

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA**

**JUAREZ MOTA PINHEIRO**

**CLIMA URBANO DA CIDADE DE SÃO LUÍS DO MARANHÃO**

Versão corrigida  
**São Paulo**  
**2018**

**JUAREZ MOTA PINHEIRO**

**CLIMA URBANO DA CIDADE DE SÃO LUÍS DO MARANHÃO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências – Geografia (Geografia Física).

Orientador: Prof. Dr. Luís Antônio Bittar Venturi  
Coorientador: Prof. Dr. Emerson Galvani

Versão corrigida  
São Paulo  
2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação  
Serviço de Biblioteca e Documentação  
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

P645c Pinheiro, Juarez Mota  
Clima Urbano da Cidade de São Luís do Maranhão /  
Juarez Mota Pinheiro ; orientador Luís Antonio Bittar  
Venturi. - São Paulo, 2018.  
242 f.

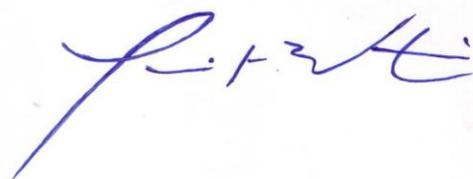
Tese (Doutorado)- Faculdade de Filosofia, Letras  
e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.  
Departamento de Geografia. Área de concentração:  
Geografia Física.

1. São Luís. 2. Clima Urbano. 3. Sistema Clima  
Urbano - SCU. 4. Vento. I. Venturi, Luís Antonio  
Bittar, orient. II. Título.

**ENTREGA DO EXEMPLAR CORRIGIDO DA DISSERTAÇÃO/TESE****Termo de Ciência e Concordância do (a) orientador (a)****Nome do (a) aluno (a): JUAREZ MOTA PINHEIRO****Data da defesa: 14/09/2018****Nome do Prof. (a) orientador (a): LUIS ANTONIO BITTAR VENTURI**

Nos termos da legislação vigente, declaro **ESTAR CIENTE** do conteúdo deste **EXEMPLAR CORRIGIDO** elaborado em atenção às sugestões dos membros da comissão Julgadora na sessão de defesa do trabalho, manifestando-me **plenamente favorável** ao seu encaminhamento e publicação no **Portal Digital de Teses da USP**.

São Paulo, 06/02/2018



---

(Assinatura do (a) orientador (a))

PINHEIRO, Juarez Mota. **Clima urbano da cidade de São Luís do Maranhão**. Tese (Doutorado) apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de “Doutor em Ciências” Geografia (Geografia Física).

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luís Antônio Bittar Venturi

Instituição: FFLCH/USP

Julgamento \_\_\_\_\_ Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. José Bueno Conti

Instituição: FFLCH/USP

Julgamento \_\_\_\_\_ Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Antônio Cordeiro Feitosa

Instituição: UFMA

Julgamento \_\_\_\_\_ Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Gustavo Armani

Instituição: IG/SMA

Julgamento \_\_\_\_\_ Assinatura \_\_\_\_\_

Dedico este trabalho a minha esposa Maria Iranilde com amor e gratidão por seu apoio, carinho e presença ao longo do período de elaboração desta tese e as minhas filhas Gabriela e Maria Valentina.

Aos meus queridos pais Juarez José Pinheiro e Genésia Motta Pinheiro.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luís Antônio Bittar Venturi pela orientação e coragem em aceitar o desafio de participar do processo de construção desta tese mesmo não sendo o foco principal de suas pesquisas. Meu muito obrigado pela amizade conquistada.

Ao Prof. Dr. Emerson Galvani pelo altruísmo em participar desta empreitada que pelas suas orientações promoveram além do meu crescimento científico e intelectual o aprimoramento na realização dos trabalhos da tese. Amizade construída que levo para minha vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro de concessão da bolsa PRODOUTORAL, fundamental para a realização desta pesquisa.

À Universidade Federal do Maranhão e ao Departamento de Geociências pela oportunidade e apoio na realização do doutoramento em outro estado.

À Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, pela oportunidade de realização do curso.

Às amizades construídas em São Paulo, principalmente a Rogério Rozolen Alves técnico do Laboratório de Climatologia e Biogeografia da USP.

Ao amigo e Professor do Departamento de Geociências Maurício Eduardo Salgado Rangel, pelo apoio na realização dos mapas temais e pela amizade construída desde o tempo que realizamos a graduação em Geografia juntos na UFMA.

Aos colegas Professores do Departamento de Geociências Marcelino Silva Farias Filho, Zulimar Márita Ribeiro Rodrigues, Maria da Glória Rocha Ferreira, Juarez Soares Diniz, Antônio Cordeiro Feitosa, Ronaldo Rodrigues Araújo, Roberta Maria Batista de Figueiredo Lima e Marcio José Celeri.

Ao 24º Batalhão de Infantaria de Selva – Batalhão Barão de Caxias, nas pessoas do 1º Ten. Simão Souza Ferreira e 2º Sgtº Waltervir Mourta Matos por permitirem a instalação da estação meteorológica no Círculo Militar para a realização das várias coletas de dados ao longo de dois anos.

À senhora Aline Carvalho do Nascimento diretora da Biblioteca Pública Benedito Leite, por permitir a instalação dos equipamentos utilizados na pesquisa dentro das instalações da biblioteca.

Ao Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais (NEPA) do Departamento de Geociências da UFMA por ter cedido gentilmente a Estação Meteorológica Portátil utilizada na pesquisa, sem a qual não se poderiam alcançar os resultados obtidos.

*Quando eu for, um dia desses,  
Poeira ou folha levada  
No vento da madrugada,  
Serei um pouco do nada  
Invisível, delicioso*

*Que faz com que o teu ar  
Pareça mais um olhar,  
Suave mistério amoroso,  
Cidade de meu andar  
(Deste já tão longo andar!)*

*E talvez de meu repouso...*

Mario Quintana

## RESUMO

PINHEIRO, Juarez Mota. **Clima Urbano da Cidade de São Luís do Maranhão**. 2018. 242f. Tese de doutoramento (Programa de Pós-Graduação em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

A cidade de São Luís é a capital do Estado do Maranhão e encontra-se na Região Nordeste do Brasil, seu crescimento urbano tem se mostrado exponencial e isto está afetando diretamente as trocas de energia que determinam o seu clima. Com objetivo de compreender a dinâmica do seu clima urbano e, apoiado nas concepções da interação existente entre a atmosfera e a superfície de morfologia urbanizada, utilizou-se da proposta metodológica Sistema Clima Urbano (SCU), de Monteiro (1975), aplicando todos os canais de percepção dos subsistemas propostos: físico-químico (qualidade do ar), hidrometeorológico (impacto meteórico), termodinâmico (conforto térmico), acrescido com a incorporação do vento. Com o uso da metodologia foi possível confirmar os níveis de influência que o vento e a urbanização têm exercido na configuração da dinâmica climática da cidade. A pesquisa chegou a resultados que, além de demonstrar a viabilidade da aplicação metodológica SCU, identificaram que os níveis de poluição atmosférica na cidade de São Luís estão, em grande parte, em patamares aceitáveis, isto é, dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90, cuja única exceção é na zona portuária da cidade com baixo impacto de repercussão no restante da cidade. Constatou-se também que a distribuição espaço-temporal das chuvas em São Luís e na Ilha do Maranhão apresenta variabilidade significativa e que os ventos em associação com a urbanização estão influenciando na dinâmica hidrometeorológica determinando volumes de chuvas maiores em parte de sua faixa litorânea e na distribuição espacial que acompanha a direção do vento. Também foi possível concluir que os valores de temperatura do ar, além dos seus níveis de conforto térmico na cidade, estão sofrendo alterações negativas em função da urbanização crescente, com o surgimento de prédios cada vez mais altos, principalmente na orla litorânea da cidade, afetando a penetração dos ventos que são predominantes de direção NE – ENE (nordeste – lés-nordeste), e que estão influenciando nas diferenças térmicas entre a parte central da cidade e sua faixa litorânea e, por conseguinte, no seu conforto térmico humano que se apresenta muito mais negativo no centro da cidade do que na faixa litorânea. O vento apresentou-se como elemento atmosférico preponderante na dinâmica climática da cidade de São Luís do Maranhão.

Palavras Chave: São Luís. Clima Urbano. SCU. Vento.

## ABSTRACT

PINHEIRO, Juarez Mota. **Urban Climate of the City of São Luís do Maranhão**. 2018. 242f. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

The city of São Luis is the capital of the state Maranhão and its found at the Northeast Region in Brazil, its urban growth has showed exponential and this is affecting directly the energy exchanges wich affect its weather. With the goal of understand the dynamics of its urban weather and, suported in the conceptions of interrelations between atmosphere surface of urbanized morphology, it was used the methodological proposal Urban Climate System (SCU), by Monteiro (1975), aplying perceptions chanel of the proposed subsystems: physico-chemical (quality of air), hydro-meteoric (meteoric impact), thermodynamic (termic confort), added to the incorporation of the wind . With the use of methodology was possible to confirm the levels of influence that the wind and the urbanizaton have exercise in the configuration of climate dynamics in the city. The search found results that, beyond demonstrate the feasibility of methodological aplication SCU, identify the levels of atmosphereric pollution in the city of São Luís are, in the most, in acceptable levels, that is, inside the settle padrons by resolution CONAMA 03/90, wich the only exception is at the port region in the city with low impact of repercussion in the rest os the city. It was also found that the spatio-temporal distribution of the rains in São Luís and in the island of Maranhão it shows significant viability and the winds in association with the urbanization are influencing in the hydro-meteoric dynamics determining volumes of biggest rains in part of its coastal strip and in the spacial distribution that follow the wind Direction. It was also possible to conclude that the values of air temperature, beyond the levels of termal comfortin the city, are suffering negative alterations in fuction of crescent urbanization, with the appearance of higher buildings, mainly in the coastal strip, affecting the penetration of winds that are predominantly of directions NE-ENE (northeast – les-northwest), and that are influencing in thermal differences between the central parto of the city and its coastal strip and, consequently, in its thermal human confort that present much more negative in the central of city than in the coastal strip. The wind is the atmospheric element preponderant in the clamatic dynamics at the city of São Luís, Maranhão.

Keywords: São Luís. Urban Climate. SCU. Wind.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura do Urban Boundary Layer (UBL) e Urban Canopy Layer (UCL).....	32
Figura 2 - Estrutura metodológica do UCMMap (Urban Climate Maps).....	35
Figura 3 - Vista lateral da trajetória de um balão meteorológico lançado na hora local, às 09h em 12 de agosto de 1967 em Chicago/EUA no Lago Michigan. Os dados coletados pelo balão foram realizados a cada 15 minutos (09h – 09h15min – 09h30min ...).	45
Figura 4 - Estrutura metodológica para a geração da análise do potencial térmico e dinâmico do clima urbano utilizando-se do UCMMap.....	51
Figura 5 - Estrutura da Camada Limite Atmosférica (CLA) em condições de estabilidade neutra. ....	53
Figura 6 - Esquema da camada limite urbano .....	54
Figura 7 - Movimento predominante do ar durante o dia (brisa marítima) (A), e durante a noite (brisa terrestre) (B). (C) e (D) circulação e distribuição da pressão em brisa terrestre à noite e durante tempo anticiclônico. ....	57
Figura 8 - Desvios típicos do fluxo de ar em superfície decorrentes da passagem de superfícies pouco rugosas para rugosas e vice-versa (a) (b). As setas indicam a direção do fluxo de superfície, enquanto as setas em branco indicam o vento de gradiente ( $U_g$ ).	58
Figura 9 - Desvios típicos do fluxo de ar em formas paralelas de terras e mares (c) (d). As setas indicam a direção do fluxo de superfície, enquanto as setas em branco indicam o vento de gradiente ( $U_g$ ). ....	59
Figura 10 - Fluxos de típicos em torno de relevos isolados em topografia moderada (declives inferiores $17^\circ$ ). As setas indicam ação do fluxo, os pontos cheios mostram as áreas onde ocorre velocidade média máxima e os pontos brancos onde é mínima. ....	60
Figura 11 - Fluxos de ar típicos em torno de relevos isolados com declives superiores a $17^\circ$ . As setas indicam a direção do fluxo. ....	61
Figura 12 Desenho produzido por Leonardo da Vinci em que procura representar graficamente o escoamento do vento em torno de um obstáculo. ....	62
Figura 13 - Movimentos típicos do fluxo de ar normal em um obstáculo (1A – 2B) .....	62
Figura 14 - Perfil do vento e fluxos de deslocamento frente a um obstáculo.....	63
Figura 15 - Comportamento do vento frente a obstáculos geométricos diferentes. ....	64
Figura 16 - Zonas de velocidade do vento ao nível do solo, resultante da combinação de elementos urbanos com características volumétricas distintas. ....	65

Figura 17- Representação do campo de escoamento do vento em torno de uma forma prismática.....	66
Figura 18 - Redução da velocidade do vento e da pressão em ambientes urbanos adensados.	67
Figura 19 - Cenários dos efeitos do vento em torno do conjunto de edificações .....	68
Figura 20 - Gradiente do vento para diferentes áreas .....	70
Figura 21- Perfis típicos do vento em condições atmosféricas de estabilidade sobre a superfície.....	70
Figura 22 - Rosa dos Ventos (a) e Histograma (b) das classes de velocidade do vento (m/s) (Wind Speed) da Estação Meteorológica no Aeroporto Mal. Hugo da Cunha Machado (Aeronáutica) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016. ....	106
Figura 23 - Rosa dos Ventos (a) e Histograma (b) das classes de velocidade do vento (m/s) da Estação APA do Itapiracó (INMET) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016. ....	107
Figura 24 - Rosa dos Ventos (a) e Histograma (b) das classes de velocidade do vento (m/s) da Estação Ponta da Madeira (VALE) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016. ....	108
Figura 25 - Rosa dos ventos da estação Aeroporto para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016 na condição sazonal chuvosa (janeiro a junho) e seca ou de estiagem (julho a dezembro). ....	111
Figura 26 - Rosa dos Ventos da Estação APA do Itapiracó (INMET) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016 na condição sazonal chuvosa (janeiro a junho) e seca ou de estiagem (julho a dezembro). ....	113
Figura 27 - Rosa dos Ventos da Estação Ponta da Madeira (VALE) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016 na condição sazonal chuvosa (janeiro a junho) e seca ou de estiagem (julho a dezembro). ....	115
Figura 28 - Rosa dos Ventos cíclicas diários do vento para o período de 2012 a 2016 da Estação Aeroporto (Aeronáutica). ....	118
Figura 29 - Rosa dos Ventos de ciclos diários para o período de 2012 a 2016 na Estação APA do Itapiracó (INMET). ....	119
Figura 30 – Rosa dos Ventos de ciclos diários no período de 2012 a 2016 na Estação Ponta da Madeira (VALE).....	121
Figura 31 - Software RayMan Pro Version2.1. ....	203
Figura 32 - Índice de resistência térmica para vestimentas - CLO: Unidade de medição da resistência térmica da roupa. (1 clo = 0.155m <sup>2</sup> C°/W) .....	205

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Unidades Climáticas Urbanas da cidade de São Paulo.....	48
Mapa 2 - Recomendações ao planejamento cidade de Hong Kong. ....	52
Mapa 3 - Localização de São Luís - MA e de sua zona urbana.....	87
Mapa 4 - Hipsometria da Ilha do Maranhão .....	93
Mapa 5 - Fitogeografia da Ilha do Maranhão.....	93
Mapa 6 - Ventos predominantes no nordeste brasileiro e interior – em destaque o estado do Maranhão .....	101
Mapa 7 - Normal Climatológica da direção e velocidade do vento no Maranhão (1960-1991).....	102
Mapa 8 - Localização espacial das estações que forneceram os dados de direção e velocidade do vento, com registros horários. ....	103
Mapa 9 - Localização das Redes Automáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar - RAMQA em São Luís – MA. ....	128
Mapa 10 - Localização das estações meteorológicas e postos pluviométricos.....	142
Mapa 11 - Distribuição pluviométrica total ocorrida nos anos de 2016 e 2017 na Ilha do Maranhão .....	151
Mapa 12 - Distribuição da totalidade pluviométrica ocorrida nos anos de 2016 e 2017 na Ilha do Maranhão .....	152
Mapa 13 - Distribuição pluviométrica total ocorrida nos anos de 2016 e 2017 na Zona Urbana de São Luís.....	153
Mapa 14 - Distribuição da totalidade pluviométrica ocorrida nos anos de 2016 e 2017 na Zona Urbana de São Luís. ....	154
Mapa 15 - Imagens termais do município de São Luís para os anos de 2015, 2016 e 2017. ....	161
Mapa 16 - Imagens termais do município de São Luís nos anos de 2015, 2016 e 2017 com destaque o eixo por onde passa a rodovia BR135. ....	162
Mapa 17 - Imagens termais do município de São Luís nos anos de 2015, 2016 e 2017 com destaque do eixo de identificado de maior temperatura dentro da zona urbana. .	162
Mapa 18 - Imagens termais do município de São Luís nos anos de 2015, 2016 e 2017 com recortes da temperatura entre a zona urbana e a zona rural de São Luís.....	163
Mapa 19 - Traçado dos transectos móveis e localização das estações meteorológicas fixas dentro da zona urbana de São Luís - MA .....	165

