulinzado, mica, nódulos ferruginizados, estratificação plano-paralela e cruzada.
	<b>FORMAÇÃO ITAPECURU</b>		Calcário e argila
			Água subterrânea

**Fonte:** Rodrigues *et al.* (1994 *apud* PEREIRA; ZAINE, 2007).

Tectonicamente, a estrutura sedimentar costeira analisada neste documento passa por uma relativa estabilidade tectônica, pelo menos durante o Quaternário, haja vista terem cessado os efeitos de reativações neotectônicas ainda no Pleistoceno Superior, concomitante ao estágio Sangamoniano ( $\pm 400.000 - 300.000$  A.P.<sup>3</sup>). Ab'Sáber (2004) relata que os eventos de neotectonismo concorreram para a retomada dos efeitos epirogenéticos que soergueram o tabuleiro da Ilha do Maranhão e que, por outro lado, proporcionaram o entalhamento das redes de drenagem pré-atuais do ambiente insular em análise.

Ademais, segundo Dias *et al.* (2018), os processos neotectônicos foram responsáveis pela elevação de blocos que deram origem (associadas a processos de incisão e superposição de rede hídrica superficial, bem como de eventos outros relativos à meteorização, obviamente em função de cada fase morfoclimática atuante regionalmente) aos tabuleiros costeiros, como o que atualmente se encontram o Arquipélago de Golfão Maranhense, em que se destaca a Ilha do Maranhão como o maior ambiente insular do Estado, e que está ladeado pelas Baías de São Marcos (a Oeste) e de São José (a Leste), conforme indicações de Ab'Sáber (1960), em que predominam, próximas à superfície, as deposições de sequências sedimentares da Formação Barreiras (mio-pleiocênicas).

Por outro lado, a vegetação da Ilha do Maranhão está diretamente relacionada ao tipo de clima, forma de relevo, disponibilidade de água e ocupação humana. De modo geral a vegetação da Ilha do Maranhão pode ser dividida em duas associações: a terrestre, pertencente à Província Fitogeográfica da Amazônica; e a litorânea ou costeira, referente aos manguezais e praias da Província Atlântica (FERNANDES, 2000).

A vegetação dominante na Ilha do Maranhão é de formações secundárias mistas, ocupando as partes mais altas, onde se desenvolvem arbustos e palmeiras. Há pouco desenvolvimento de formações associadas à Mata Amazônica Nativa (Formação Ombrófila Densa). Embora não seja uma atividade lucrativa, a extração dos frutos do babaçu tem relativa importância econômica para a população de baixa renda, principalmente para a produção de carvão vegetal à base da casca e do mesocarpo dos coquilhos da citada palmácea (DIAS, 2008).

Convém ressaltar que, em virtude da urbanização acelerada e desordenada, a interferência antrópica é notória na Ilha do Maranhão, com a vegetação original substituída por matas secundárias, áreas de campo e capoeira, as quais representam categoricamente processos de resiliência biogeográfica materializada na forma de sucessão ecológica em diversas fases e

---

<sup>3</sup> A.P. = anos antes do presente.

estratos de consolidação (DIAS; NOGUEIRA JÚNIOR, 2005). Esse fato é demonstrado na (Figura 11).

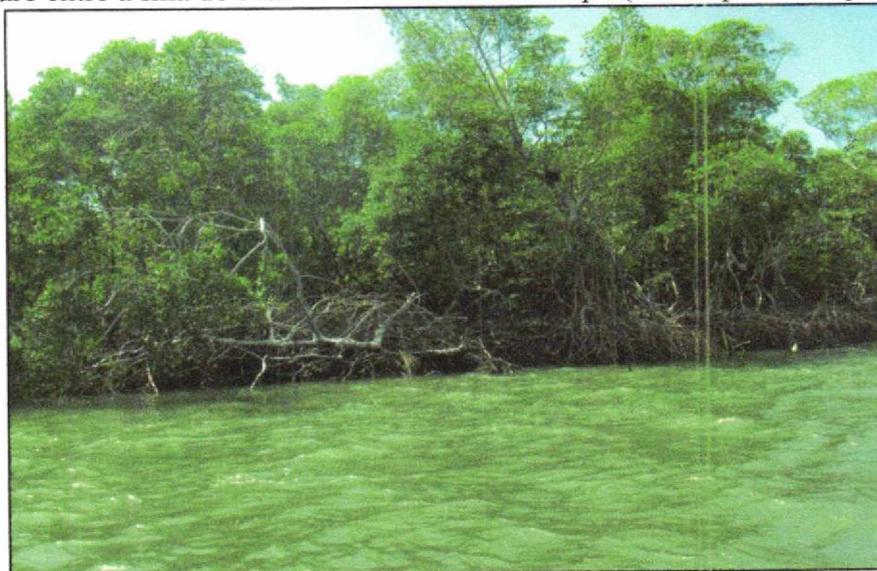
**Figura 11** - Sucessão ecológica em estratos iniciais e intermediários em áreas de antigas explorações minerais (lateritas) no atual Parque Estadual do Bacanga.



**Fonte:** Acervo pessoal de Luiz Jorge B. Dias (2016).

Complementarmente, na Zona Litorânea, manguezais margeiam os baixos cursos dos rios e as Baías de São Marcos e São José (Figura 12). Esses domínios fluvio-marinhos desenvolvem vegetação adaptada às águas salobras e salinas, apresentando espécies lenhosas arbóreas, cipós e samambaias (epifitismos), dentre outras (DIAS, 2014). Apesar da disponibilidade de água, essas áreas baixas são impróprias para desenvolvimento da agricultura, em virtude da presença de compostos de enxofre e sulfato e elevado teor de sais solúveis prejudiciais para o desenvolvimento da maioria dos vegetais. Por outro lado, a atividade de pesca e cata de mariscos e crustáceos é medianamente lucrativa para a população local.

**Figura 12** - Manguezais frontais (bosque de mangue-vermelho *Rhizophora mangle*) associados a canal de maré entre a Ilha do Maranhão e a Ilha de Curupu (município de Raposa – MA).



**Fonte:** Acervo pessoal de Luiz Jorge B. Dias (2017).

Com o intuito de tentar manter a vegetação nativa ou as formações em heterogêneos estágios sucessionais, foram criadas Unidades de Conservação que estão distribuídas por toda a Ilha do Maranhão, sendo que o Parque Estadual do Bacanga, no Município de São Luís, ainda guarda resquícios da vegetação original da Floresta Amazônica, em uma área total aproximada de 680 ha, o que, *di per si*, configura a maior área de vegetação amazônica relictual existente nos quatro municípios da Ilha do Maranhão.

#### 4.2 O COMPORTAMENTO HIDROMETEÓRICO DA ILHA DO MARANHÃO

Analiticamente, as chuvas são fatores indispensáveis e necessários para a dispersão de poluentes, tendo em vista que, física e quimicamente, produzem a depuração atmosférica, removendo concentrações diversificadas de impurezas suspensas na Troposfera (camada atmosférica onde todas as atividades humanas de uso e ocupação são desenvolvidas). Elas são, igualmente, o principal componente de/para entendimento do *comportamento do subsistema hidrometeorológico* topoclimático, como o avaliado nesta Pesquisa para a Ilha do Maranhão, conforme descrito no item “Metodologia”.

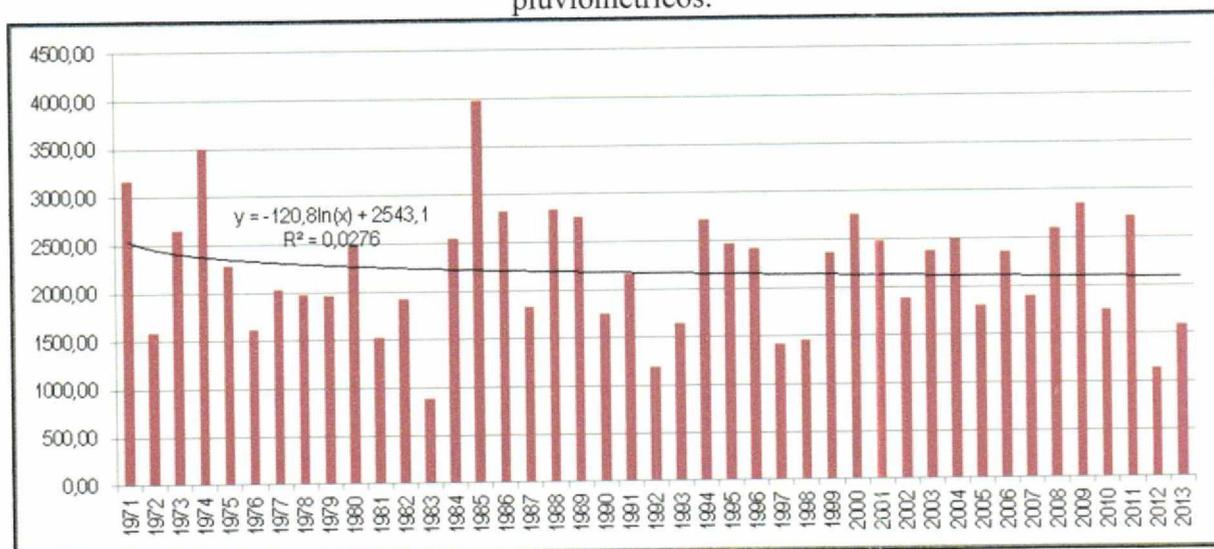
Destarte, pode-se aprioristicamente afirmar que o ritmo de chuvas da Capital Maranhense apresenta as suas maiores concentrações entre janeiro e junho, com picos chuvosos máximos entre março e abril. Os meses seguintes (maio e junho) apresentam declínio de precipitações até que haja, entre o final de julho (mês de transição hidrometeorológica) e o início de agosto, a configuração da estiagem, caracterizada por 05 (cinco) meses bastante secos, com precipitações mensais que não chegam historicamente a 5,0 mm.

As precipitações anuais aferidas na estação meteorológica do INMET em São Luís variam de 883,7 mm (mínimo registrado até hoje, no ano de 1983) e 3.508,20 mm (máximo das medições das séries históricas, aferidos em 1974). Em média, tem-se uma normal climatológica de precipitações na ordem de 2.201,76 mm/ano para o lastro dos últimos 43 anos. Porém, esse dado “global” não é necessariamente “normal” se analisado sob o prisma da Climatologia Geográfica (MONTEIRO, 2015), haja vista a indicação de que pode mascarar realidades climatológicas diversas.

A título de exemplificação, a (Gráfico 1) apresenta a distribuição mensal das precipitações medidas nesse espaço total no período de 43 anos (entre 1971 e 2013). Faz-se mister esclarecer que os anos de 2014 a 2017 não foram inseridos nessa abordagem analítica inicial em virtude da rigorosidade meteorológica à qual passou o território Norte-Nordeste Brasileiro durante e após os eventos de *El Niño* mais recentes (2014-2016), o que ainda não está claro sob em que perspectiva analítica esse período pode ser abordado.

Assim, embora as médias históricas estejam na faixa de aproximadamente 2.100,00 mm/ano, existem anos atípicos com pluviometrias bastante superiores, como foram os casos de 1974 e 1985, períodos estes que estavam sob o domínio climático de eventos *La Niña* fortes, responsáveis por intensificação dos processos pluviométricos, caso o Dipolo do Oceano Atlântico Norte esteja com temperaturas abaixo da normalidade.

**Gráfico 1** - Distribuição anual média das precipitações para a estação meteorológica do INMET em São Luís (MA) no período de 1971 a 2013, com tendência de queda dos totais pluviométricos.



Fonte: Adaptado de INMET (2017).

Por outro lado, em anos como 1983, 1993, 1998 e 2012, em episódios fortes de *El Niño*, a tendência foi de chuvas com menos de 60% das médias históricas registradas (DIAS, 2016).

Ademais, a curva de variabilidade aponta para um declínio tendencial de médio prazo (décadas posteriores) dos eventos chuvosos em São Luís (MA), caso sejam considerados apenas os anos em questão, considerados anos-padrão para a análise rítmica ora definida para o campo hidrometeorológico.