Mapa 20 - Distribuição espacial geográfica da temperatura na zona urbana de São Luís nos dias de realização das campanhas de coleta de dados de todos os transectos. ....	188
Mapa 21 - Distribuição espacial geográfica da umidade relativa do ar da zona urbana de São Luís nos dias de realização das campanhas de coleta de dados de todos os transectos. ....	190
Mapa 22 - Campo térmico da cidade de São Luís .....	191
Mapa 23 - Campo higrométrico da cidade de São Luís .....	193
Mapa 24 - Localização dos pontos de coleta de dados da estação meteorológica portátil.....	200

## LISTA DE FOTOS

Foto 1 -	Miniabrigo meteorológico TAR desenvolvido pelo Prof. Tarifa .....	40
Foto 2 -	Miniabrigo meteorológico ABC .....	41
Foto 3 -	Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT) ou DRONE.....	45
Foto 4 -	Foto da estação meteorológica portátil - Marca Onset-Hobo.....	78
Foto 5 -	Foto do globo cinza utilizado para a geração da temperatura radiante média.....	79
Foto 6 -	Termohigrômetro digital protegido por solar shield.....	80
Foto 7 -	Praia da Ponta D'Áreia, orla litorânea de São Luís. ....	84
Foto 8 -	Ocorrência de uma Tromba D'água no dia 25/03/2017 na praia de São Marcos, São Luís (MA). ....	100
Foto 9 -	Fotos de algumas das estações da Rede Automática de Monitoramento de Qualidade do Ar – RAMQA instaladas em São Luís. ....	125
Foto 10 -	Fotos do equipamento instalado no veículo automotivo para a realização dos transectos .....	166
Foto 11 -	Fotos e imagem aérea da Biblioteca Pública Benedito Leite, São Luís – MA....	201
Foto 12 -	Fotos e imagem aérea do Círculo Militar de São Luís – MA.....	202

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo do valor real e valor identificado na calibração termômetro de globo .....	80
Gráfico 2 Comparativo do valor real e valor identificado na calibração da temperatura registrada no termohigrômetro. ....	81
Gráfico 3 Comparativo do valor real e valor identificado na calibração da umidade do ar registrada no termohigrômetro. ....	82
Gráfico 4 - Evolução populacional de São Luís – MA (1970 – 2015) - Os valores do ano de 2017 são estimativas produzidas pelo IBGE. ....	86
Gráfico 5- Normal Climatológica (1981-2010) para São Luís – MA.....	91
Gráfico 6 - Radiação solar incidente no topo da atmosfera para a latitude de São Luís – MA	92
Gráfico 7 - Normal Climatológica (1981-2010) da intensidade dos ventos em São Luís .....	95
Gráfico 8 - Histogramas (%) de intensidade dos ventos (m/s) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016 da Estação Aeroporto (Aeronáutica) em suas características de sazonalidade de Estação Chuvosa (janeiro a junho) e Estação Seca ou de estiagem (julho a dezembro). ....	112
Gráfico 9 - Histogramas (%) de intensidade dos ventos (m/s) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016 da Estação APA Itapiracó (INMET) em suas características de sazonalidade de Estação Seca ou de estiagem (janeiro a junho) e Estação Chuvosa (julho a dezembro). ....	113
Gráfico 10 Histogramas (%) de intensidade dos ventos (m/s) para o período de 01/01/2013 a 31/12/2016 da Estação APA Itapiracó (INMET) em suas características de sazonalidade de Estação Chuvosa (janeiro a junho) e Estação Seca ou de estiagem (julho a dezembro). ....	115
Gráfico 11 Histogramas (%) dos cíclicos diurno (06h – 18h) e noturno (18h – 06h) dos ventos para o período de 2012 a 2016 da Estação Aeroporto (Aeronáutica). ....	118
Gráfico 12 Histogramas (%) dos cíclicos diurno (06h – 18h) e noturno (18h – 06h) dos ventos para o período de 2012 a 2016 da Estação APA do Itapiracó (INMET). ....	120
Gráfico 13 Histogramas (%) cíclicos diário dos ventos para o período de 2013 a 2016 da Estação Ponta da Madeira (VALE). ....	121
Gráfico 14 Média anual das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar em São Luís para Partículas Totais em Suspensão PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) em comparação com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 3/90 - ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no período de 2013 a 2016. ....	129

Gráfico 15 Média anual das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar em São Luís para Partículas Inaláveis (<math><10\mu\text{m}^3</math>) em comparação com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 3/90 - (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no período de 2013 a 2016.....	130
Gráfico 16 Valores diários das concentrações de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2013.....	132
Gráfico 17 Valores diários das concentrações de Partículas Inaláveis (<math><10\mu\text{m}^3</math>) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2013.....	133
Gráfico 18 Valores diários das concentrações de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2014.....	134
Gráfico 19 - Valores diários das concentrações de Partículas Inaláveis (<math><10\mu\text{m}^3</math>) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2014.....	134
Gráfico 20 - Valores diários das concentrações de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2015.....	135
Gráfico 21 - Valores diários das concentrações de Partículas Inaláveis (<math><10\mu\text{m}^3</math>) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2015.....	136
Gráfico 22 - Valores diários das concentrações de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2016.....	136
Gráfico 23 - Valores diários das concentrações de Partículas Inaláveis (<math><10\mu\text{m}^3</math>) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2015.....	137
Gráfico 24 - Média mensal dos valores registrados nas Estações de Monitoramento do Ar em São Luís (2013 a 2016) para os parâmetros de concentração de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e Partículas Inaláveis (<math><10\mu\text{m}^3</math>).....	138
Gráfico 25 - Normal Climatológica (1961-1990) da precipitação acumulada mensal e anual (mm) no município de São Luís. ....	141

Gráfico 26 - Total pluviométrico registrado em todas as estações e postos para os anos de 2016 e 2017.....	144
Gráfico 27 - Total pluviométrico anual 2016 e 2017 registrado em todas as estações e postos dentro da Ilha do Maranhão .....	145
Gráfico 28 - Desvio Padrão Médio dos totais pluviométricos dos anos de 2016 e 2017 das estações e postos dentro da Zona Urbana de São Luís. ....	146
Gráfico 29 - Distribuição do volume pluviométrico a cada 6 horas nos anos de 2016 e 2017 nas estações e postos dentro da Zona Urbana de São Luís. ....	147
Gráfico 30 - Porcentagem da distribuição pluviométrica dos anos de 2016 e 2017 a cada 6 horas nas estações dentro da Zona Urbana de São Luís .....	148
Gráfico 31 - Temperatura média horária no intervalo dos anos de 1986 a 2016 na estação Aeroporto. ....	157
Gráfico 32 - Valores de temperatura do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no transecto A, de todas as campanhas. ....	172
Gráfico 33 - Valores de umidade relativa do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no perfil transecto A, em todas as campanhas. ....	173
Gráfico 34 - Média dos valores de temperatura do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no transecto A, de todas as campanhas...	174
Gráfico 35 - Média dos valores de umidade relativa do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no transecto A de todas as campanhas....	175
Gráfico 36 - Valores temperatura do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no transecto B, em todas as campanhas. ....	178
Gráfico 37 - Valores de umidade relativa do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no perfil transecto B, em todas as campanhas.....	179
Gráfico 38 - Média dos valores de temperatura do ar e locais de destaque durante a coleta de dados no perfil transecto B, de todas as campanhas. ....	180
Gráfico 39- Média dos valores de umidade relativa do ar e locais de destaque durante a coleta de dados no perfil transecto B, de todas as campanhas. ....	181
Gráfico 40 - Características de urbanização e cobertura vegetal do transecto C .....	182
Gráfico 41 - Valores temperatura do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no transecto C, em todas as campanhas .....	184
Gráfico 42 - Valores de umidade relativa do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no perfil transecto B, em todas as campanhas.....	185
Gráfico 43 - Média dos valores de temperatura do ar e locais de destaque durante a coleta de dados no transecto C, de todas as campanhas.....	186

Gráfico 44 - Média dos valores de umidade relativa do ar e locais de destaque durante a coleta de dados no transecto C, de todas as campanhas.....	187
Gráfico 45 - Gráfico de distribuição das faixas de conforto térmico do índice PET (C°) identificados para os bairros do Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 21/03/2016 e Litorânea (Círculo Militar) no dia 22/03/2016. ....	206
Gráfico 46 - Gráfico de Velocidade do vento registrado nos dias dos experimentos da campanha 1 .....	207
Gráfico 47 - Gráfico de distribuição das faixas de conforto térmico do índice PET (C°) identificados para os bairros do Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 29/06/2016 e Litorânea (Círculo Militar) no dia 30/06/2016. ....	209
Gráfico 48 - Gráfico de Velocidade do vento registrado nos dias dos experimentos da campanha 2 .....	209
Gráfico 49 - Valores de conforto térmico encontrados utilizando-se índice PET para os bairros do Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 20/09/2017 e na Litorânea (Círculo Militar) no dia 21/09/2016.....	211
Gráfico 50 - Velocidade do vento registrado no dia dos experimentos da campanha 3.....	211
Gráfico 51 - Valores de conforto térmico encontrados utilizando-se índice PET para os bairros do Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 24/08/2017 e na Litorânea (Círculo Militar) no dia 25/08/2017.....	213
Gráfico 52 - Velocidade do vento registrado no dia dos experimentos da campanha 4.....	213
Gráfico 53 - Valores de conforto térmico encontrados utilizando-se índice PET para os bairros do Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 25/10/2017 e na Litorânea (Círculo Militar) no dia 26/10/2017.....	215
Gráfico 54 - Velocidade do vento registrado no dia dos experimentos da campanha 5.....	215
Gráfico 55 - Síntese com as médias das condições de conforto térmico humano pelo índice PET °C das cinco campanhas realizadas. ....	217
Gráfico 56 - Gráfico com a média de velocidade do vento registrada nas cinco campanhas realizadas. ....	217

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens no processo de mensuração por meio de pontos fixos ou transectos móveis.....	43
Tabela 2 - Efeitos aerodinâmicos do vento sobre conjuntos de edificações.....	67
Tabela 3 - Apontamentos de aulas do Prof. Carlos A. F. Monteiro.....	75
Tabela 4 - Comparativo do valor real e valor identificado na aferição do termômetro de globo .....	79
Tabela 5 - Comparativo do valor real e valor identificado na calibração da temperatura e da umidade relativa do ar do termohigrômetro. ....	81
Tabela 6 - Evolução populacional do município de São Luís .....	85
Tabela 7 – Coordenadas geográficas das estações que serviram de fonte de dados para a caracterização da velocidade e direção do vento em São Luís. ....	104
Tabela 8 - Balanço do registro de dados utilizados pelo programa WRPLOT 8.0 na geração da Rosa dos ventos e dos Histogramas nas três estações da pesquisa. ....	105
Tabela 9 - Porcentagem dos valores totais de velocidade do vento registrado pelas estações meteorológicas nos anos pesquisados.....	109
Tabela 10 - Velocidade mensal e média do vento registrado pelas estações meteorológicas nos anos pesquisados.....	109
Tabela 11 - Porcentagem de velocidade do ar nos períodos chuvoso (janeiro a junho) e seco ou de estiagem (julho a dezembro) em São Luís, registrados pelas três estações. ....	116
Tabela 12 - Valores de concentração média dos padrões de qualidade do ar para Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Partículas Inaláveis (PI) determinados pela Resolução nº 3/90 - CONAMA. ....	126
Tabela 13 - Localização das coordenadas métricas UTM das Redes Automáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar em São Luís. ....	127
Tabela 14 - Localização das coordenadas geográficas das estações e postos pluviométricas na Ilha do Maranhão. ....	142
Tabela 15 - Maiores volumes horários de intensidade pluviométrica registrada pelas estações e postos dentro da Zona Urbana de São Luís no ano de 2016.....	149
Tabela 16 - Maiores volumes horários de intensidade pluviométrica registrada pelas estações e postos dentro da Zona Urbana de São Luís no ano de 2017.....	149
Tabela 17 - Elementos e valores da formula de conversão para radiância extraídos do metadados da imagem do Landsat-8, banda 10.....	159

Tabela 18 - Elementos e valores da constante de calibração extraídos do metadados da imagem Landsat-8, banda 10.....	159
Tabela 19 - Datas e horários de realização das campanhas de coleta de dados .....	164
Tabela 20 - Índices de resistência térmica para vestimentas utilizadas na pesquisa .....	205
Tabela 21 - Parâmetros fisiológicos utilizados no calculo do índice PET para São Luís - MA .....	205

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrutura do Sistema Clima Urbano – SCU .....	34
Quadro 2 - Estrutura metodológica .....	74
Quadro 3 - Classificação do volume de chuvas horária.....	148
Quadro 4 - Condições atmosféricas nos dias de realização das campanhas de coleta de dados .....	168
Quadro 5 - Características de urbanização e cobertura vegetal do transecto A.....	170
Quadro 6 - Características de urbanização e cobertura vegetal do transecto B .....	176
Quadro 7 - Faixas do Índice PET Universal para diferentes níveis de percepção térmica. ....	197
Quadro 8 - Calibração do índice PET (C°) para a cidade de Salvador - BA .....	199
Quadro 9 - Coordenadas UTM dos pontos de coleta de dados .....	201
Quadro 10 Datas das campanhas de coleta de dados.....	203
Quadro 11 Estados atmosféricos nos dias das campanhas para São Luís .....	204
Quadro 12 Número de horas em cada faixa de condições de conforto identificados na campanha 1. ....	208
Quadro 13 Número de horas em cada faixa das condições de conforto identificados na campanha 2. ....	210
Quadro 14 Número de horas em cada faixa das condições de conforto identificados na campanha 3. ....	212
Quadro 15 Número de horas em cada faixa das condições de conforto identificados na campanha 4. ....	214
Quadro 16 Número de horas em cada faixa das condições de conforto identificados na campanha 4. ....	216
Quadro 17 Síntese com o número de horas em cada faixa das condições de conforto identificados nas cinco campanhas realizadas. ....	218

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

4AS	Miniabrigo Quatro Águas
ABC	Abrigo de Baixo Custo
ALUMAR	Consórcio Alumínio do Maranhão
APA	Área de Proteção Ambiental
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CE	Camada de Ekman
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
CLA	Camada Limite Atmosférica
CLE	Camada Limite Externa
CLU	Camada Limite Urbano
CLO	Índice de resistência térmica para vestimentos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DOL	Distúrbios Ondulatórios de Leste
EMA	Estação meteorológica Automática
EMAP	Empresa Maranhense de administração Portuária
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
ENOS	Oscilação Sul
FIEMA	Federação das Industrias do Maranhão
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCID	Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LI	Linhas de Instabilidade
NEB	Nordeste do Brasil
OL	Ondas de Leste
PET	Physiological Equivalent Temperature
PI	Partículas Inaláveis
PTS	Partículas Totais em Suspensão
RAMQA	Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar
SADMET	Seção de Armazenamento de Dados
SCU	Sistema Clima Urbano
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente
TAR	Miniabrigo Meteorológico
TRM	Temperatura Média Radiante
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UBL	Urban Boundary Layer
UCL	Urban Canopy Layer
UCMap	Urban Climate Maps
VALE	Companhia Vale do Rio Doce S/A
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCA	Zona de Confluência dos Alísios
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>27</b>
1.1	OBJETIVO .....	30
1.2	HIPÓTESE .....	30
<b>2</b>	<b>EMBASAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>31</b>
2.1	ESTUDOS DE CLIMA URBANO .....	31
2.2	MÉTODOS E TÉCNICAS EM PESQUISAS DO CLIMA URBANO .....	38
<b>2.2.1</b>	<b>Abrigos e miniabrigos meteorológicos</b> .....	<b>39</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Transectos móveis</b> .....	<b>42</b>
2.2.2.1	Transectos móveis aéreos .....	44
<b>2.2.3</b>	<b>Sensoriamento remoto</b> .....	<b>46</b>
2.2.3.1	Sensoriamento remoto por fotografias aéreas .....	46
2.2.3.2	Sensoriamento remoto por imagens de satélite .....	47
<b>2.2.4</b>	<b>Técnicas de geoprocessamento em modelização digital</b> .....	<b>49</b>
2.2.4.1	Software ENVI-met .....	50
2.2.4.2	SIG - Sistema de Informação Geográfica / UCMaP (Urban Climate Maps) .....	50
<b>2.3</b>	<b>CAMADAS ATMOSFÉRICAS URBANAS</b> .....	<b>52</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Camada Limite Atmosférica (CLA)</b> .....	<b>52</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Camada Limite Urbano (CLU)</b> .....	<b>54</b>
2.4	ESTUDOS DE VENTILAÇÃO NATURAL .....	55
<b>2.4.1</b>	<b>Efeitos no vento no contato do mar e da terra</b> .....	<b>56</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Efeitos da topografia no vento</b> .....	<b>59</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Efeitos de obstáculos urbanos no vento</b> .....	<b>62</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Efeitos do ambiente urbano no vento</b> .....	<b>69</b>
<b>2.4.5</b>	<b>Importância do vento para o ambiente urbano</b> .....	<b>71</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODOS, TÉCNICAS, MATERIAIS E EQUIPAMENTOS</b> .....	<b>73</b>
3.1	DIAGRAMA METODOLÓGICO .....	73
3.2	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS NA INVESTIGAÇÃO DO CLIMA URBANO DE SÃO LUÍS .....	75
3.3	EQUIPAMENTOS E AFERIÇÃO .....	77
<b>3.3.1</b>	<b>Estação meteorológica portátil</b> .....	<b>77</b>
3.3.1.2	Aferição do termohigrômetro .....	80
<b>4</b>	<b>ASPECTOS GEOGRÁFICOS DA CIDADE DE SÃO LUÍS</b> .....	<b>83</b>

4.1	NOTAS SOBRE A HISTÓRIA DE SÃO LUÍS E SUA EVOLUÇÃO URBANA E DEMOGRÁFICA.....	83
4.2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	86
4.3	CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE SÃO LUÍS .....	87
<b>4.3.1</b>	<b>Classificação Climática de São Luís por modelos analítico-estáticos.....</b>	<b>87</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Classificação Climática de São Luís por modelos genéticos.....</b>	<b>89</b>
4.4	DINÂMICA CLIMÁTICA DE SÃO LUÍS .....	90
4.5	CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA E SISTEMAS SINÓTICOS .....	95
4.6	EVENTOS ATMOSFÉRICOS .....	98
<b>4.6.1</b>	<b>Influência dos fenômenos El Niño e La Niña.....</b>	<b>98</b>
<b>4.6.2</b>	<b>Ocorrência de eventos atmosféricos extremos.....</b>	<b>99</b>
<b>5</b>	<b>CLIMA URBANO DA CIDADE DE SÃO LUÍS.....</b>	<b>100</b>
5.1	DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO.....	100
<b>5.1.1</b>	<b>Análise do regime dos ventos.....</b>	<b>105</b>
5.1.1.1	Estação Aeroporto (Aeronáutica) - quinquenal.....	105
5.1.1.2	Estação APA do Itapiracó (INMET) - quinquenal.....	106
5.1.1.3	Estação Ponta da Madeira (VALE) - quatrienal.....	107
<b>5.1.2</b>	<b>Análise sazonal do regime dos ventos.....</b>	<b>110</b>
5.1.2.1	Estação Aeroporto (Aeronáutica).....	111
5.1.2.2	Estação APA do Itapiracó (INMET).....	112
5.1.2.3	Estação Ponta da Madeira (VALE).....	114
<b>5.1.3</b>	<b>Análise cíclica diária do regime dos ventos.....</b>	<b>117</b>
5.1.3.1	Estação Aeroporto (Aeronáutica).....	117
5.1.3.2	Estação APA do Itapiracó (INMET).....	119
5.1.3.3	Estação Ponta da Madeira (VALE).....	120
5.2	SUBSISTEMA FÍSICO-QUÍMICO.....	122
<b>5.2.1</b>	<b>Análise dos parâmetros anuais de Partículas Totais em Suspensão (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) e Partículas Inaláveis (<math>&lt;10\mu\text{m}^3</math>).....</b>	<b>129</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Análise dos parâmetros diários de Partículas Totais em Suspensão (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) e Partículas Inaláveis (<math>&lt;10\mu\text{m}^3</math>).....</b>	<b>131</b>
5.2.2.1	Materiais particulados (PTS – PI) - ANO 2013 .....	131
5.2.2.2	Materiais particulados (PTS – PI) - ANO 2014 .....	133
5.2.2.3	Materiais particulados (PTS – PI) - ANO 2015 .....	135
5.2.2.4	Materiais particulados (PTS – PI) - ANO 2016 .....	136
<b>5.2.3</b>	<b>Análise dos parâmetros mensais de Partículas Totais em Suspensão (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) e Partículas Inaláveis (<math>&lt;10\mu\text{m}^3</math>).....</b>	<b>138</b>
5.3	SUBSISTEMA HIDRODINÂMICO .....	139

5.3.1	<b>Sistemas atmosféricos geradores de chuvas em São Luís</b> .....	140
5.3.2	<b>Materiais e método</b> .....	141
5.3.3	<b>Volume pluviométrico anual total na Ilha do Maranhão e na Zona Urbana de São Luís</b> .....	144
5.3.4	<b>Distribuição pluviométrica na Ilha do Maranhão</b> .....	150
5.3.5	<b>Distribuição pluviométrica na Zona Urbana de São Luís</b> .....	152
5.4	<b>SUBSISTEMA TERMODINÂMICO</b> .....	156
5.4.1	<b>Caracterização histórica da temperatura</b> .....	157
5.4.2	<b>Sensoriamento remoto na investigação termodinâmica</b> .....	158
5.4.2.1	Mapas de temperatura da superfície .....	160
5.4.3	<b>Transectos móveis e estações fixas na investigação termodinâmica urbana</b> ...	163
5.4.3.1	Condições sinóticas nos dias de realização das campanhas .....	167
5.4.4	<b>TRANSECTO A</b> .....	170
5.4.4.1	Características urbanas e fitogeográficas .....	170
5.4.4.2	Valores térmicos e higrométricos registrados .....	172
5.4.4.3	Valores médios térmicos e higrométricos .....	174
5.4.5	<b>TRANSECTO B</b> .....	176
5.4.5.1	Características urbanas e fitogeográficas .....	176
5.4.5.2	Valores térmicos e higrométricos registrados .....	178
5.4.5.3	Valores médios térmicos e higrométricos .....	179
5.4.6	<b>TRANSECTO C</b> .....	182
5.4.6.1	Característica urbanas e fitogeográficas .....	182
5.4.6.2	Valores térmicos e higrométricos registrados .....	184
5.4.6.3	Valores médios térmicos e higrométricos .....	186
5.4.7	<b>Representação espacial da distribuição da temperatura e umidade das campanhas</b> .....	187
5.4.8	<b>Campo térmico e higrométrico da cidade de São Luís</b> .....	191
5.5	<b>CONFORTO TÉRMICO HUMANO EM ESPAÇOS ABERTOS</b> .....	194
5.5.1	<b>Escolha do índice de conforto térmico humano para espaços abertos</b> .....	195
5.5.2	<b>Localização dos pontos de coleta de dados e equipamentos utilizados</b> .....	200
5.5.2.1	Software RayMan Pro V2.1 .....	202
5.5.3	<b>Condições atmosféricas nos dias das campanhas</b> .....	203
5.5.4	<b>Parâmetros de resistência térmica das vestes e das atividades comportamentais</b> .....	205
5.5.5	<b>Análise das condições de conforto térmico na cidade de São Luís</b> .....	206
5.5.5.1	Campanha 1 - Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 21/03/2016 e Litorânea (Círculo Militar) no dia 22/03/2016. ....	206

5.5.5.2	Campanha 2 - Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 29/06/2016 e Litorânea (Círculo Militar) no dia 30/06/2016. ....	209
5.5.5.3	Campanha 3 - Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 20/09/2016 e na Litorânea (Círculo Militar) no dia 21/09/2016. ....	211
5.5.5.4	Campanha 4 - Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 24/08/2017 e na Litorânea (Círculo Militar) no dia 25/08/2017. ....	213
5.5.5.5	Campanha 5 - Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 25/10/2017 e na Litorânea (Círculo Militar) no dia 26/10/2017. ....	215
<b>5.5.6</b>	<b>Síntese dos resultados de todas as campanhas.....</b>	<b>217</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>220</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>224</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>240</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O clima é um dos aspectos naturais mais importantes à existência e manutenção da vida, é um bem ambiental de toda a humanidade. Devemos, por obrigação com as gerações presentes e futuras, conhecer e investigar a sua dinâmica e organização para praticarmos ações que levem à sua conservação e manutenção. O homem, no seu processo de ocupação do espaço está, ano após ano, consciente e inconscientemente, alterando o ambiente que habita, criando microclimas artificiais que afetam os mecanismos de equilíbrio e funcionamento do clima local, alterações estas mais diretamente ligadas às áreas urbanas. Até poucas décadas atrás, o Brasil era um país de economia agrária e população majoritariamente rural. Hoje, 8 em cada 10 brasileiros vivem em cidades (IBGE, 2013). A concentração de pessoas em centros urbanos traz uma série de implicações, sejam elas de ordem social, econômica ou ambiental. O crescimento demográfico acelerado, ocupações desordenadas, deficiência de infraestrutura básica, desigualdades socioeconômicas, atividades industriais, aumento da frota de veículos automotores, diminuição de áreas verdes, verticalização acentuada alteram a qualidade ambiental atmosférica urbana e repercutem diretamente no ambiente urbanizado e na qualidade ambiental atmosférica das cidades.

A relação da humanidade com o seu ambiente natural, principalmente no século XX, tornou-se bem mais complexa. Após a criação dos aglomerados urbanos, os processos de ocupação deram-se de forma acelerada e intensa, provocando uma rápida diminuição da qualidade de vida dos cidadãos que, nesses ambientes, sofrem com os impactos climáticos urbanos.

Em geral, as maiores influências que a urbanização causa ao clima local dão-se através da verticalização concentrada, da impermeabilização do solo, da ocupação sem planejamento e da retirada da vegetação. Como consequência mais direta, provocam a ocorrência de áreas mais quentes na parte central da cidade do que na periferia e zona rural, afetando diretamente as condições de conforto climático da população que frequenta estes espaços. Também é importante registrar o aumento de gases à base de monóxidos de carbono na atmosfera urbana, geradores da poluição atmosférica, provocada em grande parte pelo elevado número de veículos automotores e/ou pela proximidade do parque industrial que compromete enormemente a qualidade do ar urbano. A poluição do ar é geradora de muitas doenças de cunho respiratório e de pressão arterial, além de provocar efeitos atmosféricos

negativos como chuvas ácidas e inversões térmicas, ilhas de calor, confirmando a constatação de Lombardo:

O crescimento desordenado das áreas urbanizadas provoca a degradação ambiental do meio natural, com a justaposição de um meio ambiente artificial que altera o equilíbrio natural dos elementos climáticos. Isso contribui para o surgimento de problemas decorrentes dessa interferência “dos quais a ilha de calor e a poluição do ar destacam-se como as mais notáveis”. (1985, p. 25).

As temperaturas mais elevadas da cidade, juntamente com a impermeabilização do solo, atingem diretamente os valores de umidade do ar. O vapor d'água proveniente da evapotranspiração vem cada vez mais sendo reduzido, uma vez que as áreas verdes nas cidades estão sendo drasticamente reduzidas para atender geralmente a interesses imobiliários. Constatamos índices inferiores que o normal na proporção que as cidades vão crescendo, o que compromete diretamente a qualidade de vida urbana e seus valores de conforto térmico humano.

Segundo Mendonça (2003), o clima constitui-se em uma das dimensões do ambiente urbano, cujo estudo tem oferecido importantes contribuições ao equacionamento da questão ambiental, uma vez que tal estudo busca não só identificar os fatores responsáveis pela formação e dinâmica de um clima específico nas cidades, como também gerar subsídios e diretrizes voltadas ao planejamento urbano.

Na cidade de São Luís, o processo acelerado de urbanização ocorreu principalmente a partir do início da década de 1980. Dados do IBGE demonstram que no ano de 1970 a população de São Luís, que era de 265.486 habitantes passou a 695.199 habitantes em 1991, alcançando o número de 1.091.868 habitantes em 2017. O acelerado crescimento demográfico de São Luís provocou uma acentuada expansão urbana no município, intensificando diretamente o seu processo de verticalização. Observamos ainda que do total da população de São Luís, apresentado no Censo Demográfico do IBGE de 2010, constamos uma população residente na zona urbana do município de 958.522, representando uma porcentagem de 94,45% de sua população total naquele ano. São números significativos que demonstram que a população ludovisense está concentrada na área urbana do município de São Luís.

Tendo como finalidade a caracterização do clima urbano da cidade de São Luís numa perspectiva integradora, a pesquisa utilizou-se, com maior destaque, da proposta teórico-metodológica desenvolvida por Monteiro (1975), chamada Sistema Clima Urbano

(SCU). Na sua proposta metodológica, com forte perspectiva sistêmica, o clima urbano será compreendido se levar em conta o que se passa na dinâmica interna da cidade em consonância com a atmosfera urbana e regional. Pauta os indicadores do estudo do clima urbano em três eixos principais de atuação: o termodinâmico, o físico-químico e o hidrometeorológico, os quais foram todos devidamente abordados e estudados nesta pesquisa com o acréscimo da identificação dos níveis de conforto térmico em espaços abertos e de uma abordagem mais detalhada do desempenho do vento na cidade de São Luís.

O vento é um dos elementos atmosféricos mais importantes para o clima das cidades litorâneas nordestinas brasileiras. É responsável diretamente por promover valores positivos de conforto térmico, assumindo significado preponderante para a compreensão de como está constituído o seu clima urbano. No caso de São Luís, de todos os fenômenos de crescimento urbano impactantes para o seu clima, a verticalização acentuada da cidade, principalmente na faixa litorânea, é o que tem se apresentado com maior potencial para alterar o seu clima urbano, isto porque, além de estar ocorrendo uma verticalização muito acelerada, esta vem apresentando características de edifícios cada vez mais altos e mais próximos uns dos outros. Ensaios realizados em túnel de vento comprovaram que a altura dos edifícios e sua posição geográfica influenciam na distribuição dos ventos na malha urbana da cidade (PRATA, 2005). Dados das estações meteorológicas do INMET (2012 a 2016), do Aeroporto (2012 a 2016) e da VALE (2013 a 2016) localizados no município de São Luís, confirmaram que os ventos predominantes na cidade de São Luís são provindos do mar de direção NE – ENE (nordeste – lé-s-nordeste) em suas condições anuais, sazonais e de cíclicos diários (diurno e noturno), e é exatamente nesta direção que está ocorrendo o acentuado processo de verticalização da cidade.

A partir da interação existente entre a atmosfera e a superfície de morfologia urbanizada apoiado na proposta metodológica SCU de Monteiro (1975), abordando todos os canais de percepção com seus subsistemas propostos: físico-químico (qualidade do ar), hidrometeorológico (impacto meteorológico) e termodinâmico (conforto térmico), acrescidos da incorporação do vento como elemento atmosférico de grande influência na configuração do clima urbano da cidade de São Luís.

O desenvolvimento da tese se estruturou em quatro eixos principais: o primeiro tratará do embasamento teórico no qual foram abordadas as principais referências na formação do pensamento científico sobre estudos de clima urbano; o segundo eixo abordará

os métodos e técnicas que apresentam os caminhos percorridos no desenvolvimento da pesquisa e os equipamentos utilizados; o terceiro apresentará aspectos geográficos mais significativos para a pesquisa na área em estudo, com destaque para o desempenho do vento e o quarto eixo revelará o resultado dos estudos realizados aplicando a proposta do SCU em seus três subsistemas do clima urbano, acrescido de uma análise mais específica do conforto térmico humano.

### **1.1 Objetivo**

Compreender a dinâmica do clima urbano da cidade de São Luís do Maranhão.

### **1.2 Hipótese**

A partir da premissa de que a cidade de São Luís está passando por um intenso processo de urbanização e com um perfil de verticalização muito acentuado, a pesquisa orientou-se pela hipótese de que a verticalização urbana, principalmente na faixa litorânea, estaria afetando a penetração dos ventos e determinando potencialmente alterações nos índices de poluição atmosférica, na dinâmica hidrometeorológica e a na temperatura da cidade e, conseqüentemente, no seu conforto térmico humano.

## 2 EMBASAMENTO TEÓRICO

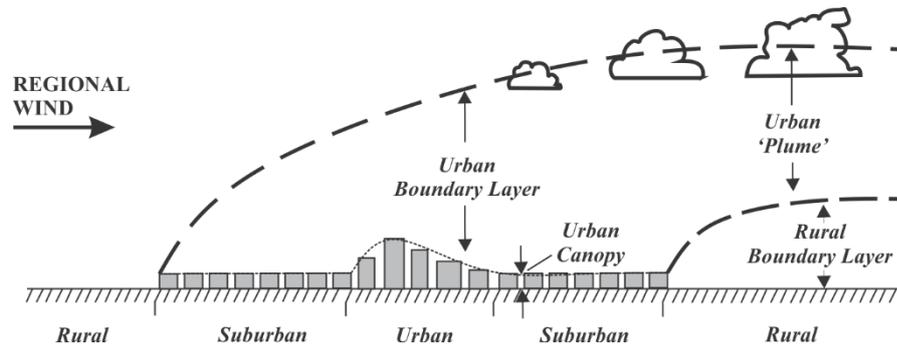
### 2.1 Estudos de clima urbano

Segundo Gartland (2010), um marco nos estudos do clima urbano mundial foram os trabalhos do pesquisador Luke Howard, realizados em meados de 1818, que identificou excesso de calor artificial na cidade de Londres. Ainda segundo Gartland (2010), Emilien Renou fez descobertas similares sobre a cidade de Paris durante a segunda metade do séc. XIX. Naquele período, o clima das cidades chamava a atenção dos pesquisadores em função das alterações que o ambiente urbano visivelmente provocava no clima.