Analisando o gráfico, pode-se inferir estatisticamente que a tendência constante de precipitações é para um decréscimo em médio prazo na distribuição das chuvas. Isso implica, logicamente, na possibilidade de aumento da área de ação das ilhas calor e do efeito de sensação térmica na Capital Maranhense (*stricto sensu*) e na Ilha do Maranhão (*lato sensu*), isso já a partir do mês de julho, que é considerado transicional (meteorológica e climatologicamente), conforme já indicado.

Outrossim, a concentração das águas pluviais na primeira metade do ano proporciona, de um lado alguns episódios sensíveis de inundação associada a canais de macrodrenagem (Figura 13), por exemplo, e de outro o reabastecimento dos corpos hídricos superficiais e dos armazenamentos de águas subsuperficiais, a partir das áreas de recarga de águas subterrâneas. Mas em caso de ocorrência de episódios hídricos excepcionais, com totais pluviométricos bastante elevados no decorrer de poucas horas ou dias, a capacidade de infiltração e percolação das águas é diminuída, ampliando as ocorrências de fenômenos associados a deslizamentos de encostas, alagamentos, inundações, enchentes e enxurradas (DIAS, 2016). Seus efeitos são comparáveis ao de estiagens, por não reabastecerem os compartimentos hídricos subterrâneos, já bastante explorados.

**Figura 13** - Área inundada no trecho de montante do Canal do Rio das Bicas, Salinas Sacavém

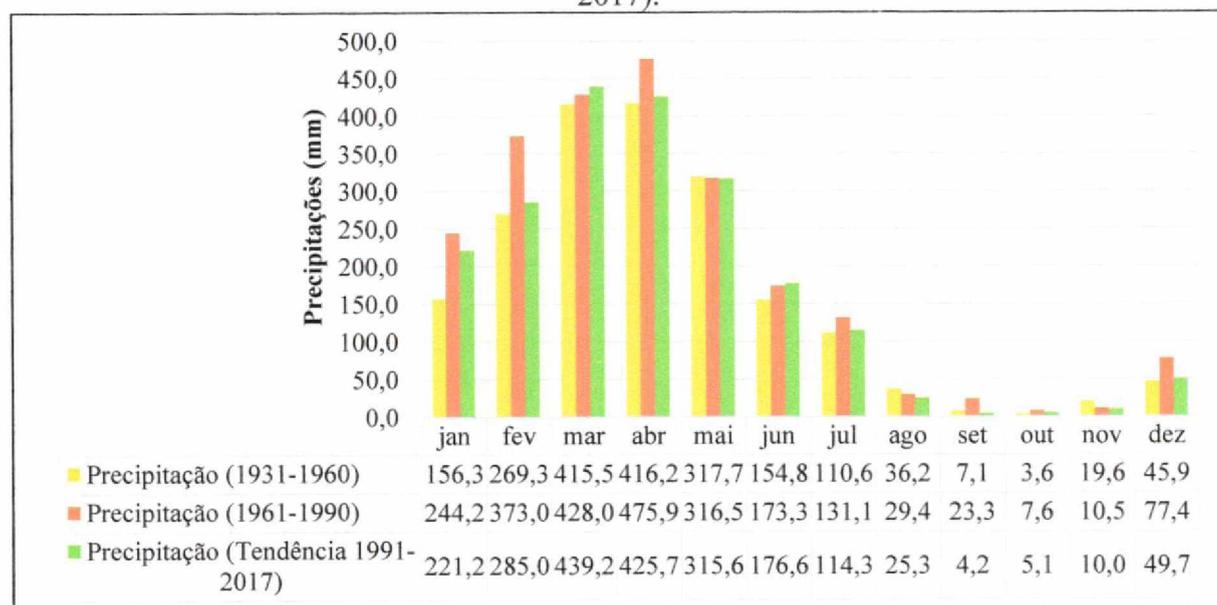


**Fonte:** Acervo pessoal de Luiz Jorge B. Dias (2013).

Ainda sobre as dinâmicas das chuvas regionais e locais, elas são orientadas preferencialmente em dois sentidos: chuvas de Nordeste e/ou chuvas de Sudeste. As direções Leste e Nordeste são as tipologias direcionais de chuvas mais atuantes no território da Ilha do Maranhão, pois como estão condicionadas à ZCIT (conforme já mencionado), é a dinâmica dessa zona de instabilidades climatológicas que determina, segundo as características meteorológicas instantâneas da área, qual será a sua direção e mesmo intensidade. Como os padrões de ventos podem flutuar numa amplitude direcional de NE a SE, há indicação de que cada chuva tem a sua própria direção e seus próprios condicionantes atmosféricos característicos, mas obedecendo um padrão direcional que pode variar de 35° rumo Norte a 50° rumo Sul (DIAS, 2016).

Em observância ao ritmo habitual das chuvas em um intervalo temporal de 87 (oitenta e sete) anos, apresentado na (Gráfico 2), é razoável afirmar que existem condições climáticas em processo de tendência de repetição de condições menos favoráveis às precipitações, conforme observado na Normal Climatológica 1931-1960.

**Gráfico 2** - Distribuição mensal das precipitações em São Luís (MA) no período de 1931-1960 (Normal 01), 1961-1990 (Normal 01) e de 1991-2017 (Tendência de Normal 1991-2017).



**Fonte:** Adaptado de INMET (2017).

Assim, é coerente afirmar que entre 1931-1960 houve condições pluviométricas totais consideradas elevadas para a estação meteorológica do INMET em São Luís, contudo com totais de chuva menores que os da normal 1961-1990 e da tendência de normal 1991-2017. Isso é justificado pelo fato da Ilha do Maranhão sofreu com eventos ENOS positivos (*El Niños*)

severos, responsáveis por problemas sérios associados a déficits hídricos fortes, principalmente nos intervalos temporais 1932, 1939-1941, 1946-1947, 1951, 1953 e 1957-1959 (INPE, 2015 *apud* DIAS, 2016).

Aliás, como apontado na tendência rítmica em equação de curva presente no gráfico 1, o declínio de chuvas pode estar relacionado com a tendência de repetição desse padrão 1931-1960, com ENOS positivo mais forte. Destarte, segundo a aplicação do princípio da similaridade estatística, isso pode ocorrer na configuração do clima entre 2021-2050. Dessa maneira, não se pode falar, ao menos no que tange ao elemento *precipitação*, em mudanças climáticas, mas em *variabilidade climática*, ou seja, uma condição de repetição de padrões de clima em uma escala temporal que varia de 60 a 120 anos.

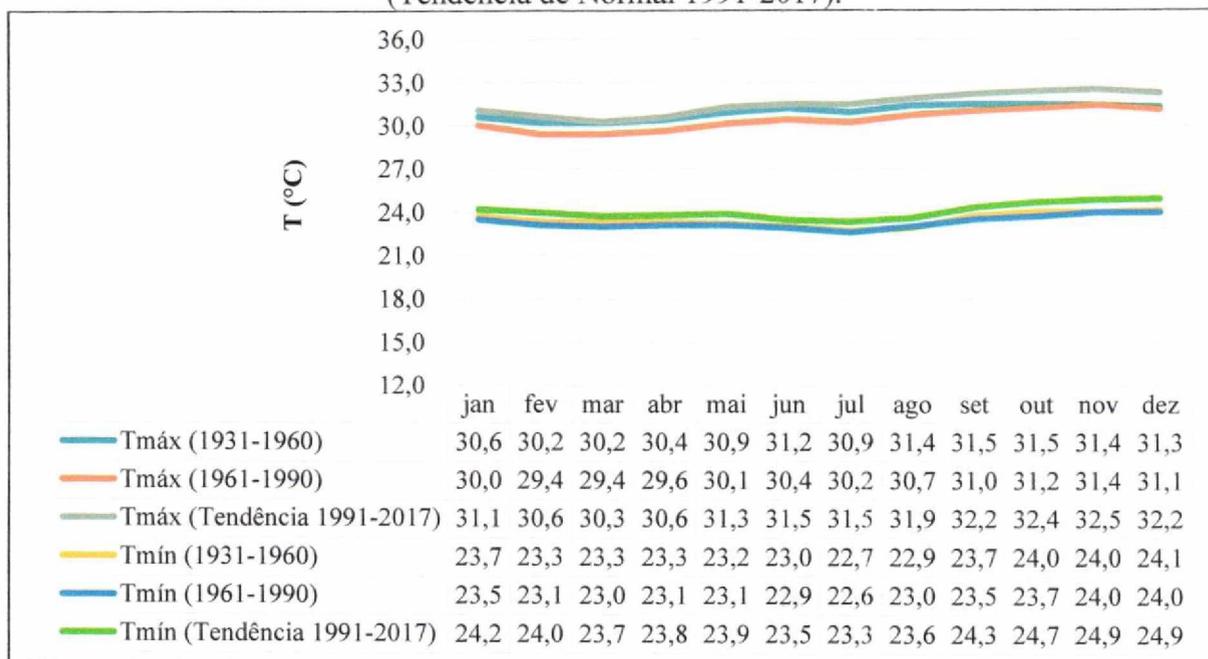
#### 4.3 O COMPORTAMENTO TERMODINÂMICO DA ILHA DO MARANHÃO

Segundo Ayoade (2001), a temperatura, depois da precipitação, é o elemento meteorológico e climatológico mais discutido nas análises climatológicas. Esse elemento formador de tempo e clima é definido pelo grau de agitação das moléculas, de modo que quanto mais oscilações elas estiverem submetidas, maior será o calor. Para Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 49), temperatura do ar “é a medida do calor sensível nele armazenado, sendo comumente dada em graus Celsius ou Fahrenheit e medida por termômetros”.

A influência dos ventos alísios de Nordeste e da circulação local contém, em média, 79,4% de umidade relativa do ar, que, associado à grande quantidade de nebulosidade durante o ano todo, faz com que a temperatura em grande parte da Costa Maranhense seja minimizada. Porém, isso não mitiga em caráter perene as elevadas temperaturas, cuja amplitude térmica (diferença entre as Temperaturas Máxima e Mínima) é inferior a 10°C, o que é um reflexo tanto da maritimidade e das condicionantes aerológicas associadas, quanto da proximidade da Linha do Equador.

Segundo INMET (2017), a temperatura média histórica das máximas no período chuvoso para São Luís é de 30°C. Já durante a estiagem, as médias das máximas chegam a 31°C. Isso demonstra certa proximidade entre as médias das máximas, o que indica temperaturas elevadas durante todo o ano. Porém, a média anual de temperatura para os últimos 23 anos (1990 a 2013) é de 26,5°C. O (Gráfico 3) apresenta as temperaturas mínimas e máximas, na forma de normais, para o período compreendido entre 1931 e 2017.

**Gráfico 3** - Distribuição mensal das temperaturas mínimas (T<sub>mín</sub>) e máximas (T<sub>máx</sub>) em São Luís (MA) no período de 1931-1960 (Normal 01), 1961-1990 (Normal 01) e de 1991-2017 (Tendência de Normal 1991-2017).



**Fonte:** Adaptado de INMET (2017).

A configuração climatológica para o ritmo do comportamento termodinâmico da Ilha do Maranhão, com base nas informações para a estação do INMET já referida, é megatérmica. Aliado às condições pluviométricas, apresenta-se com alta concentração hídrica no primeiro semestre, o que é traduzido em termos de conforto térmico relativo no tocante à constituição da sensação parcial de “frio”, ou seja, de ausência de calor, dado principalmente durante o primeiro semestre (equivalente ao período chuvoso de verão e outono). Por conseguinte, poucos foram os registros ao longo dos últimos 87 anos de temperaturas mínimas abaixo de 18°C. Até hoje, o menor registro foi feito pelo INMET em abril de 1974, quando a temperatura mínima do ar atingiu 13,1°C (RAMOS *et al.*, 2009).