Com a evolução das técnicas e de novos equipamentos tecnológicos, permitiu-se que os estudos do clima urbano obtivessem avanços importantes no desenvolvendo da qualidade científica. Dentre os trabalhos de destaque, ressaltamos o produzido por Tony Chandler (1965) com a obra *The Climate of London*, sua pesquisa foi uma continuação do que Howard iniciou e efetivamente demonstrou, que a temperatura e a umidade do ar apresentam diferenças significativas entre uma área urbanizada e uma área rural. Chandler também principiou os estudos sobre a poluição atmosférica nas cidades e seus possíveis impactos para a saúde da população.

Dentre as pesquisas de destaque internacional nos estudos de clima urbano atual, destacamos as desenvolvidas por Oke (1976, 1978, 1981, 1999 e 2004). Focado na investigação para determinar as alterações no balanço de energia que a cidade produz, analisou os materiais utilizados nas construções e as variações de input e output da energia acumulada. Investigou também a geometria da cidade através do que chamou de “cânions urbanos” e provou que a topografia urbana exerce influência no ambiente atmosférico urbano. Difundiu os conceitos de Urban Boundary Layer (UBL) e Urban Canopy Layer (UCL) que são dois ambientes atmosféricos distintos que possuem características próprias dentro do espaço climático urbano, portanto, necessitam de estratégias diferenciadas de análise, bem como da necessidade de se buscar mecanismos para promover o conforto térmico da cidade. São destaque, nas suas análises, as trocas termodinâmicas produzidas pelos materiais existentes na cidade e que desenvolvem ambientes que geram o efeito de ilha de calor e desconforto térmico. (Figura 1)

Figura 1- Estrutura do Urban Boundary Layer (UBL) e Urban Canopy Layer (UCL)



Fonte: Oke (1987, p 274).

No campo dos estudos de conforto térmico urbano, destacamos os trabalhos pioneiros de Olgyay (1963) e Givone (1969). Inicialmente Olgyay ressaltou que os dados climáticos da região precisam ser considerados para a avaliação biológica dos projetos arquitetônicos que valorizam as sensações humanas, destacou a importância de soluções tecnológicas para filtrar os impactos adversos do clima e enfatizou que a arquitetura e o urbanismo devem ser desenvolvidos levando em conta os fatores de conforto bioclimático. Propôs, também, a elaboração do diagrama bioclimático, no qual indica a necessidade de estratégias de adaptação da arquitetura ao clima.

Nos trabalhos de Givone (1969) destacamos a sua busca em desenvolver estratégias de compreensão da dinâmica da interação homem, clima e arquitetura, como os estudos que analisa os elementos de intercâmbio de calor entre o homem e seu ambiente térmico. Identifica respostas fisiológicas com relação a superfície externa dos edifícios e os efeitos diretos das variáveis climáticas, através das propriedades termofísicas dos edifícios. O pesquisador também desenvolveu a carta bioclimática onde identifica a existência de uma zona de conforto a partir dos diversos parâmetros climáticos.

No Brasil, um dos primeiros geógrafos a perceber a importância de se compreender a dinâmica integrativa dos elementos do clima foi Monteiro (1971) com a sua *Análise Rítmica em Climatologia*, na qual desenvolveu a análise da gênese dos tipos de tempo e sua evolução, pautada nas concepções de Max Sorre (1951) e Pedelaborde (1959). Seu trabalho é um marco histórico na evolução integrativa dos estudos ambientais no âmbito da geografia e climatologia brasileira, e fundamental para se perceber a interação existente entre o complexo jogo da dinâmica atmosférica e suas repercussões no espaço. Pode-se afirmar que é também referência a qualquer estudo do clima no Brasil.

Dentre as contribuições do professor Monteiro, destacamos a sua Tese de Livre Docência *Teoria e Clima Urbano* (1973), depois editado em 1975 e reeditado em 2009 como capítulo no livro *Clima Urbano*, em 2015 é novamente reeditado no livro a *Construção da Climatologia Geográfica no Brasil*. Este trabalho de destaque é precursor da primeira proposta teórico-metodológica para estudos de clima urbano no Brasil, nele destacamos a tentativa, sempre presente, de se buscar a integração dos elementos naturais (atmosfera) com as atividades antrópicas (cidade). Monteiro (1975) propõe uma visão integrativa e dinâmica da atmosfera urbana, concepção de “ar dentro da cidade”, em detrimento do pensamento vigente na época, que era fortemente influenciado por uma visão estritamente meteorológica e separativa do “ar sobre a cidade”. Na sua proposição cria uma proposta metodológica chamada Sistema Clima Urbano (SCU) que procura integrar os estudos levando em conta o que se passa na dinâmica interna da cidade em consonância com a atmosfera urbana e regional. Pauta os indicadores do estudo do clima urbano em três eixos principais de atuação: o termodinâmico, o físico-químico e o hidrometeorológico. Na sua análise preconiza as bases conceituais de sua proposta teórico-metodológica.

a) O clima urbano é resultado da urbanização, isto é, a dinamização do clima urbano é determinada pela configuração da forma e estrutura das cidades e é possível identificar a sua estruturação em três subsistemas: termodinâmico, físico-químico e hidrometeorológico;

b) O clima regional influencia o clima urbano, sendo o espaço urbanizado o núcleo do sistema, em que ocorre uma verdadeira interação de troca de energia com a circulação atmosférica regional, determinando a sua configuração;

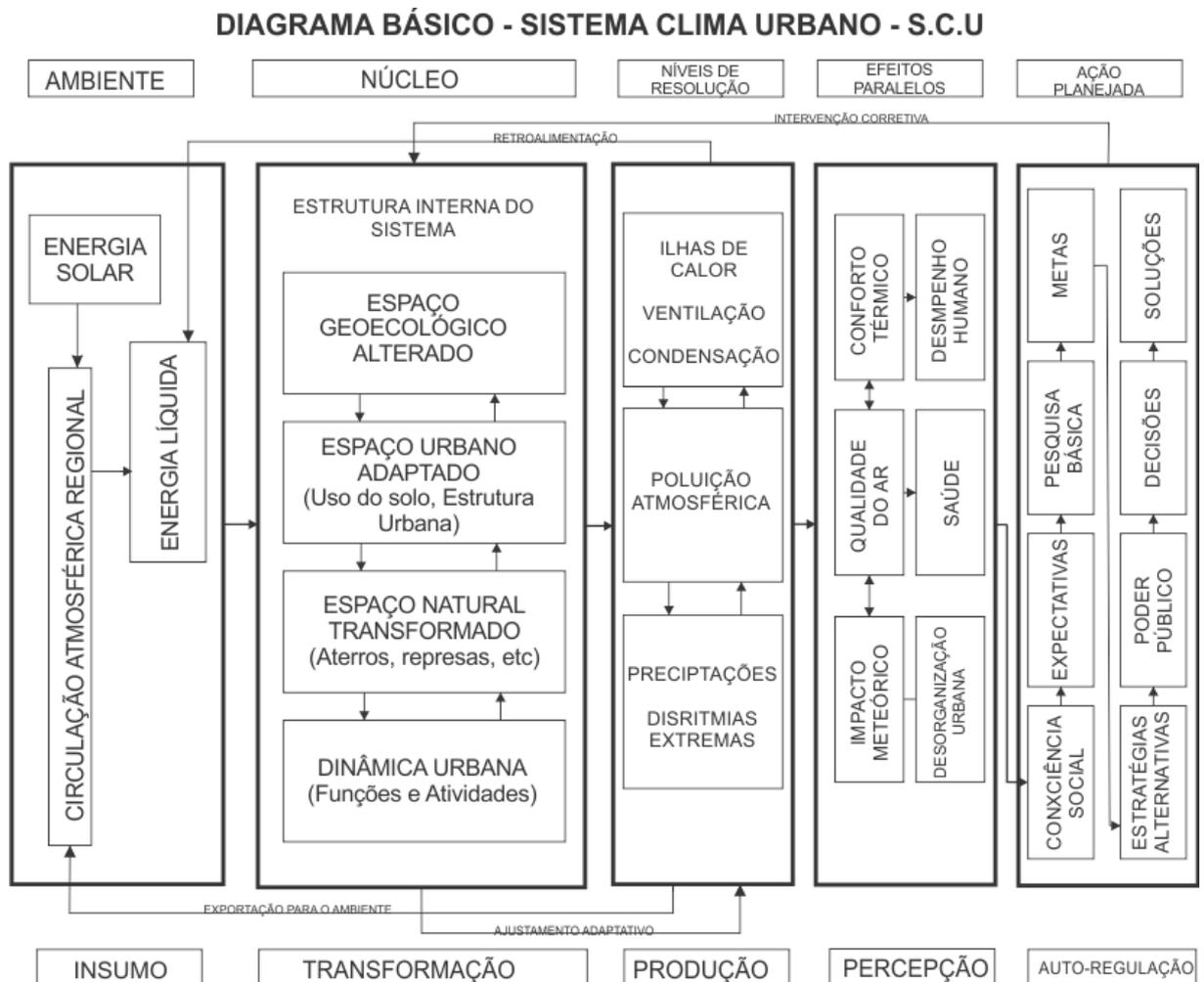
c) Os insumos de energia que movem o SCU da cidade são de ordem essencialmente solar, e são capazes de, em conjunto com a circulação atmosférica regional, determinar a distribuição do subsistema hidrometeorológicos;

d) O SCU é um sistema aberto e com possibilidade de autoregulação.

Sua proposta metodológica visa alcançar resultados que levem a ações de planejamento e gestão territorial que promovam a mitigação dos impactos negativos, como o de proporcionar melhoria da qualidade de vida de seus cidadãos.

Monteiro apresentou, esquematicamente, como se estrutura a sua proposta para estudos de clima urbano em um diagrama sintético observado no quadro 1 a seguir.

Quadro 1- Estrutura do Sistema Clima Urbano – SCU



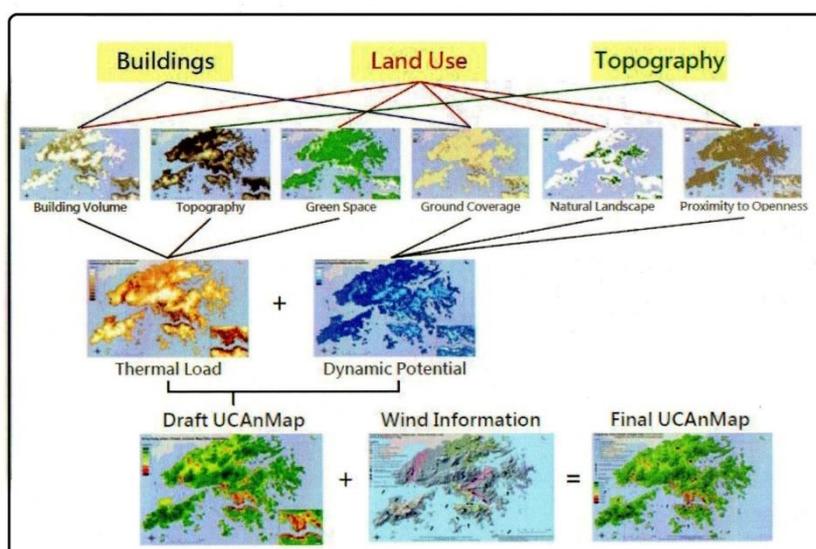
Fonte: Monteiro, 1975.

Já numa proposição metodológica que utiliza os avanços tecnológicos alcançados nos tempos atuais, destacamos os trabalhos de Katzschner (1999, 2006, 2011, 2012 e 2013), que se tornaram relevantes internacionalmente em função da proposta do UCMMap (Urban Climate Maps). Nela são utilizados com muita propriedade, técnicas de geoprocessamento que se estruturam nas dimensões topológicas para compreender o espaço urbano em suas mais importantes configurações de bases naturais e antropogênicas e, assim, identificar como está organizado o campo térmico do clima urbano da cidade. No campo da arquitetura, trabalhos que se utilizaram da proposta UCMMap passaram a ter grande repercussão, sua técnica objetiva

principalmente identificar como se manifesta o conforto atmosférico em espaços abertos da cidade para auxiliar os planejadores urbanos em suas intervenções urbanísticas.

A proposta metodológica UCMMap subdivide-se em três grandes eixos de investigação: a) os elementos climáticos existentes; b) as características físico-geográficas do sítio urbano; c) a dinâmica de ocupação urbana. Após a interpolação das informações obtém-se como resultado o Mapa Clima Urbano da cidade. Com o UCMMap gerado, este se torna um valioso instrumento de identificação das unidades climáticas que se apresentam em níveis diferenciados de organização na paisagem do clima urbano, permitindo ao pesquisador apresentar soluções de intervenção para a mitigação de eventuais problemas de conforto climático da cidade. É destaque também em sua metodologia a análise dos índices de conforto térmico da cidade pelos parâmetros do método PET, o qual considera ser o melhor índice para identificação do conforto térmico humano em ambientes externos na cidade (Figura 2).

Figura 2 - Estrutura metodológica do UCMMap (Urban Climate Maps)



Fonte: Katzschner, 2011.

Destacamos também trabalhos desenvolvidos que produziram metodologias aplicáveis na investigação do clima urbano brasileiro: Lombardo (1985) com estudos de Ilha de Calor na cidade de São Paulo; Brandão (1996) com estudos do clima urbano da cidade do Rio de Janeiro e Mendonça (1993) propondo técnicas de estudo de clima urbano para cidades de médio e pequeno porte.

Brandão (1996) na sua tese de doutoramento, intitulada *Clima urbano da cidade do Rio de Janeiro*, (posteriormente atualizado e editado em 2009), apresenta como resultado

final um Mapa de Unidade Mesoclimáticas Urbanas da Cidade do Rio de Janeiro, criado a partir da utilização dos parâmetros teórico-metodológicos do SCU proposto por Monteiro (1975). No desenvolvimento da pesquisa, a topografia da cidade é elemento de destaque para o seu resultado final e a utilização da técnica de transectos móveis apresentou resultados satisfatórios.

Mendonça (1997), em sua Tese de Doutorado, propôs o desenvolvimento de técnicas metodológicas para estudos de clima urbano em cidades de pequeno e médio porte usando a cidade de Londrina-PR como campo de aplicação da proposta. Neste trabalho, em que utiliza também como base metodológica e conceitual do SCU para estudos de clima urbano, procura detalhar os vários ambientes atmosféricos intra-urbanos e desenvolve metodologia baseada em quatro fases que podem ser aplicadas em outras cidades de pequeno e médio porte, são elas: 1) definição da área de estudo com as características do sítio urbano e sua dinâmica socioeconômica; 2) base cartográfica e de imagens de satélite; 3) levantamento de dados e análise das informações; 4) propostas de ordenamento urbano com vistas a mitigação dos problemas de clima urbano encontrados.

Outro trabalho que destacamos para o desenvolvido da pesquisa foi o produzido por Prata (2005) com o título *Impactos da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano*. Nesta tese de doutorado em arquitetura e urbanismo/USP a autora pesquisou como os ventos são alterados ao penetrarem a cidade em função do gabarito dos prédios, investigou também como este fato influencia no conforto térmico dos pedestres. A cidade de Santos no litoral paulista, com significativa verticalização urbana, foi o seu campo de estudo e o bairro Pompéia, o local de verificação dos impactos do vento e do conforto térmico. Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados softwares de modelagem e simulação, além de experimentos em túnel de vento com maquetes e coleta de dados em campo. A pesquisadora concluiu com sua pesquisa que o gabarito dos prédios afeta a velocidade e direção dos ventos na cidade e, de modo negativo ou positivo, o conforto térmico dos pedestres, em função das condições atmosféricas do tempo no dia e da estação.

Destacamos também como relevante para a pesquisa a publicação *Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment – Feasibility Study*. Editado pela Scholl of Architecture - The Chinese University of Hong Kong de 2011, produzido pelos pesquisadores Edward Yan-Young, Lutz Katzschner, Betty Ho, Kenny Kwok e Raymond Yau. A cidade de Hong Kong está localizada em uma região de clima sub-tropical, e possui uma topografia

bastante acentuada na sua rugosidade. Situada às margens do delta do Rio das Pérolas e pelo Mar da China Meridional, é muito conhecido pelo seu horizonte repleto de imensos arranha-céus. A cidade atravessava uma grave crise de saúde pública envolvendo uma epidemia de gripe aviária, que é uma variedade do vírus influenza H5N1 e transmissível por via aérea. Para se encontrar uma solução montou-se uma equipe com os mais destacados estudiosos de clima urbano do mundo para apresentarem alternativas para enfrentamento da questão. Na solução do problema aplicou-se a metodologia UCMMap em que o vento era o elemento atmosférico de papel preponderante para a produção de um clima urbano saudável e gerador de qualidade ambiental atmosférica. Através da sobreposição de cartas georreferenciadas de bases naturais e antropogênicas de ocupação urbana, identificou-se 5 unidades com características climáticas homogêneas que passaram a ter recomendações de planejamento de uso e ocupação. O índice de conforto térmico PET foi o utilizado e foram feitas várias recomendações para as áreas mais críticas da cidade, no qual destacamos: as ações de intervenção para permitir a penetração da brisa marítima e sua circulação pela cidade com a proibição de construções de prédios altos na zona litorânea e a plantação de mais vegetação arbórea pelas ruas da cidade.

Nos estudos de conforto térmico humano em ambientes urbanos externos, destacamos o Manual de Conforto Térmico elaborado pelas professoras Anésia Barros Frota e Sueli Ramos Schiffer, do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da USP, publicado inicialmente em 1987 e reeditado na 8ª edição em 2009. É referência para o desenvolvimento de pesquisas que tenham como foco o conforto térmico urbano. Neste livro são identificadas todas as variáveis presentes na classificação do conforto térmico humano e é uma ferramenta conceitual importantíssima para a compreensão dos fenômenos que relacionam os objetos arquitetônicos com o meio ambiente e com os usuários desses objetos. Apresenta, de forma esquemática e aplicável pelos planejadores urbanos e pesquisadores, as principais técnicas desenvolvidas para se identificar os níveis de conforto térmico nas cidades.

Dentro dos estudos referentes ao Maranhão, destacamos Feitosa (1983) com seu livro *Maranhão Primitivo* em que caracteriza a evolução histórica dos aspectos físicos marcantes na formação do território maranhense e de São Luís, enfoca os processos endógenos e exógenos que marcaram a paisagem física hoje constituída.

Na compreensão de como está configurado a ocupação humana e a dinâmica econômica do espaço maranhense e especificamente da cidade de São Luís, destacamos a tese

de doutoramento de Ferreira (2008). Nela são apresentados o modo como se estruturaram as políticas territoriais praticadas e as consequências dessas políticas no espaço geográfico maranhense e suas repercussões na forma de ocupação urbana. Identificamos neste trabalho as bases históricas e políticas que determinaram os níveis de urbanização encontrados nas cidades maranhenses e principalmente na capital São Luís.

## **2.2 Métodos e Técnicas em Pesquisas do Clima Urbano**

Na contemporaneidade, as pesquisas têm proporcionado avanços significativos no desenvolvimento de métodos e técnicas de investigação sobre o clima urbano e esses avanços estão muito ligados ao surgimento de novas tecnologias digitais e no aprimoramento dos equipamentos de coleta de dados meteorológicos. Observamos na realização das pesquisas científicas, uma busca sempre presente por inovação e/ou incorporação de novas possibilidades técnicas às já existentes; no fazer científico das pesquisas sobre o clima urbano, por exemplo, o anúncio por parte de alguns pesquisadores da tentativa de utilização de equipamento de navegação aérea controlados remotamente, os chamados “drones”, que a cada dia tem seus custos de aquisição mais acessíveis. Todas essas possibilidades técnicas abrem novas possibilidades de investigação no campo da climatologia urbana, agora numa perspectiva de investigação tridimensional da atmosfera urbana.

De modo geral, para obtenção de dados meteorológicos nas pesquisas de climatologia urbana, podemos caracterizar até recentemente a utilização de três de suas técnicas mais empregadas. A primeira é a utilização de abrigos e miniabrigos meteorológicos, nos quais o pesquisador instala instrumentos de medição em abrigos e miniabrigos meteorológicos portáteis dispostos em locais previamente identificados como representativos para a coleta de dados, por um período de horas específico e em dias característicos de condições climáticas regionais. O segundo método é a técnica conhecida como transecto móvel, que se caracteriza pela utilização de equipamento meteorológico protegido por um *solar shield* (protetor solar), seja em modelo comercial ou de construção artesanal, para percorrer traçado pré-determinado em sentido horizontal ou vertical dentro da atmosfera urbana que se objetiva estudar, coletando dados meteorológicos. Na execução da coleta de dados por transecto móvel, este pode ser realizado a pé, ou instalado em algum tipo de veículo móvel terrestre ou aéreo (carro, moto, bicicleta, triciclo, balão, drone ou outro). A terceira é técnica da utilização de sistemas tecnológicos de teledetecção, os quais conseguem a obtenção de informações de um objeto, ou uma área, sem que haja contato físico, atualmente essas

informações são obtidas por sensores em satélites que geram imagens. Nos últimos anos, nas pesquisas de clima urbano, em função das facilidades de acesso a essa nova tecnologia, tem-se produzido muitas pesquisas por meio da geração de imagens termais e da cobertura vegetal nos estudos de clima urbano.

Na busca por encontrar novas alternativas e possibilidades de avanço na compreensão da dinâmica que se reveste os estudos do clima urbano, surge mais uma nova alternativa de método e técnica, que é a que se utiliza de técnicas de geoprocessamento a partir da modelização digital, que primeiramente aparece com mais destaque em pesquisas voltadas para estudos de conforto térmico na arquitetura e urbanismo, e logo se dissemina para outros ramos do conhecimento. Esse método se utiliza da técnica de modelização digital através de um SIG (Sistema de Informação Geográfica), emprega bases cartográficas temáticas digitais de diversos parâmetros atmosféricos, das características geonaturais e da urbanização da cidade para, através da interpolação dos dados geoespaciais e georeferenciados, realizar a elaboração de mapas digitais que proporcionam ferramentas de diagnóstico e prognóstico das condições ambientais atmosféricas urbanas.

Observamos também que todos os métodos e técnicas identificados podem, e em uma grande parcela das pesquisas acontece, serem utilizados de modo conjunto e associado, complementando-se e aperfeiçoando-se para, de acordo com os objetivos da pesquisa, proporcionar o melhor procedimento investigativo.

Para compreensão mais detalhada de como se utiliza estas quatro formas de se estudar o clima urbano de uma cidade, com seus métodos e técnicas, apresentaremos, em seguida, as principais características de cada procedimento investigativo com a indicação das principais vantagens e desvantagens de sua utilização.

### **2.2.1 Abrigos e miniabrigos meteorológicos**

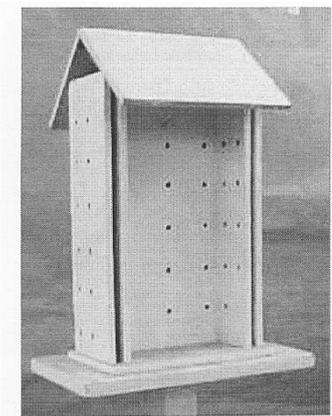
A técnica de utilização de miniabrigos meteorológicos é amplamente aceita e utilizada até nos dias atuais em pesquisas de investigação na climatologia geográfica brasileira. Técnica disseminada no Brasil a partir dos estudos metodológicos de Monteiro (1975) com a proposta do Sistema Clima Urbano (SCU) que, ao afirmar a necessidade de adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura, apresentou detalhadamente como devem ser realizados os estudos de clima urbano com a utilização de miniabrigos meteorológicos.

A duração do experimento deve ser mínima de 24 horas. Em termos ideais com leituras horarias, ou, pelo menos de duas em duas horas ao longo de um período de 24 horas. Em se tratando de sondagem de temperatura e considerando a importância que o ambiente edificado exerce nas trocas térmicas seria aconselhável que - para melhor exibir o resfriamento noturno - as medidas se iniciassem as 12 horas de um dia atingindo até as 12 horas do dia seguinte. (MONTEIRO, 1990, p.62).

A utilização de coleta de dados por abrigos e miniabrigos meteorológicos em pontos previamente definidos foi, segundo Mendonça (2015), amplamente utilizada de forma predominante até a década de 1990. Destaca ainda o pesquisador que a maioria dos trabalhos, tendo como escopo o SCU, empregaram técnicas simples para levantamento de dados em campo e posterior mapeamento.

Como exemplo de miniabrigo meteorológico, dentre vários modelos desenvolvidos, destacamos o desenvolvido pelo Prof. José Roberto Tarifa no Departamento de Geografia da USP na década de 70, chamado de miniabrigo TAR, por ter sido um dos primeiros miniabrigos a serem propostos com o objetivo de padronização na construção do equipamento utilizado em pesquisas científicas voltadas para a coleta de dados meteorológicos em climatologia (Foto 1).

Foto 1 - Miniabrigo meteorológico TAR desenvolvido pelo Prof. Tarifa

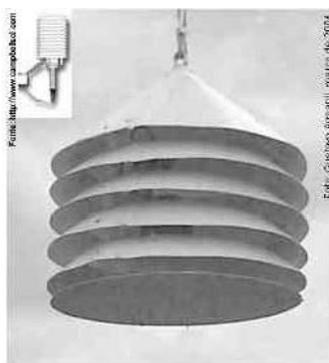


Fonte: Tarifa

Esse modelo de miniabrigo é uma caixa de madeira de três faces fechadas e uma aberta, composta por uma cobertura de duas águas; e sua instalação é feita por uma haste de madeira para que fique fixada adequadamente na área de estudo. Seu espaço interno é utilizado para a instalação de instrumentos analógicos.

Outro destaque de miniabrigo meteorológico foi o desenvolvido por Armani e Galvani (2006), chamado de ABC (Foto 2), Este abrigo de ventilação passiva, de baixo custo, para coleta de dados meteorológicos de temperatura e umidade do ar, foi desenvolvido a partir de chapas de ferro galvanizado de 0,5 mm de espessura e pintado com tinta esmalte branco brilhante. O abrigo foi inspirado no modelo 41003 10-Plate Gill Radiation Shield da Campbell e utilizado para proteger um sensor Humicap 45C da Campbell.

Foto 2 - Miniabrigo meteorológico ABC



Fonte: Armani e Gavani (2006)

Depois de comparar séries de dados de temperatura e umidade relativa do ar com outros dados oficiais, os pesquisadores concluíram que os coeficientes de comparação encontrados foram elevados e as variações encontradas estavam dentro do desvio de erro previsto pelo fabricante dos aparelhos oficiais.

Também em pesquisa desenvolvida por Serafini e Alves (2014) foram avaliados os dados produzidos por três diferentes tipos de miniabrigos meteorológicos. Analisando-se os modelos denominados Tarifa (TAR), Abrigo de Baixo Custo (ABC) e Quatro Águas (4AS) em comparação com uma Estação Meteorológica Automática (EMA), chegaram à conclusão que, apesar dos resultados apresentarem pequenas diferenças de medição, todos os miniabrigos estudados apresentaram resultados satisfatórios e todos obtiveram a aprovação para a utilizações de coleta de dados atmosféricos.

Destacamos também a pesquisa coordenada por Alin Jr. (2016) que realizou teste de verificação da qualidade dos dados coletados em cinco diferentes tipos de abrigos e miniabrigos meteorológicos. Os abrigos e miniabrigos foram construídos com materiais diversos como pratos plásticos, potes de sorvete, canos de pvc e madeira. A equipe de Alin Jr. chegou a conclusão de que os potes de sorvete e os abrigos de tubo de pvc na vertical

apresentaram deficiências nos dados coletados e os demais tipos: pratos plásticos, tubo de pvc na horizontal e casa de madeira, mostraram-se alternativas viáveis quanto ao desempenho e sua utilização. Ainda, vale apontar os trabalhos desenvolvidos por Danni-Oliveira, Pertschi, Lima (2006) e Shimada (2006) que também apresentaram estudos sobre abrigos e miniabrigos meteorológicos nos quais indicaram a viabilidade deste método e técnica nos estudos do clima.

Na aplicação deste método e técnica, a tese de doutoramento de Assis (2010) estudou o clima urbano de Belo Horizonte – MG, com objetivos de conhecer a evolução de seu clima e o mapeamento das unidades climáticas naturais e urbanas. Utilizando-se de dados meteorológicos históricos, desde 1910 até 2010, de abrigos meteorológicos instalados ao longo de um transecto longitudinal norte-sul e de técnicas de geoprocessamento identificou a existência e localização de ilhas de calor e a geração cartográfica da síntese climática do município de Belo Horizonte.

No que concerne a obtenção qualificada dos dados meteorológicos em abrigos e miniabrigos, estes são amplamente aceitos e reconhecidos como válidos, porém cabe destacar alguns inconvenientes para a sua utilização, a começar pela necessidade de recursos financeiros para a construção dos abrigos como também para a aquisição dos equipamentos de medição meteorológica na quantidade dos abrigos. Parte-se do pressuposto de que os equipamentos de medição a serem adquiridos já possuem datalogger, com isto evitam a necessidade de um número grande de pessoas treinadas e disponíveis para a realização da coleta de dados. Outro problema adjacente na é o local de instalação dos equipamentos, que precisa ser adequado para a pesquisa a ser desenvolvida como também que solicita segurança para os equipamentos.

### **2.2.2 Transectos móveis**

A técnica chamada transecto móvel também é muito utilizada e aceita como válida nas pesquisas de Climatologia Urbana. Nesta forma de apreensão de coleta de dados, o fator preponderante da escolha deste procedimento metodológico é, segundo Gartland (2010), a maneira mais econômica de se estudar o clima urbano. Nesta técnica, que pode ser feito a pé ou utilizando-se de veículo móvel, são instalados um ou mais instrumentos de medição dos elementos atmosféricos e transportados por um transecto previamente definido, a fim de coletar dados ao longo do percurso. Esta técnica possibilita ampliar os pontos de observação

dentro da cidade e, assim, permite identificar espacialmente as oscilações intra-urbanas da temperatura e da umidade do ar. Observa Fialho (2009) que vários pesquisadores se valeram deste método de coleta de dados, no qual utilizaram-se de diversos tipos de veículos como: bicicleta, helicóptero, avião e automóvel. Gartland (2010) destacou que, na aplicação da técnica de transecto móvel, até mesmo trens já foram utilizados para a realização de coleta de dados para pesquisas de clima urbano. Cita o experimento realizado Yamashita (1996), o que empreendeu coleta de dados de temperatura por trem em 16 linhas ferroviárias para a caracterização das ilhas de calor na região metropolitana da cidade de Tóquio.

Fialho (2009), ao investigar as vantagens e desvantagens do transecto móvel, realizou comparação entre os métodos de coleta de dados de pontos fixos (abrigos e miniabrigos) com os transectos móveis; identificou vantagens e desvantagens em ambos os procedimentos e concluiu que não se pode determinar se um é melhor do que o outro, mas sim que são complementares. (Tabela 1)

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens no processo de mensuração por meio de pontos fixos ou transectos móveis.

PONTOS FIXOS		TRANSECTOS MÓVEIS	
Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Permite observações simultâneas.	Dificuldade em definir pontos representativos.	Descreve melhor a heterogeneidade do meio urbano.	Refazer o percurso, algumas vezes com intuito de criar uma maior confiabilidade.
Favorece o registro temporal da ilha de calor.	Custo operacional e logístico.	Aumenta o número de pontos de coleta de dentro da área de estudo.	Não é apropriado para grandes distâncias.
	Preparar equipes para registro dos parâmetros e compatibilizar horários de leituras.	Permite uma maior agilidade no processo de monitoramento.	Restrito apenas a estradas de rodagem.
			Dificuldade de definir pontos representativos.
			Não mensuração simultânea dos elementos do clima.

Fonte: Fialho (2009, p 6).

Martini (2014) realizou pesquisa para comparar os resultados da coleta de dados por meio de transectos móveis e de miniabrigos meteorológicos, dispostos em um percurso.

Na realização da pesquisa, os autores percorreram um trajeto pré-determinado, a pé, nos quais foram colocados previamente cinco miniabrigos ao longo do caminho e realizado a comparação entre os valores obtidos pelas duas técnicas. O resultado foi a constatação de que os resultados produzidos pelo transecto móvel e os miniabrigos meteorológicos apresentaram valores muito próximos, levando à conclusão que a utilização de qualquer uma das duas técnicas produz resultados válidos para utilização em pesquisas de clima urbano.

O emprego da técnica de transecto móvel permite sua utilização a qualquer hora do dia ou da noite. Dessa forma procedeu Amorim (2013), que durante o dia utilizou de miniabrigos meteorológicos e, à noite, da técnica de transectos móveis, valendo-se de dois veículos automotivos (carros), que saíram no mesmo momento e partindo de pontos distintos da cidade de Presidente Prudente - SP, assim obteve 48 registros de dados na direção norte-sul e 78 registros na direção leste-oeste, em cinco dias representativos do verão e em cinco dias representativos do inverno de 2002. Demonstrou que mesmo se utilizando de técnicas diferentes e com levantamento de dados em períodos diurnos e noturnos, a pesquisa pode chegar a resultados satisfatórios, confirmando que diferentes técnicas em uma mesma pesquisa podem ser utilizadas para se estudar o clima urbano de uma cidade.