Comparando as linhas do gráfico, pode-se inferir logicamente que os meses de maior incidência de altas temperaturas são os mesmos associados às baixas precipitações hídricas (agosto a dezembro, meses considerados secos). Por outro lado, há uma clara tendência de ampliação de acúmulos de radiação térmica na superfície, o que pode estar relacionada à diminuição da cobertura vegetal nativa, à ampliação do número de veículos em circulação (à base de combustíveis fósseis) e aumento das modificações do balanço de calor entre o solo, a atmosfera e os corpos hídricos locais, tendo em vista às rugosidades impostas sobre o meio (modificações nos padrões de uso e cobertura dos territórios do Município de São Luís ao longo

do intervalo 1961-2017, principalmente). Mas são fatos que carecem de maior reconhecimento empírico e geotecnológico para que essa assertiva seja confirmada ou refutada.

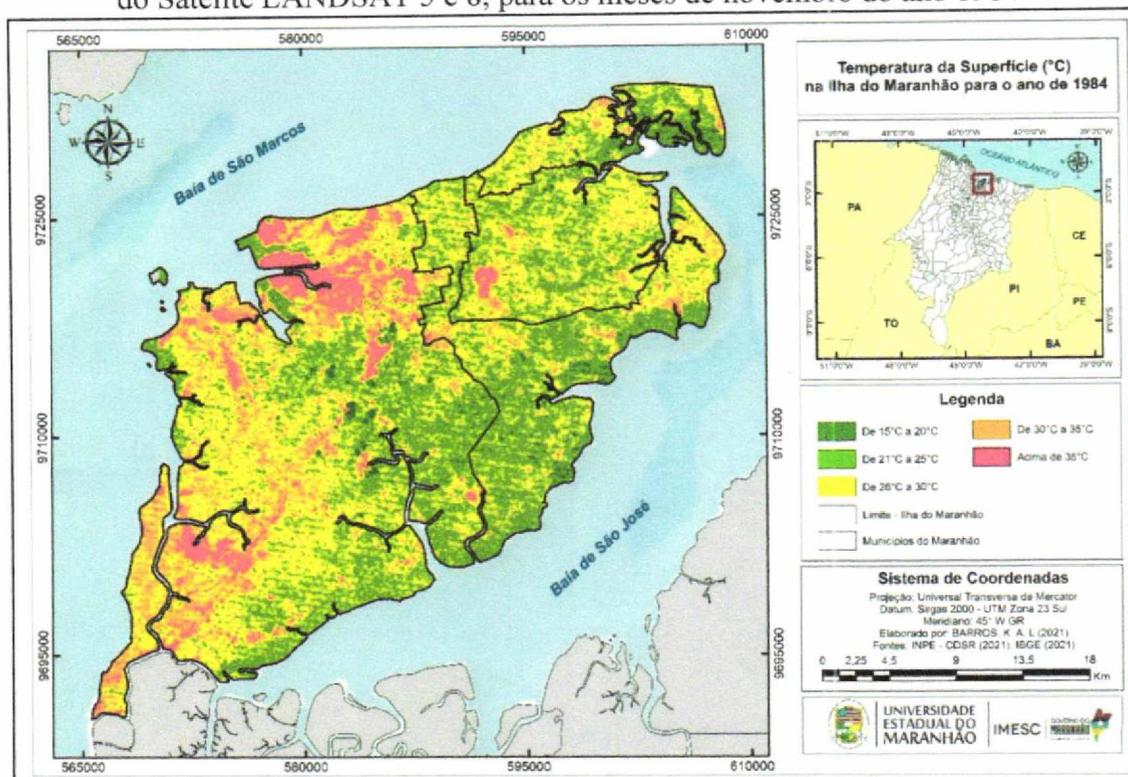
Partindo-se do conceito de heterogeneidade da paisagem urbana, espera-se que diferentes paisagens apresentem distintos comportamentos termais, visto que, cada espaço da cidade possui particularidades quanto aos tipos e intensidades de cobertura e uso da terra, o que reflete nas condições ambientais e na relação de balanço e troca de energia entre a superfície e a atmosfera. As informações sobre a temperatura superficial podem ser obtidas por sensoriamento remoto. Isto, porque o calor interno de um objeto é convertido em energia radiante e para a maioria dos objetos existe uma alta correlação positiva entre a temperatura cinética verdadeira do objeto e o fluxo radiante radiado pelo objeto (JENSEN, 2009, p.255).

A temperatura de superfície terrestre (TST) é importante parâmetro nos estudos termais do ambiente urbano e suas dinâmicas (WENG, 2009). As trocas e o balanço de energia superficial são funções da interação da radiação com a cobertura da terra, as quais podem desdobrar apontamentos em relação ao clima urbano, ao nível de planejamento e a qualidade de vida da população.

Todos os mapas estão relacionados ao mês de novembro, especificamente na primeira quinzena, momento geralmente mais quente do ano. Na imagem comparativa resultante, foram notadas ampliações de focos de calor (ainda não se pode falar no fenômeno *ilha de calor* em relação ao ano de 1984), com aumento das condições atmosféricas mínimas em até 11,7°C em 30 (trinta) anos.

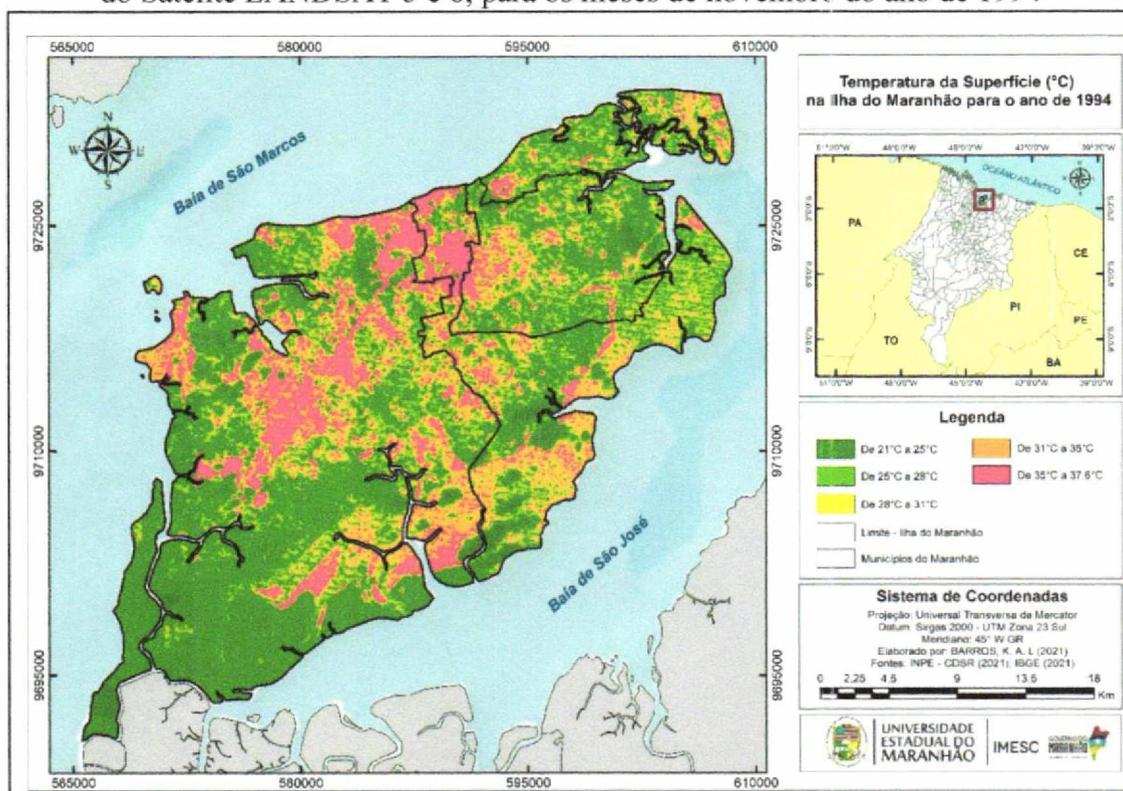
Os comportamentos anuais de 1984 e 1994, evidenciam alterações em um lapso temporal de 10 (dez) anos, gerando médias mínimas de temperatura entre 15 e 28 (°C), sendo que no ano de 1984 a mínima encontrava-se entre 15 e 26 (°C) já em 1994 tem-se mínimas entre 21 e 28 (°C), obtendo uma escala de diferença de 12 (°C), e 8 (°C), respectivamente, (Mapa 2). No ano de 1994 os valores mínimos chegam próximo das temperaturas máximas, destaque para o registro de temperatura superficial de 37 (°C), que se concentra nas áreas do aglomerado urbano da Ilha do Maranhão (Mapa 3).

**Mapa 2** - Ampliação dos focos de calor com base em tratamento da banda termal de imagens do Satélite LANDSAT 5 e 8, para os meses de novembro do ano 1984



Fonte: INPE, 2021; IBGE, 2021.

**Mapa 3**- Ampliação dos focos de calor com base em tratamento da banda termal de imagens do Satélite LANDSAT 5 e 8, para os meses de novembro do ano de 1994



Fonte: INPE, 2021; IBGE, 2021.

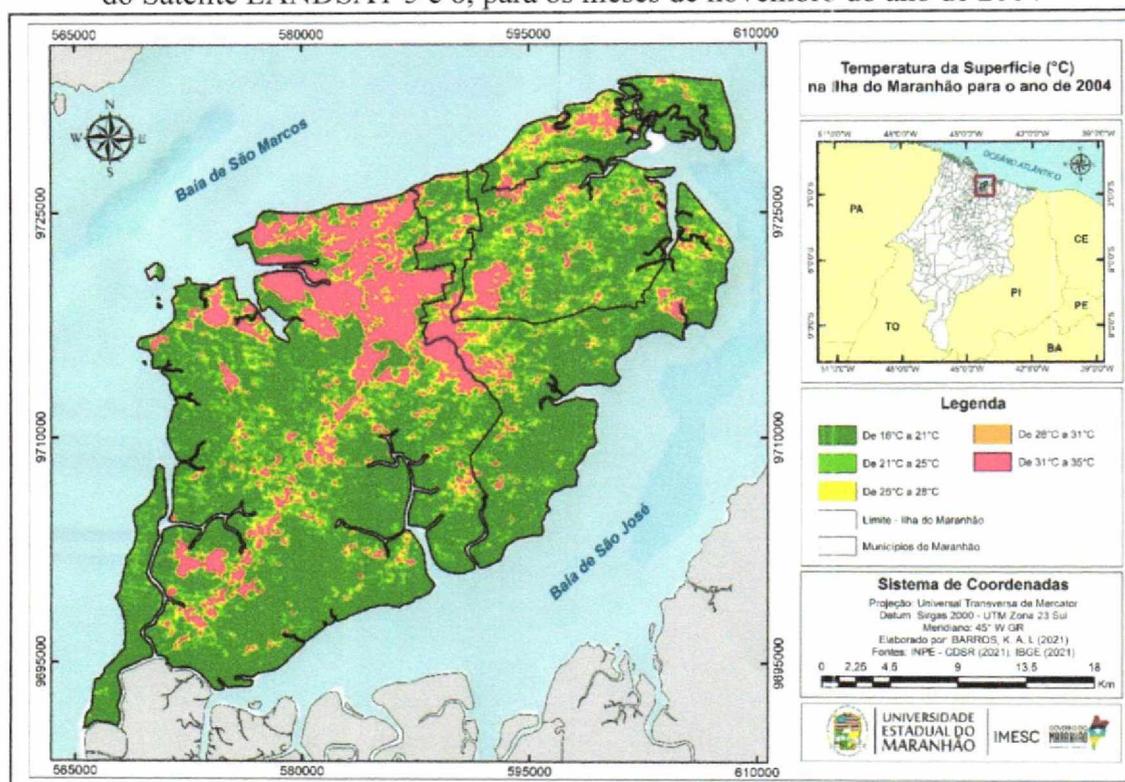
Verifica-se que com o processo de evolução da urbanização e dos equipamentos utilizados para atender as necessidades da população, ocorre a redução das áreas verdes, o aumento das construções residenciais, a impermeabilização dos solos o adensamento das construções de prédios que dificultam a circulação de ar, pavimentação asfáltica das vias, são fatores que influenciam nos índices de temperatura e o aumento da superfície de absorção térmica.