#### **2.2.2.1 Transectos móveis aéreos**

Destacamos também a técnica de se fazer a coleta de dados atmosféricos urbanos através de um transecto aéreo, nessa técnica os equipamentos coletores de dados atmosféricos são instalados em equipamentos aeronáuticos como balões, aviões, helicópteros e mais recentemente em Veículo Aéreo Não Tripulados (VANT), também conhecidos como DRONES, para a coleta de dados na coluna vertical e de sobrevoo da atmosfera urbana. Como um dos primeiros trabalhos no desenvolvimento desta técnica no Brasil, em estudos de clima urbano, destacamos o realizado por Brússolo (2017) que apresentou pesquisa no qual faz considerações metodológicas para estudos na Camada Limite Urbana, utilizando-se de VANT's, o pesquisador e sua equipe apresentou considerações operacionais de como devem ser instalados os instrumentos termohigrômetros automáticos e câmeras termais em uma VANT (Foto 3), porém não apresentam resultados práticos de sua utilização, apenas discorrem sobre como devem ser os procedimentos de sua realização.

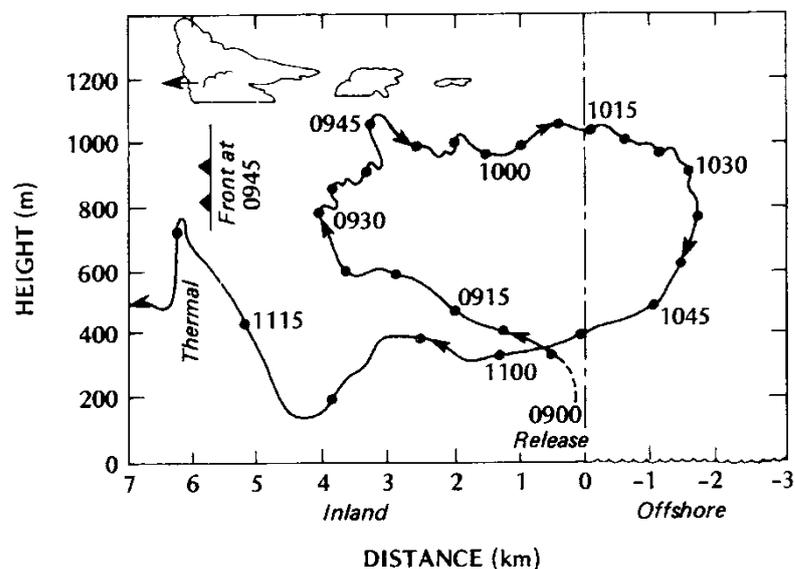
Foto 3 - Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT) ou DRONE



Fonte: Brússolo et al (2017)

Em outro trabalho de coleta de dados por transecto aéreo Oke (1987), citando Lyons e Olsson, (1973) apresentou exemplo de como se utiliza da técnica de balões meteorológicos para produzir estudos sobre poluição atmosférica urbana. (Figura 3)

Figura 3 - Vista lateral da trajetória de um balão meteorológico lançado na hora local, às 09h em 12 de agosto de 1967 em Chicago/EUA no Lago Michigan. Os dados coletados pelo balão foram realizados a cada 15 minutos (09h – 09h15min – 09h30min ...).



Fonte: Oke (1987, p. 317)

Apesar das perspectivas reveladoras que o transecto móvel aéreo pode proporcionar para novas possibilidades de análise, apresenta-se ainda em estágio embrionário, muito em função dos custos operacionais que demandam financiamento. Acreditamos que, em função do barateamento dos equipamentos, será possível, muito em breve, o surgimento de pesquisas que se utilizaram desta técnica.

Quanto aos aspectos negativos da utilização dos transectos móveis, sejam eles terrestres ou aéreos (verticais ou horizontais), relaciona-se primeiramente a impossibilidade de se obter medições simultâneas de todo o contexto da urbe, de modo uniforme que englobe toda a sua malha urbanizada. Outro ponto negativo está na duração do tempo de coleta de dados, se os transectos móveis tiverem uma duração de tempo muito longa perde-se a melhor caracterização das condições atmosféricas existentes. Outro ponto negativo, relacionados aos transectos terrestres, está no fato de que a coleta de dados ocorre sempre em locais que são vias de trânsito e na maioria das vezes sobre camada asfáltica, os dados coletados representam o entorno das quadras e nunca dentro das quadras. Acrescente-se também o efeito *windchill*, que é o resfriamento provocado pelo vento sobre as medidas registradas.

Mesmo considerando-se esses inconvenientes, é uma das técnicas mais utilizadas e aceitas nas pesquisas científicas de estudos de clima urbano, destaca-se por apresentarem resultados que identificam de maneira ágil e econômica a configuração da diversidade da composição atmosférica de temperatura e umidade do ar da cidade com uma abrangência significativa de pontos de coletas.

### **2.2.3 Sensoriamento remoto**

Método e técnica que se utiliza de sensores que captam informações sobre um determinado alvo sem o seu contato direto (REES, 1990). Na última década, percebemos que estudos utilizando de sensoriamento remoto têm sido cada vez mais empregados nos estudos de clima urbano. Neste método, podemos identificar duas técnicas para realizar estudos do clima urbano: as realizadas por fotografias aéreas e as por satélites geoespaciais. Apresenta como nas outras técnicas, vantagens e desvantagens de sua utilização que foram identificadas a seguir.

#### **2.2.3.1 Sensoriamento remoto por fotografias aéreas**

A utilização de fotografias aéreas para estudos de clima urbano, apesar de proporcionar qualidade nas informações do ambiente urbano, é pouco ou raramente empregada. Utilizam-se as fotografias aéreas para se alcançar um alto grau de detalhamento da morfologia urbana, permitindo o mapeamento, por exemplo, da caracterização da cobertura vegetal existente, dos cursos d'água, do espaçamento dos prédios, casas e ruas, das áreas de loteamentos e etc. Essas informações aprimoram os estudos e permitem a produção de um

conhecimento mais qualificado dos fatores ou controles que produzem o ambiente atmosférico urbano.

Como exemplo de utilização desta técnica em estudos de clima urbano destaca-se, o trabalho realizado por Ugeda Junior (2011) na cidade de Jales-SP. O pesquisador se utilizou de várias imagens de fotografias aéreas na escala de 1:10.000, para identificar principalmente a cobertura vegetal da cidade e a caracterização do uso do solo na área urbana da cidade, além de possibilitar a identificação visual dos pontos de interesse para a instalação das 13 (treze) miniestações meteorológicas, utilizadas na pesquisa.

A utilização desta técnica visa possibilitar a caracterização do sítio urbano a ser estudado, permitindo, assim, uma escolha mais assertiva na localização da instalação de miniabrigos ou dos percursos de transectos móveis a serem realizados. Registramos que, nessa técnica, não se realiza a coleta de dados atmosféricos, ela auxilia no exercício prognóstico da situação a ser encontrada. Por ser uma técnica que envolve muitos recursos financeiros para se obter fotografias aéreas atualizadas, apresenta grande dificuldade de utilização por parte de muitos pesquisadores.

### **2.2.3.2 Sensoriamento remoto por imagens de satélite**

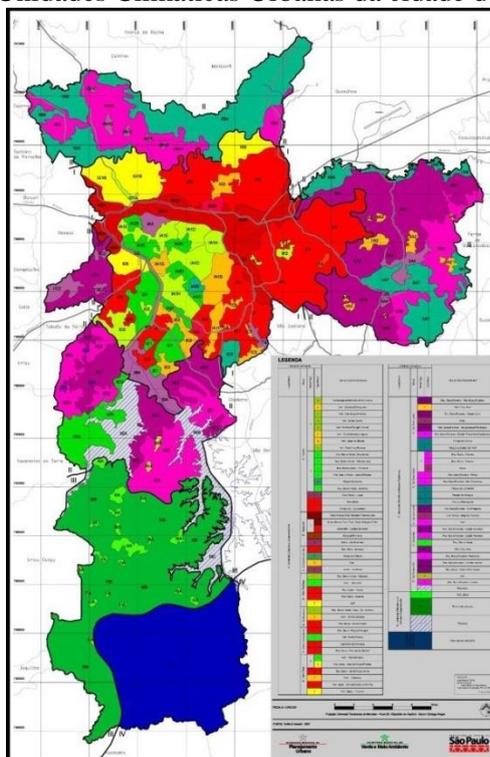
O acesso facilitado aos softwares e as imagens de satélite permitiram abrir novas perspectivas para os estudos de clima urbano, principalmente os focados nas análises termiais. O sensoriamento remoto oferece visões em diferentes escalas e permite que os dados gerados na banda infravermelha termal, do espectro da imagem, sejam transformados em temperatura aparente da superfície. Segundo Novo (2000), é no início da década de 1970 que ocorre um grande avanço na tecnologia de obtenção de imagens através do sensoriamento remoto, já que, antes, o que prevalecia para a obtenção de imagens eram as fotografias aéreas. A maior qualidade focal das câmeras e a utilização de múltiplos sensores orbitais permitiu um salto no desenvolvimento da produção de informação sensorial.

Weng (2003) observa que a temperatura fornecida pelas imagens de satélite é sempre um valor superior à temperatura do ar. Assim a utilização do sensoriamento remoto para identificação da temperatura da cidade tem a função de proporcionar um desenho aparente da temperatura local. Isto ocorre porque, como afirma Coltri (2006), um alvo da superfície terrestre recebe radiação eletromagnética proveniente do sol e, dependendo da sua composição, cor, forma e propriedade, parte desta energia será refletida e absorvida. Deste

modo, podemos afirmar que a temperatura identificada pelo sensoriamento remoto dos alvos na superfície será sempre diferente da temperatura do ar, e que para os estudos de climatologia urbana a temperatura do ar é a mais importante e a mais significativa para a compreensão de sua dinâmica atmosférica. Demandando assim por parte de alguns pesquisadores como: Jesen (2009), Amorim (2013 – 2014 – 2016), Ugeda Júnior (2013) e Lima (2016) de tentativas de encontrar soluções na conversão dos valores de radiância da banda termal da temperatura do alvo para um valor o mais próximo possível da temperatura do ar.

Fazendo parte do projeto Atlas Ambiental do Município de São Paulo - Fase I: Diagnósticos e Bases para a Definição de Políticas Públicas para as Áreas Verdes no Município de São Paulo, Tarifa e Armani (2000) utilizando-se de dados cartográficos e meteorológicos conjugados às técnicas de sensoriamento remoto realizaram a sobreposição das informações para a elaboração das Cartas de Unidades Climáticas Naturais e Urbanas da Cidade de São Paulo. Segundo os autores, o que se buscou foi revelar a existência de unidades climáticas naturais e urbanas e, para se chegar a este resultado, foi fundamental entender as interações entre os espaços físico (ar) e o espaço social, identificados como uma “totalidade indissociável” na atmosfera urbana próxima da superfície. (Mapa 1)

Mapa 1 - Unidades Climáticas Urbanas da cidade de São Paulo



Fonte: Atlas Ambiental do Município de SP (2000).

Neste trabalho ocorreu a conjugação de vários métodos e técnicas para se chegar a um resultado que demonstrasse como se configurava o clima urbano e natural da cidade de São Paulo. Destacamos o ineditismo da proposta em uma época que ainda não se tinha disseminado a utilização de imagens de satélite e softwares que realizassem a interpolação das informações coletadas de modo rápido e eficiente. Este estudo representa o primeiro trabalho de modelização e busca de unidades climatológicas por sensoriamento remoto da realidade urbana no Brasil com vista ao planejamento e ordenamento da cidade.

Já em trabalhos mais recentes, destacamos a tese de doutoramento de Da Cruz (2009) no qual utilizou em larga escala do sensoriamento remoto para estudar o clima urbano de Ponta Grossa – PR. O pesquisador associou técnicas estatísticas e de softwares de geoprocessamento que resultaram em vasto material cartográfico que permitiu fazer inferências de como se configura o clima urbano da área pesquisada.

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta para os estudos de clima urbano, principalmente quando se estuda o subsistema climático termodinâmico da cidade, uma vez que é uma técnica que promove o barateamento dos custos operacionais das pesquisas. Outro ponto importante da utilização da técnica de sensoriamento remoto recai na necessidade de mais pesquisas que encontrem melhor calibração dos valores termais produzidos pelas imagens e o que ocorre de valores reais de temperatura do ar.

#### **2.2.4 Técnicas de geoprocessamento em modelização digital**

Pesquisas utilizando-se de modelos computacionais passaram a ser empregadas com grande interesse, por que apresentam resultados céleres e satisfatórios. Sua utilização em realidades tão distintas e com a cobrança permanente de soluções cada vez mais rápidas, fortaleceram a sua aceitação e desenvolvimento no meio científico. A utilização de modelos computacionais permite que se criem ambientes de simulação em que é muito difícil ou muito caro testar ou medir as diversas variáveis possíveis para um ou mais fenômenos dentro de uma realidade concreta.

Dentre os estudos de clima urbano que se utilizaram de modelos computacionais destacamos dois, em função principalmente dos resultados obtidos, que são os modelos computacionais: ENVI-Met e o SIG UCMaP.

#### **2.2.4.1 Software ENVI-met**

O modelo ENVI-met é um modelo tridimensional que simula digitalmente o microclima urbano. Ele proporciona interações entre superfície, vegetação e atmosfera, calculando o balanço de energia, por meio das variáveis: radiação, reflexão, sombreamento de edifícios e vegetação, fluxo do ar, temperatura, umidade, turbulência local e sua taxa de dissipação, além das trocas de água e calor dentro do solo.

Como exemplo de aplicação deste software em estudos de clima urbano, citamos a realizada por Carfan (2011) que avaliou os níveis de conforto térmico humano da cidade de Ourinhos-SP utilizando o software de modelo tridimensional ENVI-met. Através do software foi possível simular o comportamento da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento em situações de diferentes formas de planejamento urbano, seja com a introdução de áreas verdes ou com o aumento da altura dos edifícios. A pesquisa reafirmou que existe uma forte correlação entre a parte física da cidade (ruas, edificações e vegetação) e o conforto térmico humano, e demonstrou que essa ferramenta se aplica com eficiência e qualidade nos estudos de clima urbano.

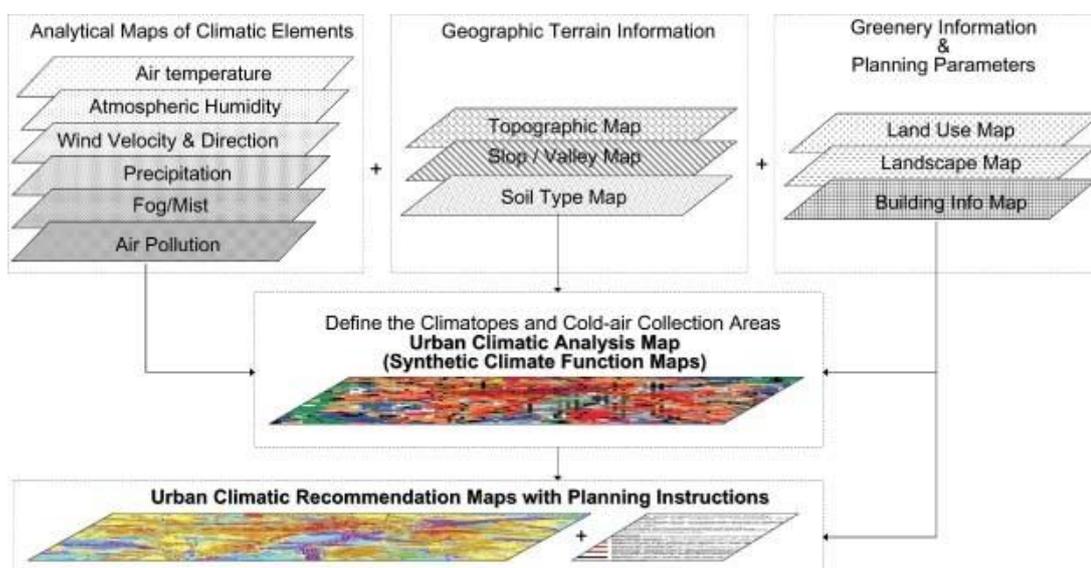
#### **2.2.4.2 SIG - Sistema de Informação Geográfica / UCMMap (Urban Climate Maps)**

O SIG é definido por Rosa e Brito (1996) como um sistema de informação que combina recursos humanos (peopleware) e técnicos (hardware/software) em concordância com uma série de procedimentos organizacionais que proporcionam informações que visem apoiar as gestões diretivas. Também se destaca a definição, proposta por Leite (2013), como sendo um sistema de procedimentos computacionais que envolvem softwares e hardwares, recursos humanos e informação espacial georeferenciada para o planejamento e gestão do espaço. Assim, este método, cuja técnica envolve a modelização espacial através de um SIG, compõe mais uma das possibilidades de utilização nas pesquisas sobre o clima urbano por permitir, através desta ferramenta, realizar investigações de qualidade, com custos financeiros menores e maior rapidez na caracterização do clima urbano.

Como exemplo de proposta de modelização através de um SIG para a compreensão do clima urbano e que já possui reconhecimento internacional, destacamos o modelo chamado UCMMap (Urban Climate Maps) que foi desenvolvido e utilizado em diversos trabalhos realizados por Katschner (1999, 2006, 2011, 2012 e 2013). Nele, são aplicados com muita propriedade, técnicas de geoprocessamento que se estruturam nas dimensões

topológicas da paisagem para se compreender o espaço urbano na sua concepção tridimensional e indissociável. O método propõe a investigação em três grandes eixos: a) os elementos climáticos existentes; b) as características físico-geográficas do sítio urbano; e c) a dinâmica de ocupação urbana. Realiza-se a interpolação das informações e geram-se mapas que proporcionam a identificação de como está organizado o clima urbano da cidade. Destaca-se na proposta a importância que é dada ao vento e sua influência para a geração do conforto térmico humano na cidade (Figura 4).