De acordo com Masullo *et al.* (2014), a mudança da cobertura da superfície, de campos com vegetação para asfalto e concreto, reduz a evapotranspiração, sobrando calor para aquecer o ar próximo da superfície. Assim eleva-se a temperatura e adicionado ao calor liberado pelos veículos, também pelos edifícios aquecidos, forma o efeito de ilhas de calor que possibilita grandes variações de temperatura nos centros urbanos.

As áreas urbanas são compostas por diversos materiais que possuem características peculiares, capazes de interferir de forma direta no albedo. Em virtude da elevada heterogeneidade dos materiais e elementos utilizados na expansão das malhas urbanas, expressos pelas diversas formas de uso e ocupação do solo, existem diferentes padrões de refletividade ou de albedos, podendo-se observar que, dependendo do albedo, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície (ARAÚJO; RANGEL, 2011, p. 6).

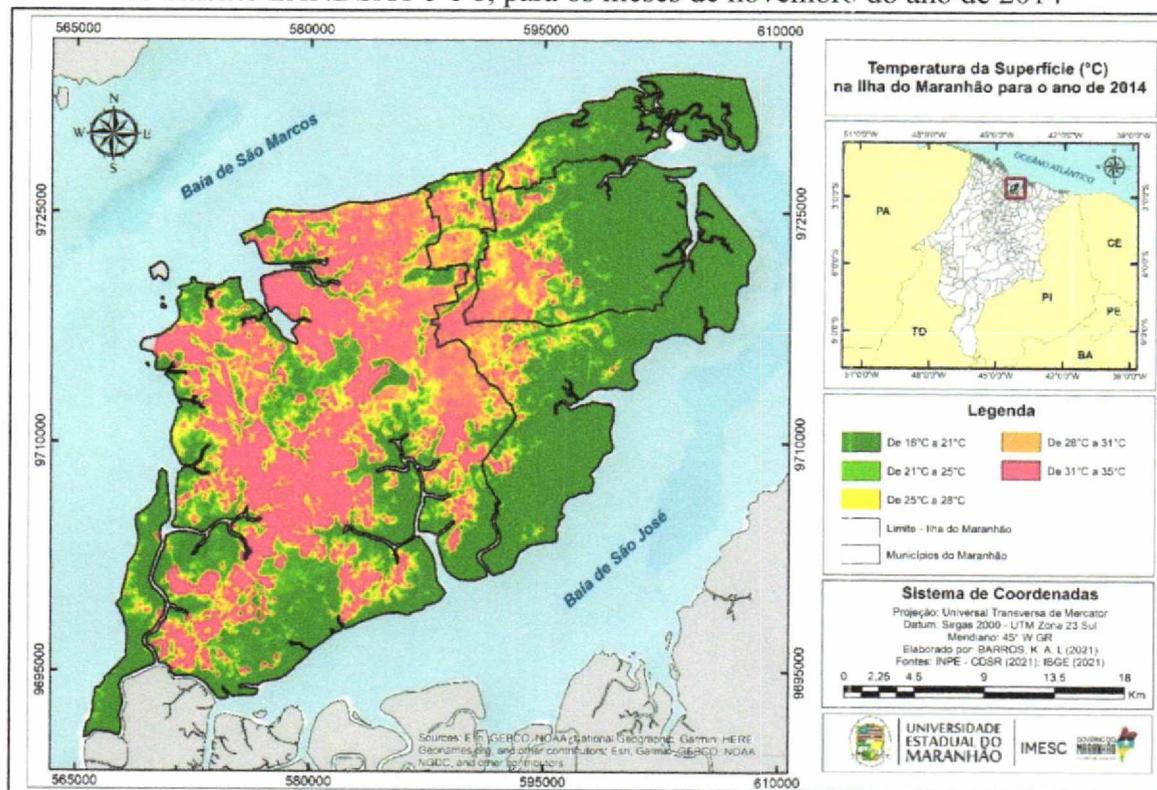
Os anos de 2004, 2014, 2017 e 2020, conforme a (Mapa 4), (Mapa 5), (Mapa 6) e (Mapa 7), não houve alterações em suas temperaturas máximas e mínimas obtidas para a Ilha do Maranhão, mantendo um padrão médio. O que ficou evidenciado foi o crescimento dos focos de calor, ou seja, o comportamento da espacialização dos focos sobre a superfície tornou-se mais evidentes, diante da composição auferida nas imagens termais verificou-se o aparente surgimento de microclimas com intensidades diferentes, concentrado nas áreas de zonas urbanas. Nos pontos que apresentam as maiores temperaturas de superfície, que podem gerar maiores índices de desconforto térmico para a população, estão localizados nos bairros de ocupação mais antiga com maior densidade construída. Foi possível observar que, em geral, áreas com as menores médias entre 21 °C e 28 °C estão concentradas em locais que possuem cobertura vegetal, enquanto para a área urbana, foram registrados valores entre 31 °C e 35 °C.

**Mapa 4** - Ampliação dos focos de calor com base em tratamento da banda termal de imagens do Satélite LANDSAT 5 e 8, para os meses de novembro do ano de 2004



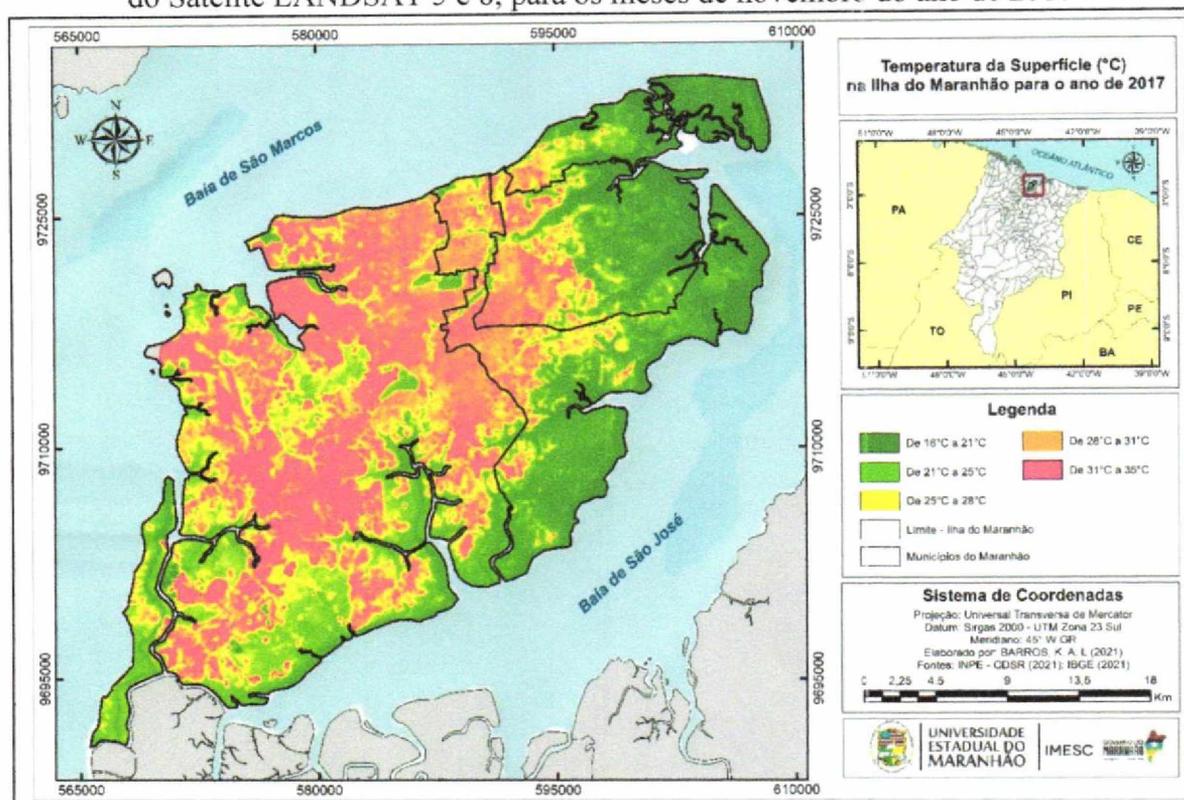
Fonte: INPE, 2021; IBGE, 2021.

**Mapa 5** - Ampliação dos focos de calor com base em tratamento da banda termal de imagens do Satélite LANDSAT 5 e 8, para os meses de novembro do ano de 2014



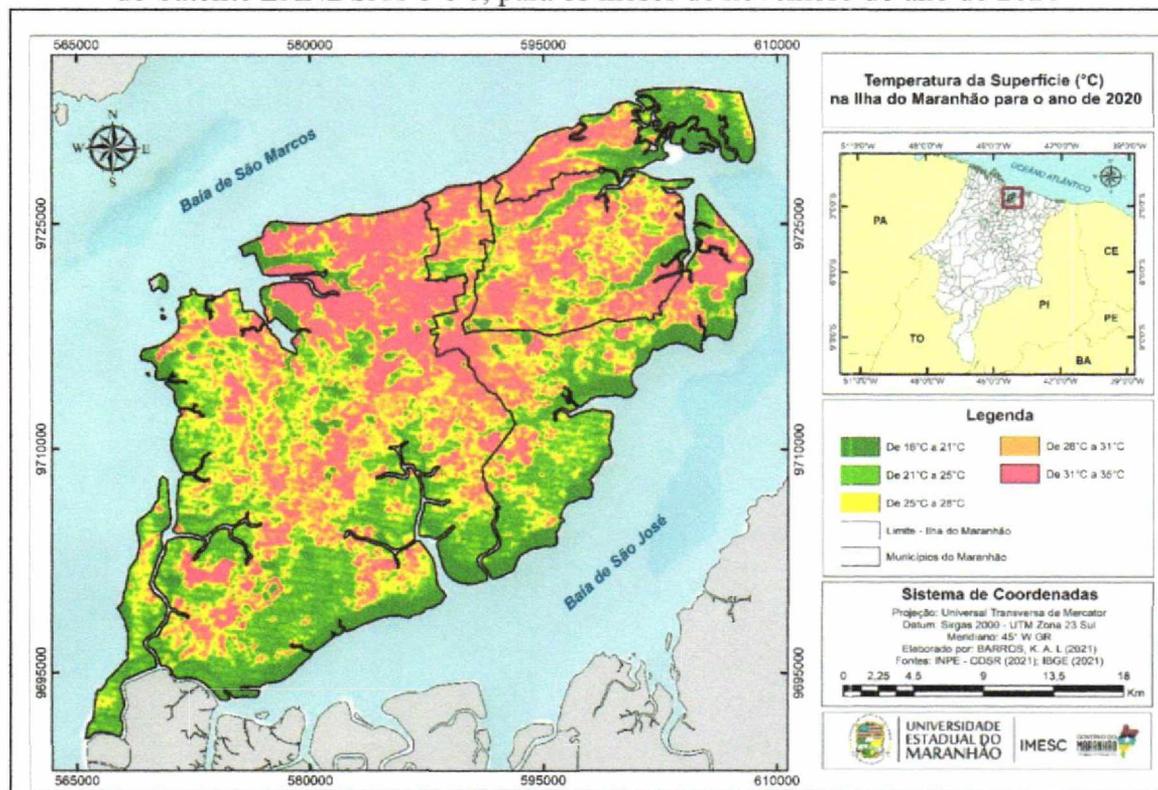
Fonte: INPE, 2021; IBGE, 2021.

**Mapa 6** - Ampliação dos focos de calor com base em tratamento da banda termal de imagens do Satélite LANDSAT 5 e 8, para os meses de novembro do ano de 2017



Fonte: INPE, 2021; IBGE, 2021.

**Mapa 7** - Ampliação dos focos de calor com base em tratamento da banda termal de imagens do Satélite LANDSAT 5 e 8, para os meses de novembro do ano de 2020



Fonte: INPE, 2021; IBGE, 2021.

A variação da temperatura do Sistema Climático Urbano (SCU), segundo Monteiro (1976), acontece pela atuação de um ou mais dos fenômenos espaciais citados a seguir:

- Variações da insolação diária, através da mudança de posição do Sol durante o dia;
- Presença de chuvas ou próximo à ocorrência de precipitações;
- Incidência de ventos sobre a área (para maiores contextualizações locais e regionais);
- Presença de atividades humanas (perturbações antropogênicas), pois quanto maiores espacialmente a distribuição e frequência de intervenções induzidas no meio, maiores serão as temperaturas medidas;
- Proximidade de áreas verdes, como bosques e/ou florestas e manutenção de cobertura vegetal remanescente.

Para Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a vida fisiológica em condições de clima tropical apresenta-se perfeitamente adaptada às características ambientais fortemente variáveis em espaços de tempo curto (sazonalidade climática), mas a ocorrência de fenômenos meteorológicos em escala temporal muito rápida (horária, diária e semanal) lhe traz perturbações.

No caso específico da Ilha do Maranhão (MA), existem dois reguladores térmicos próximos definidos pela literatura especializada no tema (PINHEIRO JÚNIOR *et al.*, 2017), quais sejam:

- a) proximidade de um corpo hídrico de proporções locais consideráveis ocupando as baías de São Marcos e de São José;
- b) situação de ligeira proteção de ecossistemas de manguezais associados às Baías de São Marcos e de São José.

Os demais microcorpos hídricos locais e/ou áreas com coberturas de gramíneas e/ou com matas de sucessão ecológica (capoeiras em diversos estágios de regeneração) não possuem força substancial para o controle da dinâmica atmosférica indutora de mudanças para a mitigação dos efeitos das temperaturas atmosféricas locais. Dessa maneira, há uma indicação de manutenção dos focos de calor, o que pode consolidar o fenômeno de *ilhas de calor* interconectadas nos quatro municípios da Ilha do Maranhão já na próxima década.

Outro fenômeno identificado para a Ilha do Maranhão, obtido através das análises dos mapas de focos de calor, são as “ilhas de frescor”, existem áreas que apresentam temperaturas menores do que as áreas ao seu entorno. Normalmente estas ilhas de frescor são caracterizadas por abundância de cobertura vegetal ou presença de corpos d’água, como igarapés, lagoas ou

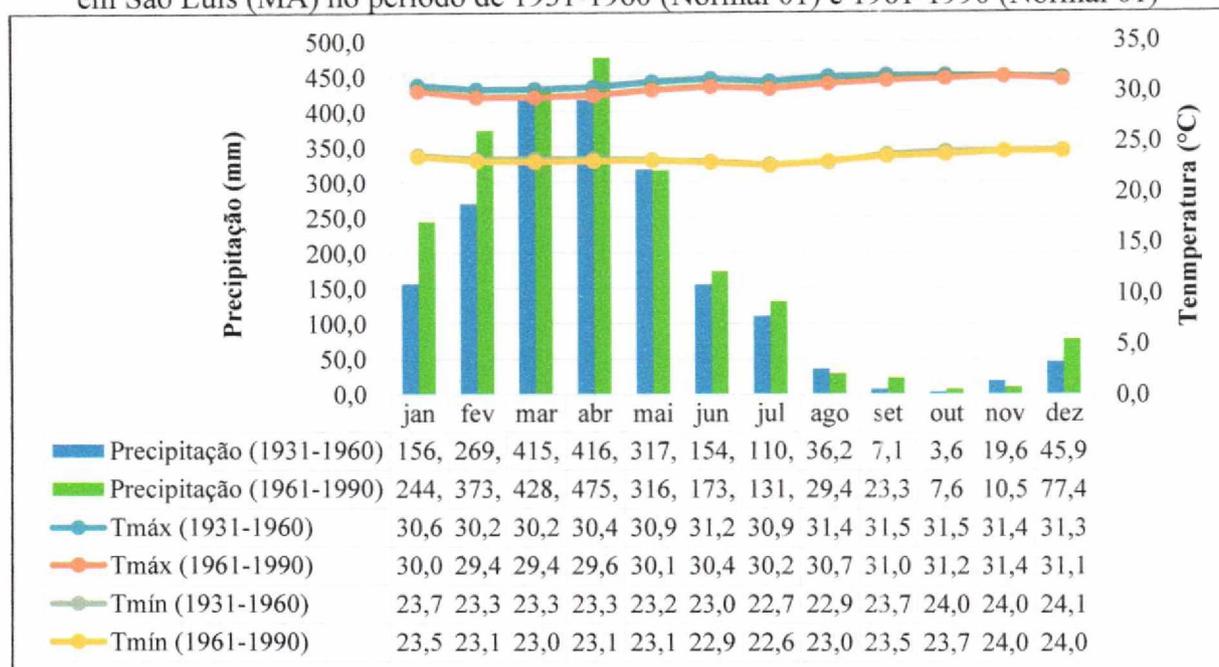
espelhos d'água (LOMBARDO, 1985). Estas localidades por apresentarem temperaturas menores, são importantes para a cidade porque influenciam no conforto térmico dos cidadãos, principalmente as áreas do seu entorno. As áreas verdes podem apresentar muitos benefícios ao ambiente urbano, por meio de seu elemento estruturador: a vegetação. Quando inserida no arranjo urbano, pode propiciar alguns benefícios aos parâmetros ambientais, como temperatura do ar e umidade relativa do ar, ventilação, níveis de ruído, concentração monóxido (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) dentre outros (BARBOSA, 2005).

Em função das consequências de um balanço térmico particular, os espaços verdes (de porte arbóreo) apresentam normalmente temperaturas mais baixas do que o espaço urbanizado em que se inserem, como relevam numerosos estudos de Climatologia Urbana em que, paralelamente a observações feitas em locais urbanizados, são também contemplados pontos de observação em espaços verdes integrados no tecido urbano (GANHO, 1998). O rápido crescimento populacional pelo qual vem passando os municípios da Ilha mencionada e principalmente São Luís, acarreta o aumento da ocupação desordenada responsável pelo surgimento de variados problemas de ordem ambiental, estético, socioeconômico e/ou urbano (SANTOS, 1996). Diante disso, é importante a implantação de políticas públicas que visem o planejamento e ordenamento urbano.

#### 4.4 CLIMOGRAMAS DA ILHA DO MARANHÃO

Compreende-se como *climogramas* os gráficos que correlacionam dados de duas variáveis meteoro-climáticas distintas, mas complementares (NERY; CARFRAN, 2013). Dessa feita, com base nos dados referentes à estação meteorológica do INMET em São Luís de 1931 a 2017, devidamente sistematizados e que compuseram a (Gráfico 4) e o (Gráfico 5), foi possível agrupá-los em um panorama gráfico que melhor aponta o comportamento dos campos hidrometeorológico e termodinâmico aplicáveis à Ilha do Maranhão para os últimos 87 (oitenta e sete) anos (Gráfico 6).

**Gráfico 4** - Climograma de precipitações e temperaturas mínimas (T<sub>mín</sub>) e máximas (T<sub>máx</sub>) em São Luís (MA) no período de 1931-1960 (Normal 01) e 1961-1990 (Normal 01)



**Fonte:** Adaptado de INMET (2017).

*A priori*, foram correlacionadas temperaturas máximas e mínimas (T<sub>máx</sub> e T<sub>mín</sub>) e precipitação para as normais climatológicas 1931-1960 e 1961-1990, conforme o (Gráfico 4). O que se verifica, pois, é um aumento de 14,7% nos totais pluviométricos, ou seja, uma adição de 337,40 mm/ano, em média, nos quantitativos de chuvas. Por outro lado, isso *di per si* já caracteriza analiticamente uma alteração no ritmo (padrão isoladamente aceito), apontado para a uma variabilidade climática.

A *variabilidade* é definida pela Organização Meteorológica Mundial (1966 *apud* CONTI, 2000, p. 20) como “maneira pela qual os parâmetros climáticos variam no interior de um determinado período de registro, expressos através de desvio-padrão ou coeficiente de variação”. Para a Ilha do Maranhão, corrobora essa assertiva o fato estatístico de haver um desvio-padrão positivo de 168,7 mm/ano nas precipitações para a correlação feita, o que corresponde a 13,03% do total dos entre os volumes comparados. Isso é superior à média estipulada em Climatologia Geográfica, que deve ser de até 5% de variabilidade de dados (para mais ou para menos), indicada estatisticamente no processo de comparação (ZAVATINI; BOIN, 2013).

Destarte, houve mudança de ritmo climático, estabelecendo uma variabilidade levemente considerável. O mesmo não pode ser aplicado às temperaturas máximas e mínimas, pois ficaram muito próximas entre si para os dois períodos aferidos, apontando desvio-padrão

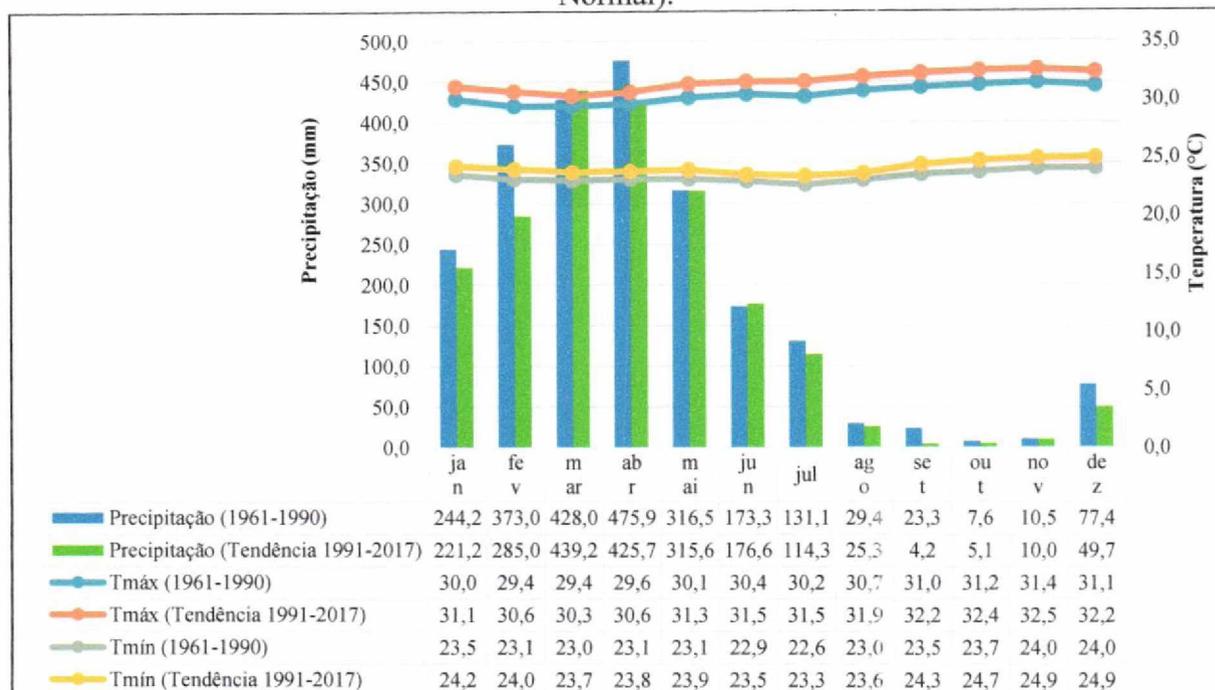
abaixo de 5%, sendo que Temperatura Máxima, foi ligeiramente menor na Normal 1961-1990 em comparação à Normal predecessora.

Aliás, isso é um ponto importante para análise, pois as temperaturas em média estiveram em ritmo de manutenção ou pequeno decréscimo em um período pautado pelo aumento da população e das novas organizações dos espaços urbanos dos municípios que compunham a Ilha do Maranhão, algo bem registrado por Ferreira (2014) ao tratar da ampliação ocupacional em São Luís e sua hinterlândia insular. Por conseguinte, o processo de expansão territorial não ocasionou mudanças térmicas, indicando que não houve mudança climática do ponto de vista antropogênico, sendo um fato natural de ritmo geográfico do clima.