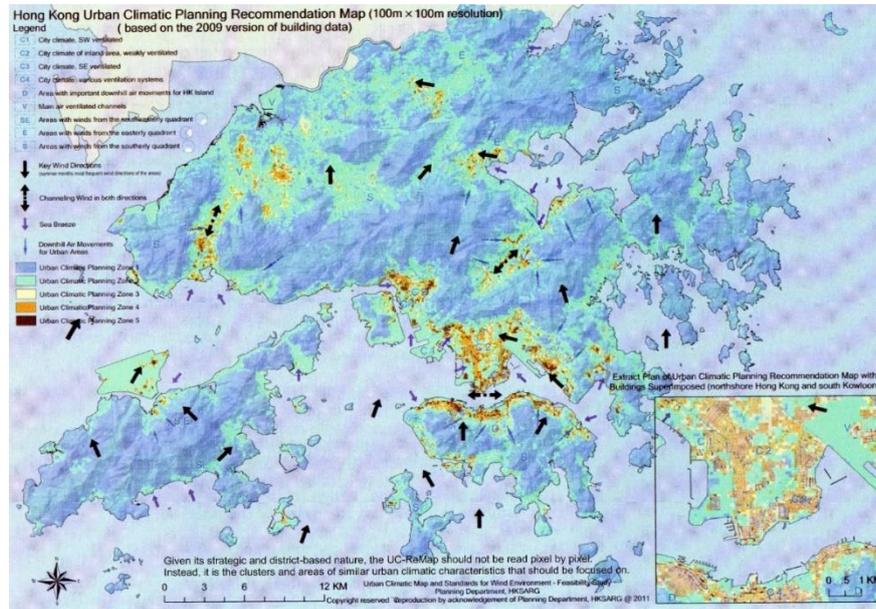
Figura 4 - Estrutura metodológica para a geração da análise do potencial térmico e dinâmico do clima urbano utilizando-se do UCMMap.



Fonte: Urban climatic map and standards for wind environment (2008).

O resultado final da proposta UCMMap é a geração de um mapa que identificou a existência de níveis de derivação ambiental atmosférica no ambiente urbano, permitindo ao pesquisador formular propostas de intervenção para auxiliar as tomadas de decisões dos gestores urbanos. Como exemplo prático da aplicação do método computacional de geoprocessamento que utiliza da técnica UCMMap, apresenta-se o trabalho realizado para a cidade de Hong Kong. Por meio da modelização digital chegou-se ao resultado de um mapa final que identificou cinco unidades climáticas urbanas, chamadas de zonas, com características homogêneas que passaram a ter recomendações de planejamento de uso e ocupação distintos. A recomendação para a área mais crítica da cidade previu a intervenção urbanística de proibir novas construções de prédios altos na zona litorânea e em locais específicos dentro da cidade para permitir a penetração da brisa marítima e sua circulação pela cidade e a plantação de mais vegetação arbórea em determinadas ruas da cidade (Mapa 2).

Mapa 2- Recomendações ao planejamento cidade de Hong Kong.



Fonte: Urban climatic map and standards for wind environment (2008)

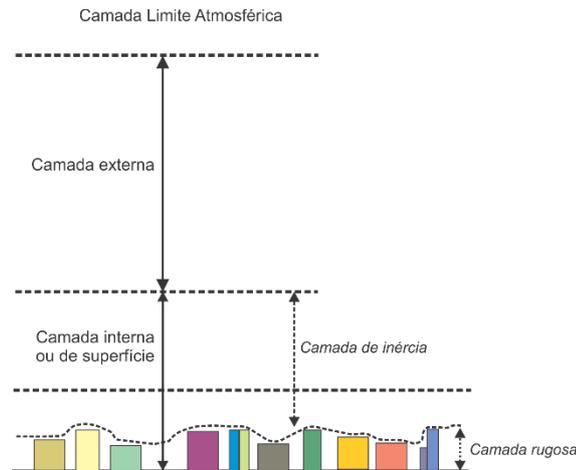
De modo resumido, foram apresentados o que se evidencia na bibliografia existente, sobre métodos e técnicas de maior destaque para a realização de estudos do clima urbano, evidentemente que este levantamento não é concludente como não se esgota e finaliza o assunto, já que constantemente surgem novas tecnologias e perspectivas de estudos que possibilitam o progressivo aprimoramento e inovação.

## 2.3 CAMADAS ATMOSFÉRICAS URBANAS

### 2.3.1 Camada Limite Atmosférica (CLA)

A Camada Limite Atmosférica (CLA) é também conhecida como Camada Limite Externa (CLE), Camada Limite Planetária (CLP) ou Camada de Ekman (CE) é uma camada atmosférica situada na baixa troposfera. Garrat (1994) afirma que a espessura da camada é definida como a altura acima da superfície terrestre, onde a velocidade do ar atinge 99% da velocidade do escoamento não perturbado. Também destacou Garrat (1994) que, na maioria dos casos, o topo da CLA, sob condições convectivas, é geralmente bem definido pela existência de uma camada estável, abaixo de uma inversão térmica, que atua como tampão dos movimentos turbulentos vindos de baixo. Estes são incapazes de penetrá-la apesar de continuarem a erodir, sobretudo quando o calor latente é libertado pelas partículas de ar que ascendem (Figura 5).

Figura 5 - Estrutura da Camada Limite Atmosférica (CLA) em condições de estabilidade neutra.



Fonte: Adaptado de Garrat (1994)

Silva (2003) também afirma que a topografia é fator preponderante para a configuração da CLA, juntamente com as dimensões e formas dos obstáculos naturais e artificiais, as chamadas rugosidades, até uma cota na qual se atinge uma velocidade do ar constante.

Lopes (2003) ao tratar da CLA, observa que esta é influenciada pelo ciclo diário de aquecimento e resfriamento da superfície, da rugosidade e das nuvens presentes na atmosfera. Do mesmo modo Oke (1987), sobre a CLA, afirma que quando ocorre o aquecimento da superfície isto promove distúrbios nas condições de estabilidade, gerando movimentos convectivos conhecidos como camada de mistura. Quando se encontram na atmosfera grandes quantidades de poeiras, esporos, poluentes, etc., essa mistura pode ser tão eficiente que se forma uma névoa seca e uniforme.

Garret (1994) afirma que também são identificados na camada interna ou de superfície mais duas subcamadas a rugosa e a inércia. A camada rugosa é encontrada tanto na terra quanto no mar, e o tipo de superfície influencia diretamente nas características de sua configuração. O processo de difusão molecular é o efeito mais significativo, através do qual os fluxos de energia e massa são trocados entre esses dois meios (rugosidade e atmosfera).

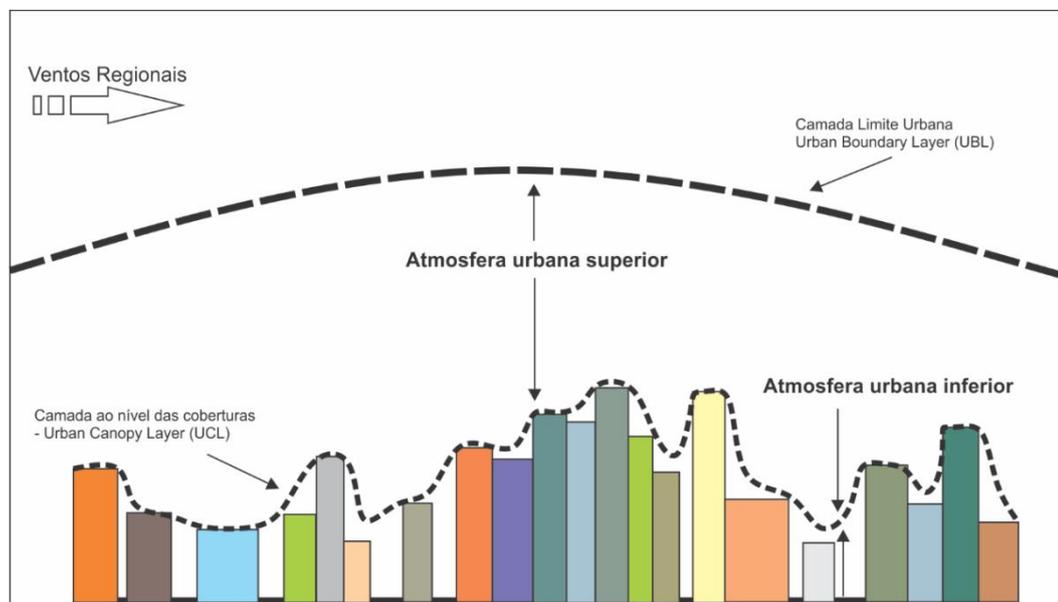
Oke (1987) contribui afirmando que na subcamada rugosa os elementos de rugosidade existentes originam fluxos complexos à sua volta (vórtices e turbilhões). Estes movimentos tridimensionais dependem da forma, densidade e flexibilidade desses elementos.

Garret (1994) conclui afirmando que, por sobre a subcamada rugosa, encontra-se a subcamada de inércia, cuja principal característica é apresentar um perfil logaritmo do vento em condições de estabilidade neutra.

### 2.3.2 Camada Limite Urbano (CLU)

A urbanização gera peculiaridades atmosféricas e a mais significativa é a formação de uma camada atmosférica denominada Camada Limite Urbano (CLU) (Figura 6) que possui duas subcamadas atmosféricas verticais, determinadas pelas características de urbanização, segundo os pesquisadores Oke, 1987; Alcoforado, 1992; Givoni, 1998; Katzschner, 1999; Santamouris, 2005. A primeira camada é chamada de camada ao nível das coberturas, que vai do solo até o topo dos edifícios, e nos quais os processos atmosféricos estão relacionados à escala do nível das ruas e dos espaços entre as estruturas construídas; e a segunda camada, que se inicia a partir do topo dos edifícios em um nível livre da presença de obstáculos e se estende até uma altitude de influência da radiação superficial, a qual se denominou camada limite urbano e cujos fenômenos atmosféricos possuem escala e natureza local ou mesmo regional.

Figura 6 - Esquema da camada limite urbano



Fonte: Adaptado de OKE, (1987)

Oke (1987) identificou que na CLU ocorrem fenômenos de escala local a meso, cujas características são governadas pelas formas da superfície urbana e de sua dinâmica. A camada urbana no nível das coberturas CLU localiza-se até a altura das coberturas das

edificações e é produzida pelos processos em microescala, que operam nos cânions urbanos, entre os edifícios. É também observado por Oke (1987) que o elevado valor de armazenamento de calor sensível nas áreas urbanas, em relação às áreas rurais, não ocorre somente devido às propriedades térmicas dos materiais. Entre as razões para tal fato, o autor cita o sombreamento provocado pela cobertura vegetal, a maior área de absorção da radiação solar devido a geometria urbana e a redução do calor latente devido as características dos materiais urbanos.

Lopes (2003), contribuindo na análise dos estudos da atmosfera urbana, sintetiza afirmando que é no conjunto dos microclimas existentes na cidade, e cada um desses influenciando-se mutuamente, que se forma o mosaico do clima urbano. Neste invólucro tridimensional, composto pela atmosfera urbana exterior e inferior, ocorrem as principais trocas energéticas em meio urbano, sendo por isso fundamental o seu estudo.

As cidades, em função de sua rugosidade e complexidade de elementos, geram sobre a atmosfera, em diferentes escalas, modificações nas características de absorção e reflexão da energia solar e de radiação. Para Chandler (1976), o processo crescente de urbanização determina a elevação da altura da CLU, sendo também responsável por alterar de forma significativa o desempenho do vento próximo à superfície.

Segundo Prata (2005), as áreas urbanas, em decorrência da complexidade de elementos, geram modificações nas características aerodinâmicas, radiativas e termo higrométricas da atmosfera. Desta forma, o fluxo de ar que invade a cidade vindo, por exemplo, do campo ou do mar, encontrará condições diferentes de fronteira promovendo comportamentos diferenciados.

## **2.4 ESTUDOS DE VENTILAÇÃO NATURAL**

O vento para regiões de clima quente e úmido possui relação diferenciada das regiões de clima temperado e frio, enquanto o vento nas altas latitudes exerce, na maioria das vezes, fator de desconforto e incômodo, para as baixas latitudes é elemento de grande importância para a geração de conforto humano. Saraiva (1994) observa que a ação do vento é sentida por uma pessoa de duas maneiras: a primeira forma, como resultado da força que resulta na distribuição do campo de pressão induzida sobre ela pelo vento; e a segunda forma, pela sua velocidade, na medida em que altera a sua taxa de troca de calor com o exterior. Em climas de regiões de baixa latitude, variações de temperatura e umidade do ar tem oscilações

diárias e sazonais reduzidas, e caracterizam-se por apresentarem valores geralmente elevados. O conforto bioclimático dessas regiões tem no movimento do ar (vento) seu principal mecanismo de redução da temperatura e de geração de ambientes de alívio térmico. Segundo Bittencourt (2008), a ventilação é apontada frequentemente como a estratégia bioclimática mais eficiente para a obtenção de conforto térmico nos espaços urbanos e arquitetônicos. Ressaltando que o alcance social dessa estratégia é indiscutível.

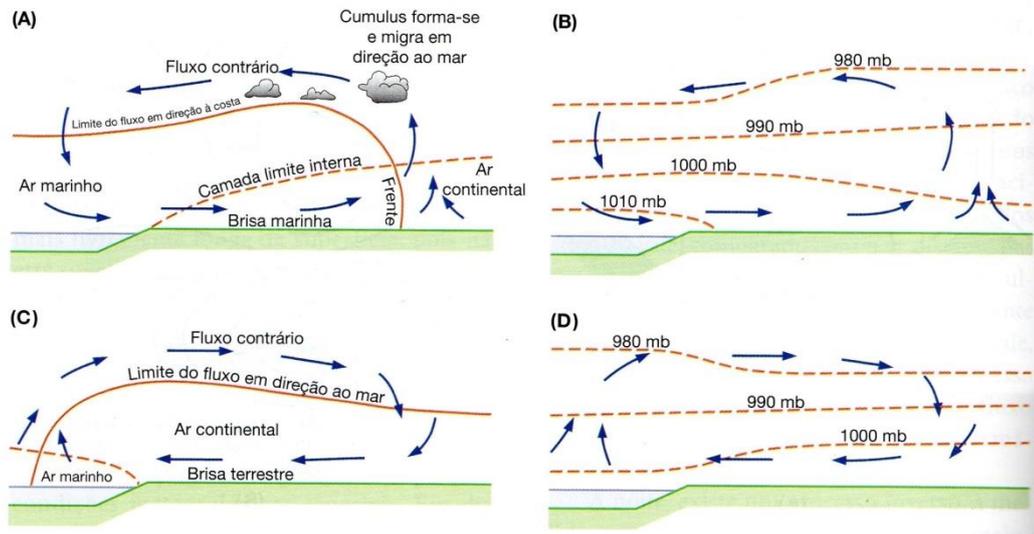
A cidade de São Luís, por estar localizada em uma ilha costeira e a 2° 31' de latitude sul, é uma dessas cidades que tem no vento um importante mecanismo de atuação para atenuar as sensações térmicas. Sendo, portanto, fundamental para o seu planejamento a compreensão da dinâmica que envolve as mais diversas formas de desempenho que o vento pode exercer sobre o ambiente.

O vento na superfície é influenciado em direção e velocidade de diversas formas, a começar pela presença do mar e de seu contato com o continente. Acrescente-se os contornos topográficas do terreno, bem como da forma e configuração de sua estrutura urbana que provocam condições muito particulares de distribuição do vento na paisagem.

#### **2.4.1 Efeitos no vento no contato do mar e da terra**

Extensas massas de água em proximidade com superfícies de terras produzem variabilidade significativa de pressão atmosférica em períodos relativamente curtos de vinte quatro horas, este efeito natural de diferença de pressão provoca, em condições normais, direcionamento do vento do mar para a terra durante o dia e do vento da terra para o mar durante a noite. Fenômeno conhecido como brisa marítima e brisa terrestre, representado na Figura 7.

Figura 7 - Movimento predominante do ar durante o dia (brisa marítima) (A), e durante a noite (brisa terrestre) (B). (C) e (D) circulação e distribuição da pressão em brisa terrestre à noite e durante tempo anticiclônico.