Correlacionando a Normal Climatológica de precipitações de  $T_{máx}$  e  $T_{mín}$  1961-1990 com a Tendência de Normal 1991-2017 para os mesmos elementos dos campos hidrometeorológico e termodinâmico (Gráfico 5), observa-se uma tendência leve de queda das precipitações, associada a um aumento (ainda dentro da margem de segurança de 5%) das temperaturas.

Com uma pequena elevação de 11 mm/mês de precipitação para março na Tendência de Normal, todos os demais meses do ano apresentam ou relativa estabilidade (maio e junho) de quantitativos totais de chuvas, ou queda dos índices pluviométricos. A ocorrência de anos atípicos com rigorosidade dos fenômenos ENOS positivo ou de bloqueios atmosféricos associados ao Dipolo positivo do Atlântico Norte podem ter colaborado para a configuração de queda de precipitações, com desvio-padrão estabelecido em menos 109,20 mm/mês, correspondendo a 9,54% de variabilidade nas amostras. Aqui, igualmente à comparação vista no gráfico 5, houve alteração no ritmo do Sistema Clima Urbano (SCU) da Ilha do Maranhão, mas não indicando, isoladamente, uma mudança climática.

**Gráfico 5** - Climograma de precipitações e temperaturas mínimas (Tmín) e máximas (Tmáx) em São Luís (MA) no período de 1961-1990 (Normal 01) e 1991-2017 (Tendência de Normal).



**Fonte:** Adaptado de INMET (2017).

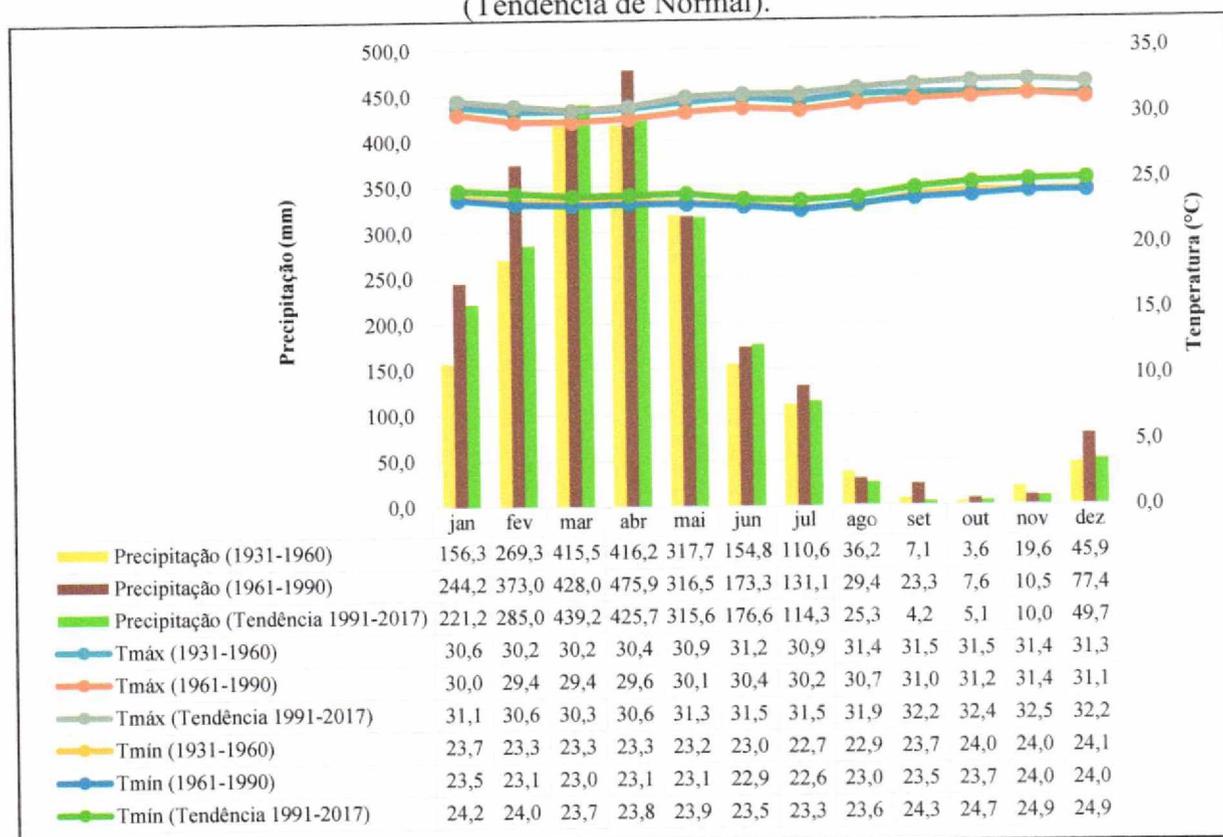
Quanto às Tmín e Tmáx, houve leves acréscimos em ambas, analisando-as de forma comparativa a partir das linhas de base da Tendência de Normal 1991-2017, em alguns meses chegando a valores superiores a 1°C. Contudo, conforme indicado no gráfico do gráfico 5, há forte tendência que a radiação solar incidente, em função da energia calorífera armazenada nos alvos espectrais da Ilha do Maranhão, que têm albedos diferentes, amplia a sensação térmica elevada, o que já é perceptível em sensores orbitais os mais diversos. A manutenção dos padrões de uso e cobertura, de maneira a reorientar ou sistemas ambientais originais, indica a possibilidade de instalação de ilhas de calor na próxima década, conforme já mencionado.

Já o (Gráfico 6), ao apresentar o climograma da Normal 1931-1960 e da Normal 1961-1990 com a Tendência de Normal 1991-2017, indica uma possibilidade de avaliação de longo prazo dos comportamentos hidrometeorológicos e termodinâmicos a partir de outra perspectiva.

Tendo em vista o seu caráter tropical, e as suas características regionais, a área estudada apresenta uma regularidade climática que permite identificar certa uniformidade não apresentando valores máximos e mínimos exagerados ao longo do ano nos parâmetros de temperatura (apesar de tendência do aumento das suas médias em comparação as normais climatológicas – 1961/1990). A exceção são os dados pluviométricos que apresentam irregularidades mais perceptíveis (ARAÚJO *et al.*, 2014).

Conforme já indicado, há tendência de queda nos quantitativos pluviométricos comparativos entre a Normal 1961-1990 e a Tendência de Normal de 1991-2017. Porém, é importante frisar que estas últimas ainda apresentam um volume ligeiramente superior aos definidos para a Normal 1931-1960, em um total de 6% acima desta. Ademais, aponta-se uma ligeira queda das precipitações para o próximo período climático, que será aferido para os anos de 2021 a 2050, que pela equação de reta disposta naquele gráfico como mencionado anteriormente), deve se assemelhar bastante ao regime mensurado para a Normal 1931-1960.

**Gráfico 6** - Climograma de precipitações e temperaturas mínimas (T<sub>mín</sub>) e máximas (T<sub>máx</sub>) em São Luís (MA) nos períodos de 1931-1960 (Normal 01), de 1961-1990 e entre 1991-2017 (Tendência de Normal).



**Fonte:** Adaptado de INMET (2017).

Por conseguinte, é provável que os regimes climáticos para a Ilha do Maranhão possam se caracterizar por variabilidade climática cíclica em intervalos de 60 – 120 anos. Dias (2016) e Pinheiro *et al.* (2017) indicam que as chuvas na região são condicionadas por circulações atmosféricas de larga escala, com influências das dinâmicas existentes entre o continente sul-americano, os oceanos Pacífico e Atlântico, as massas de ar e sistemas formadores de tempo clima (no caso em estudo, a Equatorial Atlântica, associada à ZCIT – Zona de Convergência Intertropical, em parte a Equatorial Continental, advinda da área *core* da Amazônia Central, e os Distúrbios Ondulatórios de Leste – DOL, bem como outros sistemas associados).

Como todos esses fatores são associados ao *Clima Zonal*, na escala definida por Monteiro (2015), ou *macroescala* (MARANDOLA JÚNIOR, 2013), são aspectos globais que direcionam os processos de ciclagem e distribuição das águas ao longo do Globo. Assim, as incidências isoladas ou conjugadas do fenômeno ENOS (*El Niño Oscilação Sul*) e o Gradiente Meridional de TSM do Atlântico Tropical (Dipolo do Atlântico), cujas interferências humanas em sua gênese, composição e desenvolvimento não são suficientemente conhecidas, é que proporcionam maiores ou menores incidências de totais pluviométricos, não havendo qualquer ligação direta com a urbanização da Ilha do Maranhão.

Ao contrário, quanto às temperaturas, é imprescindível afirmar que houve, sim, alterações entre as duas Normais estabelecidas e a Tendência de Normal, tanto para temperatura mínima, quanto para temperatura máxima. Ademais, o fato de haver uma indicação de medidas próximas entre si, não significa afirmar que os valores de  $T_{máx}$  não ultrapassem por diversas vezes a casa dos 36°C, o que começou a ser registrado com maior frequência a partir da década de 1970. Dessa forma, o fenômeno de alteração do comportamento térmico da Ilha do Maranhão teve forte ligação com o aumento das áreas ocupadas pelas manchas urbanas consolidadas ou em ampliação nos municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa.

#### 4.5 PLANEJAMENTO PARA O SISTEMA CLIMA URBANO (SCU) DA ILHA DO MARANHÃO

Para (OKE 1987), o mais evidente e documentado exemplo de mudança climática provocada pelo homem é o fenômeno da ilha de calor. Esse fenômeno corresponde a um maior aquecimento, positivo, de uma área urbana em relação ao seu entorno ou a uma área rural, que se intensifica à noite, poucas horas após o pôr do sol, e que é mais bem visualizado em dias de ventos calmos e céu claro. A expansão da cidade na sua maioria é vista como progresso, comparado com as áreas rurais, carrega a ideia de desenvolvimento com ruas asfaltadas, avenidas, grandes construções, que apresentam o conceito de modernidade.

Há tempos observa-se que áreas urbanas e suburbanas possuem ilhas de calor, um “oásis inverso”, onde o ar e as temperaturas da superfície são mais quentes do que em áreas rurais circundantes. [...] porque muitos materiais de construção comuns absorvem e retêm mais calor do que materiais naturais em áreas rurais menos urbanizadas. Existem duas razões principais para esse aquecimento. A primeira é que a maior parte dos materiais de construção é impermeável e estanque, e por essa razão não há umidade disponível para dissipar o calor do sol. A segunda é que a combinação de materiais escuros de edifícios e pavimentos com configuração típica cânion<sup>4</sup> absorve e armazena mais energia solar (GARTLAND, 2010, p. 9-10).

<sup>4</sup> Cânion Termo que designa a estrutura urbana formada pela rua ladeada continuamente por edifícios, apresenta microclima próprio, que difere daquele encontrado em espaços de campo aberto, reconhecidos como uma unidade básica para o estudo do microclima e o conhecimento da sua geometria é essencial para o entendimento do clima urbano (Nakamura e Oke, 1988; Krüger, 2008).

A Temperatura da Superfície Terrestre (TST) é de primordial importância para o ambiente urbano, pois o seu papel é essencial no balanço energético da superfície, pois ajuda a determinar o clima interno, como também, influencia as trocas de energia que afetam o conforto dos moradores da cidade (WANG *et al.*, 2004).

A intensidade de urbanização, expressa em termos de espaço construído, altera significativamente o clima, de modo que as alterações variam de uma localidade para outra, conforme a intensidade de uso-ocupação do solo, o processo de crescimento urbano e as características geoecológicas do lugar. As expressivas alterações climáticas na cidade dizem respeito aos valores de temperatura e a concentração de poluentes, visto que a área urbanizada promove alterações no balanço de energia, gerando “bolsões” de calor, denominadas “ilhas de calor” (LOMBARDO, 1985).

Amorim (2010) argumenta que as ilhas de calor afetam diretamente o conforto e a saúde dos indivíduos, seja por problemas relacionados diretamente ao calor (estresse térmico) ou por problemas de doenças relacionadas à qualidade do ar. relaciona-se com influência do clima. É relevante o estudo das variáveis climatológicas, sobretudo em perspectiva das suas mudanças e na previsão de seus prováveis efeitos e vulnerabilidades, principalmente para o conforto da população.

Planejar o espaço urbano significa remeter ao futuro das cidades, buscando medidas de precaução contra problemas e dificuldades, ou ainda, aproveitar melhor, possíveis benefícios (SOUZA; RODRIGUES, 2004). Um bom planejamento não é garantia de sucesso, mas é um direcionamento para ações que visem solucionar o mais rapidamente os problemas ou minimizar os impactos diante dos eventos adversos sobre o território e seus habitantes.

O grande desafio colocado diante da atividade de planejamento é o esforço de imaginar o futuro. No entanto essa imaginação do futuro não é feita a partir do nada, do vazio. É preciso que faça uma reflexão e uma análise prévia das condições do quadro atual, de forma a se poder antecipar possíveis desdobramentos de processos. Esse esforço de reflexão sobre as condições atuais para em seguida imaginar seus desenvolvimentos, chama-se prognóstico (SOUZA; RODRIGUES, 2004, p. 17).

Segundo Sayago e Pinto (2005), o crescimento vertiginoso e descontrolado das cidades despertou grandes preocupações de políticos, da sociedade e de cientistas, acerca dos mecanismos de proteção e defesa do bem-estar dos habitantes da cidade, em meio a um mundo globalizado economicamente. Nesse sentido, a ocupação desordenada e em áreas de riscos pela população, a falta de todas as infraestruturas sociais, a exemplo de saneamento básico, saúde e transporte, aliada à falta de planejamento público, o consumismo exagerado das populações, a poluição da água, do ar e das paisagens, a ausência de áreas verdes nas cidades, e outras

mazelas, frutos do caráter predatório da expansão econômica capitalista, vêm corroborando para deterioração da qualidade de vida do homem nas cidades (SAYAGO; PINTO, 2005).

Em relação aos eventos extremos de precipitação, sendo aqueles que ocasionam grandes impactos, Gonçalves (2003, p. 80) esclarece que embora sejam fenômenos naturais ocasionados pelas disritmias dos sistemas meteorológicos, a interferência da ação antrópica ao longo do tempo, tanto na cidade quanto no campo, “tem contribuído, consideravelmente, para sua maior frequência, agressividade e expansão areolar”.

As áreas urbanas e metropolitanas são, particularmente, mais afetadas porque correspondem aos segmentos da superfície terrestre mais intensamente transformados. A atividade humana nestas áreas, principalmente através do tratamento incorreto dos recursos naturais, produz quase sempre inadequada artificialização, altera o ambiente local e cria uma vulnerabilidade maior em relação aos eventos do sistema natural que, na maioria das vezes, não são de grande magnitude. Como um circuito alimentado positivamente, a vulnerabilidade aumenta e, conseqüentemente, aumenta a capacidade de a população absorver seus efeitos (GONÇALVES, 2003, p. 70)

De acordo com Masullo *et al.* (2014), à medida que o crescimento horizontal da cidade se materializa, as áreas vegetáveis, bosques, nascentes de rios ou manguezais são convertidos em superfícies impermeáveis, provocando o aumento do volume de escoamento superficial e da carga de poluentes.

A partir dessas influências surge o aumento da vazão do escoamento superficial nas bacias hidrográficas, na magnitude e na frequência dos alagamentos, na erosão do canal e no aumento da geração de sedimentos, alterando o regime da temperatura da área, além de provocar a redução na infiltração do lençol freático com picos mais altos de alagamentos e fluxos d'água mais baixos, com maiores quantidades de resíduos não tratados, aumentando a poluição, tudo isso como resultado do desenvolvimento urbano (ARAÚJO *et al.*, 2007).

Neste caso, as

[...] interferências urbanas são elementos importantes para a definição dos graus de intervenção e também para a caracterização dos novos processos geomorfológicos gerados a partir das atividades humanas no meio físico. As intervenções antrópicas são geradas para se obter superfícies planas para posterior incremento topográfico por construções ou edificações. Essas intervenções implicam basicamente em corte e/ou aterros desenvolvidos na morfologia original, provocando o remanejamento dos materiais superficiais (FUJIMOTO, 2008, p. 97).

O caso da Ilha do Maranhão sofre com os alagamentos, quando as precipitações de concentram em rápidos intervalos de tempo, chovendo em horas o que era esperando para um mês inteiro. O escoamento superficial é deficitário, e os corpos hídricos não comportam a vazão, pois se encontram assoreados ocorrendo o transbordamento, o solo em grande parte se encontra impermeabilizado por camada asfáltica ou concreto impossibilitando a infiltração das

águas. São problemas que se intensificam ao logo dos anos e com a falta de ações que levem em consideração o crescimento urbano e as características ambientais e atmosféricas que são identificadas na Ilha.

Em muitos trabalhos realizados na Ilha do Maranhão para o ordenamento das cidades é perceptível a falta de preocupação com o conforto térmico humano, os projetos desenvolvidos não empregam o urbanismo bioclimático, ou seja, mecanismos que levem em consideração o clima da região, e suas características naturais, aplicando técnicas que harmonizem os ambientes internos e externos, assim gerando um aproveitamento dos recursos disponíveis e melhorando o bem-estar da população.

É importante ressaltar que o grande problema identificado no campo termodinâmico da Ilha do Maranhão, está relacionado com alto índice de focos de calor, verificados através das imagens de satélite e o que aponta para o desconforto térmico, que ocasionam sensação desagradável para o corpo humano. As temperaturas aferidas para Ilha do Maranhão durante os anos apresentados na referida pesquisa, não apresentaram variações significativas, diante da sua normalidade, mas apontam para os problemas advindos do crescimento urbano. São consequências passíveis de soluções que podem a longo, médio e curto prazo, minimizar essas alterações no meio físico e conseqüentemente melhorar o conforto térmico, algumas dessas ações mitigadoras seriam:

- Investir em espaços verdes (praças e parques), com espécies nativas;
- Incentivar a arborização nos quintais;
- Não impermeabilizar completamente os terrenos, facilitando a infiltração das águas pluviais;
- Utilizar materiais construtivos adequados para armazenar menos calor;
- Aplicar a manutenção e conservação dos corpos hídricos.
- Recomposição de áreas degradadas,

A educação ambiental também é considerada uma ferramenta de suma importância para o sucesso desse empreendimento. Monteiro (2003) aposta nesse instrumento e afirma que o clima da cidade (S.C.U) dificilmente chegaria ao equilíbrio homeostático, devido a crescente desorganização do espaço urbano, porém, os gestores junto com a sociedade podem de forma consciente elaborar dispositivos de reciclagem necessários à condução dos controles climáticos

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No tocante às análises ambientais regionais e locais, a Climatologia Geográfica apresenta-se como um conjunto de conhecimentos integrador, haja vista possuir elementos analíticos indispensáveis para quaisquer tipos de planejamentos de uso e ocupação dos espaços disponíveis. A isso se somam o auxílio no ordenamento do território e na dotação de infraestruturas e serviços que a retificação ou melhoramento de dinâmicas hidrográficas e hidrológicas de superfície necessárias para subsidiar ações de engenharias, de forma sistêmica, bem como o monitoramento de áreas de risco.

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, ausência de dados meteorológicos de longo prazo (superiores a 30 anos de medições diárias constantes) para a maior parte de seu conjunto territorial, indefinições quanto às tipologias climáticas de longo prazo (influências da semiaridez nordestina, por exemplo), bem como a falta de aplicação de conhecimentos estatísticos acumulados sobre elementos formadores de tempo e clima são fatos que concorrem para a baixa quantidade de dados objetivos acerca dos climas regionais e locais do espaço total maranhense.

Atualmente, são diversas as exigências por dados meteoro-climáticos aplicados, principalmente em âmbitos acadêmicos, de gestão pública e em consultorias especializadas. Demandas por informações meteorológicas e climáticas são cada vez mais demandas por estudos de travessia (ETs), planos de controle ambientais (PCAs), relatórios ambientais simplificados (RAS), estudos prévios de impactos ambientais (EPIAs), estudos e relatórios de impactos ambientais (EIA-RIMAs), planos de recuperação de áreas degradadas (PRADs) e estudos de impactos de vizinhança (EIVs), todos indispensáveis ao planejamento e uso adequado dos territórios, tanto urbanos, quanto rurais e industriais.

Ao longo dessa pesquisa realizaram-se diversas leituras e atribuição de métodos-científicos, com base na estatística e no método analítico estruturalista/sistêmico, no intuito de apresentar e utilizar dados e informações afeitos à necessidade de compreensão do Sistema Clima Urbano (SCU) da Ilha do Maranhão. Esses conteúdos produzidos geraram uma base de dados e informações associada às variabilidades e aos ritmos climáticos materializados no território, tornando-se uma importante contribuição ao planejamento e ordenamento urbano local, sendo um subsídio para a indicação de estratégias de mitigação e controle das alterações

no campo termodinâmico do SCU da Ilha do Maranhão mecanismos de resiliência socioambiental indispensáveis à melhoria da qualidade de vida local e regional.

Essa pesquisa, apresentou análises de dois conjuntos de elementos formadores de tempo e clima, formatados respectivamente por precipitações e temperaturas. Mas, é indispensável que sejam conhecidos e integrados analiticamente outros que compõem a realidade meteorológica e climática da Ilha do Maranhão, como insolação, nebulosidade, umidade relativa do ar, dias com precipitação e balanço hídrico. Somente assim haverá condições de entender os ritmos e comportamentos climáticos adequados para a parte insular da Região Metropolitana da Grande São Luís (RMGSL), com todas as suas peculiaridades e potenciais científicos, assim sabendo onde os problemas estão localizados através dos diagnósticos são possíveis de resoluções com políticas públicas, planejamento ambiental ordenamento territoriais.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Contribuição à geomorfologia do Estado do Maranhão**. Rev. Notícia Geomorfológica, Campinas (SP), v. 3, n. 5, p. 35-45, abr. 1960.
- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Amazônia: do discurso à práxis**. 2 ed. São Paulo: EDUSP, 2004.
- ALMEIDA, Herbert Georges de. (Org.). **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil: São Luís SW/NW, Folhas SA.23-V e SA.23-Y**. Estados do Pará e Maranhão (Escala 1:500.000). Brasília: CPRM, 2000.
- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. **Climatologia e gestão do espaço urbano**. Mercator, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 71-90, dez. 2010. Número especial.
- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Ritmo climático e planejamento urbano. In: AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; SANT'ANNA NETO, João Lima; MONTEIRO, Ana (Org.). **Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso**. São Paulo: Outras Expressões, 2013.
- ARAÚJO, Elienê Pontes de; TELES, Mércia Gabriely Linhares; LAGO, Willinielsen Jackieline Santos. **Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, Natal. v. 02, p. 4631-4638, 2009 Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.07.25/doc/4631-4638.pdf>> Acesso em: 19 nov. 2017.
- ARAÚJO, Ronaldo Rodrigues *et al.* **Clima e vulnerabilidade socioespacial: uma avaliação dos fatores de risco na saúde da população urbana do município de São Luís (MA)**. 2014. 290 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Unesp, Presidente Prudente (SP), 2014.
- ARAÚJO, Ronaldo Rodrigues; RANGEL, Maurício Eduardo Salgado. **O uso de técnicas de sensoriamento remoto para mapeamento de zonas de (des) conforto térmico na área urbana do município de São Luís (MA)**. In: V Simpósio Nacional de Geografia da Saúde. Recife, 2011.
- ARAÚJO, Sidney Rocha de *et al.* **As Funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos**. 2007. 28 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia dos trópicos**. 7 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.
- BARBOSA, R. V. R. **Áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos: estudo em microclimas de Maceió (AL)**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- Batistella, Mateus; BOLFE, Édson Luis; VICENTE, Luiz Eduardo; VICTÓRIA, Daniel de Castro; ARAÚJO, Luciana Spinelli (org.). **Relatório do diagnóstico do Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão**. v. 2, Campinas (SP): EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2013.

- BERTALANFY, Ludwig von. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis (RJ): Vozes, 1973.
- BERTRAND, Georges. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Rev. RA'E GA. Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.
- COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. **Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações**. Rev. Geográfica Acadêmica, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.
- CONTI, José Bueno. Considerações sobre mudanças climáticas globais. In: SANT'ANNA NETO, João Lima; ZAVATINI, João Afonso (Org.). **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá (PR): EDUEM, 2000.
- CORDEIRO, Eduardo Celestino; DINIZ, Juarez Soares. **Região Metropolitana da Grande São Luís: além da retórica municipalista, o que serve como entrave para sua "efetivação"?** In ZANNONI, Claudio (Org.). Anais do VII Encontro Humanístico. São Luís: EDUFMA, 2008.
- DANTAS, Marcelo Eduardo; ARMESTO, Regina Célia Gimenez; ADAMY, Amílcar. Origem das paisagens. In: SILVA, Cássio Roberto da (Org.). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.
- DIAS, Luiz Jorge Bezerra. **Proposta metodológica de zoneamento ambiental aplicada ao município de Anajatuba (MA)**. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas). Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2006.
- DIAS, Luiz Jorge Bezerra; NOGUEIRA JÚNIOR, João de Deus Matos. **Contribuição às análises da problemática ambiental da Ilha do Maranhão**. Rev. Ciências Humanas em Revista. São Luís, v. 3, n. 2, p. 127-144, dez. 2005.
- DIAS, Luiz Jorge Bezerra; PINHEIRO JÚNIOR, José de Ribamar. **Estudo hidrológico de travessia – substituição de travessia sobre curso d'água intermitente no município de Senador Alexandre Costa (MA) - Relatório Técnico**. São Luís: Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) / Consórcio BT-PN-3 (Bacia do Parnaíba), 2013.
- DIAS, Luiz Jorge Bezerra; PORTELA, Anny Karolyny Oliveira; COSTA, Allana Pereira. **Contribuições à compreensão da Geomorfologia da Região Metropolitana da Grande São Luís (RMGSL), Maranhão**. São Luís: Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC), 2018.
- FELÍCIO, Ricardo Augusto. **"Mudanças climáticas" e "aquecimento global" – nova formatação e paradigma para o pensamento contemporâneo?** Rev. Ciência e Natureza, Santa Maria, v. 36, p. 257–266, Ed. Especial, 2014.
- FERNANDES, Afrânio. **Fitogeografia Brasileira**. 2 ed. Fortaleza: Multigraf, 2000. 341 p.
- FERREIRA, A. J. A.; VIEIRA, E. W.; MUNIZ, G. P. S.; SANTOS, K. F. L.; ROCHA, P. N. **Diagnóstico socioeconômico da APA de Upaon-Açu/Miritiba/Alto Preguiças, Maranhão, Brasil**. 2014.

- FUJIMOTO, N. S. V. M. Alterações ambientais na região metropolitana de Porto Alegre-RS: um estudo geográfico com ênfase na Geomorfologia urbana. (Org.). NUNES, J. O. R; ROCHA, P. C. **Geomorfologias: aplicação e metodologias**. São Paulo: Expressão Popular, 2008.
- GANHO, N. **O clima urbano de Coimbra: estudo de climatologia local aplicada ao ordenamento urbano**. Dissertação de Doutorado, Instituto de Estudos Geográficos, Universidade de Coimbra, 551 p. 1998.
- GARRISON, Tom. **Fundamentos de Oceanografia**. 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.
- GARTLAND, Lisa. **Ilhas De Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- GONÇALVES, N. M. S. Os impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. de F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.
- HOGAN, Daniel Joseph; MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo; OJIMA, Ricardo. **População e ambiente: desafios à sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2010. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5., 2014, Belo Horizonte. Congresso. Belo Horizonte: Ibeas, 2014.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. 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: 21 nov. 2017.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: **catálogo de imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 18 out. 2021.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2 ed. Traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São Paulo, Parêntese, 2009.
- \_\_\_\_\_. **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 (SP): Alínea, 2015.
- \_\_\_\_\_. **Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura**. Rev. Geosul, Florianópolis, n. 9, p. 61-79, 1990.
- \_\_\_\_\_. **Avaliação de impactos ambientais associados à erosão e ao assoreamento na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim (MA) – relatório técnico**. Florianópolis: MPB Engenharia, 2015.
- \_\_\_\_\_. **Avaliação socioambiental integrada de áreas sujeitas a alagamentos na Bacia Hidrográfica do Bacanga (São Luís – MA)**. Florianópolis: MPB Engenharia, 2014.
- \_\_\_\_\_. Bases conceituais e papel do conhecimento na previsão de impactos. In: MÜLLER-PLANTENBERG, Clarita; AB’SÁBER, Aziz Nacib (Org.). **Previsão de impactos: o estudo de impacto ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, Rússia e Alemanha**. 2 ed. São Paulo: EDUSP, 2006.

KRUGER, E. L. **Impacto do adensamento e da orientação solar de cânions urbanos na demanda por condicionamento térmico de edificações sob condições de clima desértico.** 2008.

LIMA, Francinilda Bezerra de; DIAS, Luiz Jorge B. **Parâmetros meteorológico-climáticos da Zona Urbana de Imperatriz (MA) entre janeiro de 1961 e dezembro de 2013: subsídios estatísticos ao planejamento e ordenamento territorial.** Relatório Final de Iniciação Científica. Imperatriz: UEMA/FAPEMA, 2015.

LOMBARDO, M. A. **Ilhas de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo.** São Paulo: Hucitec, 1985.

MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo. **As escalas da vulnerabilidade e as cidades: interações trans e multiescalares entre vulnerabilidade e mudança climática.** In: OJIMA, Ricardo; MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo (Org.). *Mudanças climáticas e as cidades: novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana e social.* São Paulo: Blucher, 2013.

MARANHÃO (Estado). **Macrozoneamento do Golfão Maranhense: diagnóstico ambiental da Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário.** São Luís: SEMA/MMA/PNMA, 1998.

MARQUES, Válder José. **Zonificação ambiental do Estado do Maranhão utilizando os geossistemas como categoria geográfica de análise.** Universidade Federal do Pará. Mestrado em Geografia (Dissertação de Mestrado). 196p. Belém, 2016.

MASULLO, Yata Anderson Gonzaga *et al.* **Geoprocessamento Aplicado a Análise do Avanço do Processo de Urbanização e seus Impactos Ambientais na Ilha do Maranhão.** V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Belo Horizonte, 24-27 nov. 2014. Disponível em: <chromeextension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.ibeas.org.br%2Fcongresso%2FTrabalhos2014%2FXI078.pdf&clen=1289348&chunk=true> Acesso em: 15 jun. 2021.

MENDONÇA, F. **O estudo do clima urbano no Brasil: evolução, tendências e alguns desafios.** In: MONTEIRO, C. A. F; MENDONÇA, F. (Org.). *Clima Urbano.* São Paulo: Contexto, 2011.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero. **Alarme falso: o mundo não está em ebulição!** In: VEIGA, José Eli da (Org.). **O imbróglio do clima: ciência, política e economia.** São Paulo: SENAC, p. 73-101, 2014.

\_\_\_\_\_. **Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico.** Florianópolis: UFSC, 1991.

\_\_\_\_\_. **Necessidades de articulações de políticas públicas orientadas à Região das Matas de Cocais no Estado do Maranhão.** São Luís: SEMA-MA (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais), 2008.

\_\_\_\_\_. **Relatório Ambiental Simplificado do conjunto de obras de “recuperação da macrodrenagem do canal do Rio das Bicas/Salinas-Sacavém, em São Luís (MA)”**. São Luís: Prefeitura Municipal de São Luís/Secretaria Municipal Extraordinária de Projetos Especiais (PMSL/SEMPE), 2012.

MONTEIRO, C. A. F; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Análise rítmica em Climatologia**. Rev. Climatologia, São Paulo, n. 1, 1971.

NAKAMURA, Y.; OKE, T. R. Wind, *temperature, and stability conditions in an east-west oriented urban canyon*. Atmospheric Environment, v. 22, n. 12, p. 2691-2700, 1988.

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

OKE, Tim. R. **Boundary layer climates**. London (UK): Routledge, 1987.

OKE, Tim R. **Boundary layer climates**. 2 ed. New York (EUA): Routledge, 2009.

OLIVEIRA, Sônia Maria Barros de. Base científica para a compreensão do aquecimento global. In: VEIGA, José Eli da (Org.). **Aquecimento global: frias contendas científicas**. São Paulo: SENAC, 2008.

PEREIRA, Ediléa Dutra; ZAINÉ, José Eduardo. **Mapa geológico-geotécnico da Bacia do Rio Bacanga – São Luís (MA)**. Geociências. São Paulo, UNESP, v. 26, n. 1, p. 45-54. 2007.

PEREIRA, Mário Jorge. **Meio ambiente e tecnologia**. Rio de Janeiro: Rev. Ciência Moderna, 2010.

PINHEIRO JÚNIOR, José Ribamar; DIAS, Luiz Jorge B.; PINHEIRO, Anderson Corrêa. **Plano de Reassentamento para a Bacia do Bacanga: proposta para indicação e mapeamento de áreas de reassentamento involuntário de população em situação de risco**. Florianópolis: MPB Engenharia, 2017.

QIN, Z., Karnieli, A. *A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from LANDSAT TM data and its application to the Israel-Egypt border region*. International Journal of Remote Sensing, v. 22, n. 18, p. 3719–3746, 2001.

RAMOS, Andréa Malheiros; SANTOS, Luiz André Rodrigues dos; FORTES, Lauro Tadeu Guimarães (orgs.). **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília: INMET, 2009.

RIBEIRO, Antonio Giacomini. **As escalas do clima**. Rev. Boletim de Geografia Teorética, Rio Claro, v. 23, n. 45-46, p. 288-294, 1993.

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.

SANTOS, Felipe Almeida dos; SILVA, Clara Ribeiro. **O aquecimento global como novo fundamentalismo econômico: reflexões sobre o discurso aquecimentista**. Rev. Lúmen, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 43-58, 2016.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: Técnica e tempo. Razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

SAYAGO, Doris; PINTO, Mariana Oliveira. **Plano Diretor: instrumento de política urbana e gestão ambiental**. VI Encontro Nacional da ECOECO, Brasília, 2005.

SOTCHAVA, Viktor B. **O estudo dos geossistemas**. Métodos em Questão, n. 16. São Paulo: IGEOG, 1977.

SOUZA, M. L.; RODRIGUES, G. B. **Planejamento urbano e ativismos sociais**. São Paulo: UNESP, 2004.

\_\_\_\_\_. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEO/USP, 1976.

\_\_\_\_\_. **Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos**. In: MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco (orgs.). *Clima urbano*. São Paulo: Contexto, 2003.

\_\_\_\_\_. **Termo de Referência para contratação do Plano Municipal de controle de mudanças climáticas e proteção à geobiodiversidade de São Luís (MA)**. São Luís: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2016

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira; MARQUES NETO, Roberto; MACHADO, Pedro José de Oliveira; **Introdução à geomorfologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

USGS. **Serviço Geológico dos Estados Unidos: Earth explorer**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 18 de out. 2021.

WANG, W.; Zhu, L.; WANG, R. **An analysis on spatial variation of urban human thermal comfort in Hangzhou**. China. Journal of Environmental Sciences, v. 16, n. 2, p. 332-338, 2004

WENG, Q. **Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, n. 64, p. 335-344, 2009.

ZAVATINI, João Afonso; BOIN, Marcos Norberto. **Climatologia geográfica: teoria e prática de pesquisa**. Campinas: Alínea, 2013.