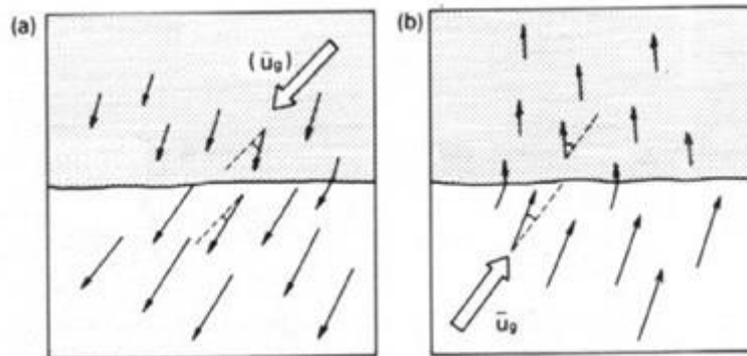


Fonte: Barry e Chorley (2013, p. 154)

Varejão-Silva (2006) destaca que no Nordeste do Brasil o efeito da brisa terrestre e marítima muitas vezes não são percebidos, isto ocorre em função da persistência e intensidade dos ventos alísios durante todo o ano. A presença da brisa marítima e terrestre pode, na maioria das vezes, alterar a direção e a velocidade dos ventos alísios, e que, dependendo da orientação da linha de costa, exerce fator de aceleração dos ventos, resultando numa superposição alísios/brisas de grande repercussão na velocidade e direção do vento e consequentemente na geração de conforto humano para a região.

Oke (1987) também observa que, neste fenômeno da brisa terrestre e marítima, algumas de suas características de desempenho são regidas pela existência de outras ocorrências, e identifica que os ventos da brisa marítima e terrestre possuem comportamento diferente em função do tipo de superfície no qual estão fluindo, ressalta também que, quando estão sobre superfícies sólidas, os ventos sofrem ação da rugosidade e acabam diminuindo sua intensidade de velocidade; e quando estão sobre superfícies líquidas sua velocidade é maior, determinada pela menor rugosidade (Figuras 8 (a) (b)).

Figura 8 - Desvios típicos do fluxo de ar em superfície decorrentes da passagem de superfícies pouco rugosas para rugosas e vice-versa (a) (b). As setas indicam a direção do fluxo de superfície, enquanto as setas em branco indicam o vento de gradiente ( $U_g$ ).

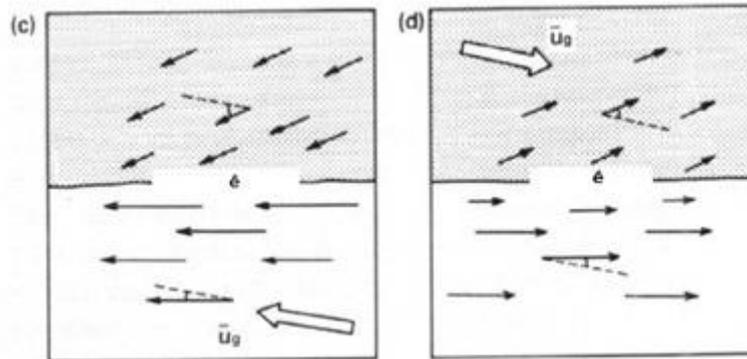


Fonte: Oke, (1987, p188).

É importante observar que o vento gradiente é resultado do gradiente horizontal de pressão potencializado pelo aquecimento diferenciado da superfície terra-mar, determinado pelo resultado do calor específico dessas superfícies. Destaca-se também a presença da rugosidade que é determinante na influência da interface terra-mar no vento, principalmente em grandes centros urbanos litorâneos pois as construções potencializam esse efeito.

São também observados por Oke (1987) que diferentes superfícies com rugosidades dessemelhantes provocam no fluxo do vento alterações na direção predominante e intensidade da velocidade. Detalha que, quando os ventos ocorrem de forma paralela, podem provocar duas configurações de comportamento do fluxo, são os casos representados nas Figuras 9 (c) (d) em que os mecanismos de atuação influenciam na direção do vento, os quais passam a ser determinados pela rugosidade da superfície. Quando os ventos são paralelos e a superfície é de maior rugosidade e sua ocorrência se apresenta à direita do fluxo (c) poderá ocorrer uma convergência de ventos ao longo da descontinuidade, criando uma faixa de aumento de velocidade. No caso contrário (d) poderá ocorrer uma zona de divergência com desaceleração do fluxo ao longo da descontinuidade e uma acentuação do desvio em relação ao vento gradiente. Situação que se manifesta em locais do hemisfério norte.

Figura 9 - Desvios típicos do fluxo de ar em formas paralelas de terras e mares (c) (d). As setas indicam a direção do fluxo de superfície, enquanto as setas em branco indicam o vento de gradiente ( $\bar{U}_g$ ).



Fonte: Oke, (1987, p. 188).

#### 2.4.2 Efeitos da topografia no vento

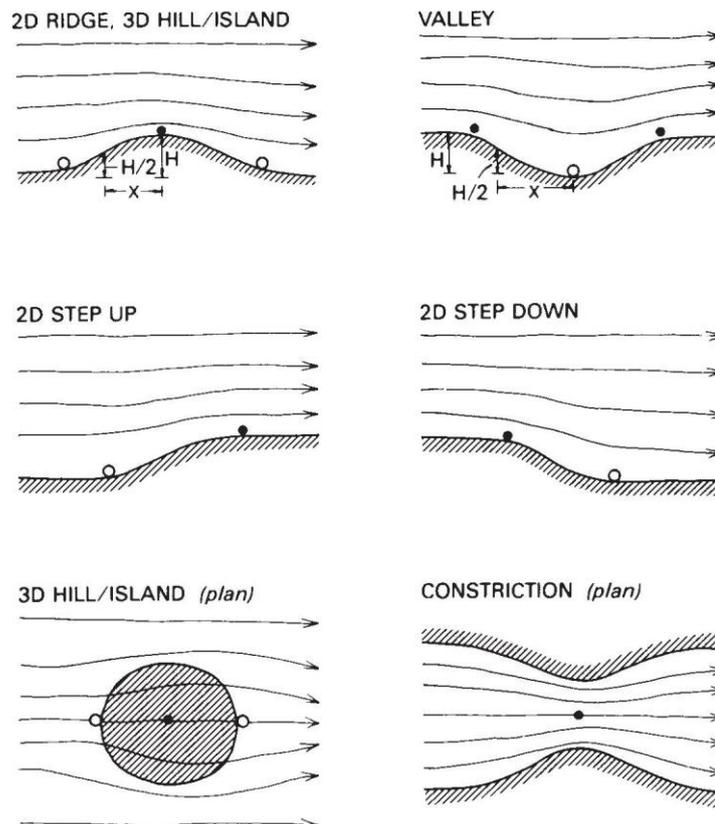
O contato do vento superficial com a terra apresenta comportamento muito inconstante de configuração e desempenho, influenciados que são pelas diferentes formas, texturas e rugosidades da paisagem. Diferenças na topografia podem gerar ventos irregulares, ou canalizá-los quando existem vales encaixados (LOPES, 2003, p. 30). Observa Oke (1987) que cada paisagem é única, determinada pelas suas formas topográficas e elementos geográficos particulares, portanto não é exequível uma padronização generalizada do comportamento do vento. Ficando necessária a compreensão de seus mecanismos de configuração em permanente ajustamento.

São observados por Lopes (2003) que, quando o vento atravessa uma superfície plana e sem interferência de outros elementos rugosos, o fluxo de ar adere à superfície. Mas quando esse fluxo passa sobre uma irregularidade, este não se ajusta perfeitamente à superfície topográfica e separa-se dela. É criada então uma região de baixa pressão que gera movimentos turbilhonares a sotavento do obstáculo.

Pode-se afirmar que os movimentos do ar em torno de elementos topográficos classificam-se de acordo com a existência ou não da separação do fluxo da superfície e com a sua inclinação. Afirma Lopes (2003) que em até 17 graus de inclinação não ocorre separação do fluxo de ar da superfície. Em situações de topografia de colina (Figura 10), no seu topo, o ar atinge velocidade máxima provocado pela contração do fluxo vertical. Inversamente ocorre uma diminuição da intensidade do vento no ponto mais baixo, determinado pelo grau de inclinação deste com o Vale. O mesmo ocorre em formas topográficas de fluxo de ar a

barlavento ou a sotavento, sempre os pontos mais altos serão os que apresentarão maior velocidade do ar e os pontos mais inclinados de menor intensidade do fluxo de ar. (LOPES, 2003)

Figura 10 - Fluxos de típicos em torno de relevos isolados em topografia moderada (declives inferiores  $17^\circ$ ). As setas indicam ação do fluxo, os pontos cheios mostram as áreas onde ocorre velocidade média máxima e os pontos brancos onde é mínima.



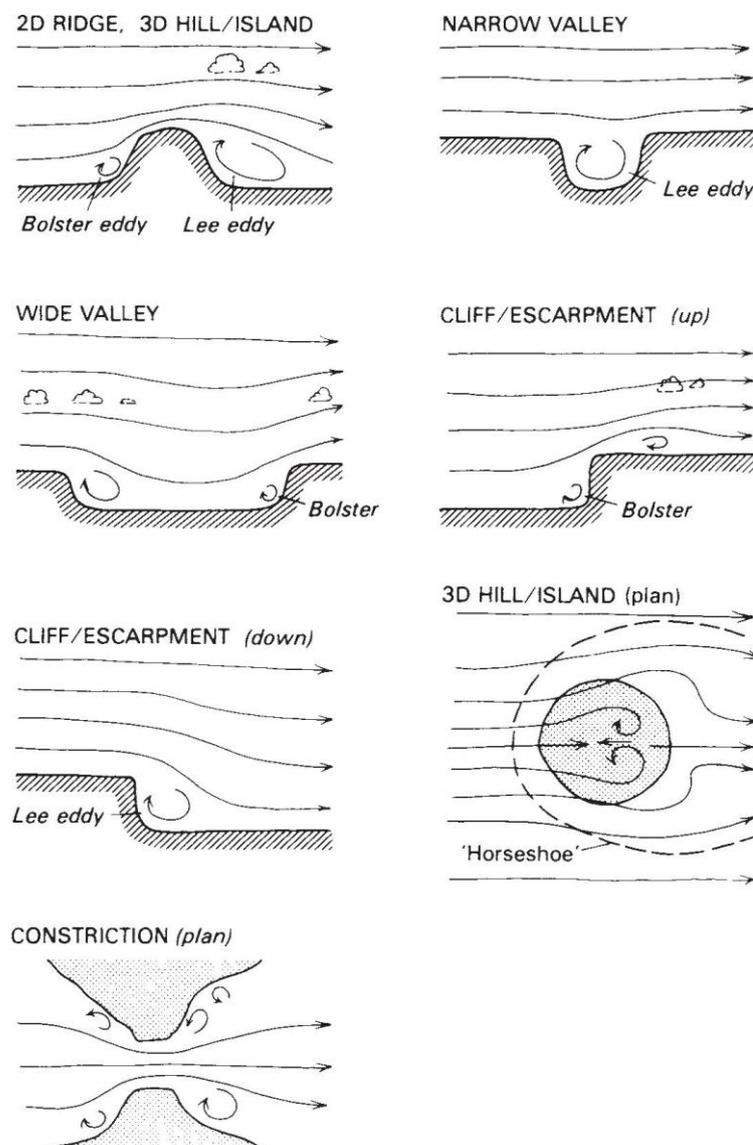
Fonte: Oke, (1987, p. 183).

Outra característica identificada no fluxo do vento na topografia está relacionada ao estreitamento entre vales, este irá provocar o chamado efeito Venturi, que ocorre quando o fluxo de ar é forçado a passar por um estreitamento, que pode ocorrer tanto em paisagens naturais quanto antropogênicas, determinando que o fluxo de ar sofre uma aceleração proporcional ao seu estreitamento.

Ressalta Lopes (2003) que na topografia, cujo o grau de declividade for superior aos  $17^\circ$  de inclinação, o turbilhonamento é a característica mais marcante nessas formas. Afirma ainda o pesquisador que o fluxo, quando se aproxima do relevo, aumenta a pressão na vertente a barlavento, sendo máxima na sua parte superior. A maior parte do fluxo de ar tende a contornar o relevo, movimentando-se para a área de menor pressão.

Continua Lopes (2003), ao discorrer sobre o comportamento do vento sobre formas topográficas elevadas, que as linhas de corrente no topo do relevo provocam aumento da velocidade do vento, no entanto uma pequena parte desse fluxo de ar é defletido e desce a vertente a barlavento (também no sentido das baixas pressões), formando um turbilhão a barlavento (Bolster eddy) junto à base. Nesta área, o vento é fraco, turbulento e inconstante, e ocorre uma mudança de rumo junto à superfície, contrário ao fluxo de ar dominante. No topo do relevo ocorre uma nova separação do fluxo de ar, com a formação de novo turbilhão a sotavento, com as mesmas características do anterior (Figura 11).

Figura 11 - Fluxos de ar típicos em torno de relevos isolados com declives superiores a  $17^\circ$ . As setas indicam a direção do fluxo.

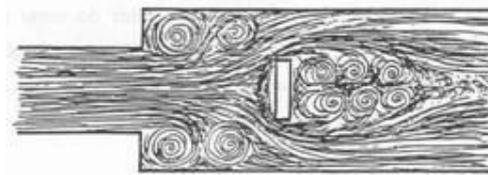


Fonte: Oke, (1987, p.185).

### 2.4.3 Efeitos de obstáculos urbanos no vento

Estudos sobre os efeitos dos obstáculos no vento são uma preocupação de muitos pesquisadores, desde há muito tempo. Saraiva (1994) afirma, por exemplo, que no final do séc. XIV já começavam a surgir pesquisas que procuravam compreender este comportamento, e destaca que Leonardo da Vinci já apresentava esboços de representação do desempenho do vento ao encontro de barreiras, como podemos observar na Figura 12.

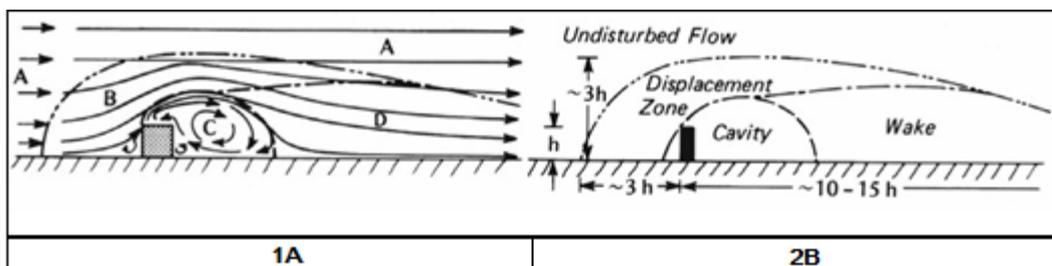
Figura 12 - Desenho produzido por Leonardo da Vinci em que procura representar graficamente o escoamento do vento em torno de um obstáculo.



Fonte: Saraiva (1994).

Mesmo conscientes da complexidade que é revestida o ambiente urbano, determinada pela sua variedade volumétrica, formas, geometrias e materiais distintos, além de usos diferenciados dentro do espaço urbano, adotamos a busca de padrões que já foram pesquisados, testados e publicados, para servirem de base conceitual do escoamento do vento quando encontra obstáculos urbanos. Neste sentido, destacamos inicialmente estudos apresentados por Oke (1987) na abordagem do comportamento do fluxo do vento junto ao solo e frente a obstáculos, onde são representadas em situações padrão, que conceituam o movimento do ar com seus fluxos e deslocamentos. Nas figuras 13 (1A – 2B) é apresentado o exemplo de uma estrutura prismática isolada e nela são apresentadas situações de escoamento do vento frente a sua direção, velocidade, intensidade e turbulência.

Figura 13 - Movimentos típicos do fluxo de ar normal em um obstáculo (1A – 2B)



Fonte: Adaptado de Oke, (1987, p. 265).

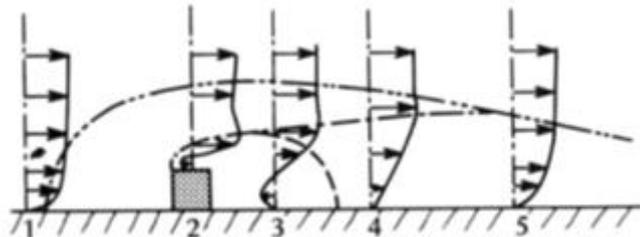
Na figura 13 (1A) em que o vento A, não perturbado, vai de encontro a um obstáculo impermeável, o fluxo em B sofre, em parte, um deslocamento de ar, antes de atingir

o obstáculo, causado pelo aumento da pressão sobre a parede. O fluxo de ar que chega até o obstáculo irá procurar outras direções, parte descerá, outra irá contornar o obstáculo pelas laterais ou fluirá por cima. Destaca Oke (1987) que os movimentos do ar, ao encontrar um obstáculo, promovem o desvio de movimentos centrífugos muito similares a um rodopio C, e que sua intensidade irá variar de acordo com a intensidade do vento, esses turbilhonamentos ocorrem tanto provocados por desvios do fluxo determinados pela parte de cima, quanto pelas laterais do obstáculo.

Ressaltando o fluxo de ar que sobe, representado na figura 13 (2B), terá o comportamento de criar uma zona de influência tridimensional em relação ao obstáculo, portanto, será a cotação da altura ( $h$ ) do obstáculo que irá determinar sua área de abrangência. No caso exemplificado pela Figura 22 (2B) de aproximadamente ( $\approx 3h$ ) de extensão, a montante e de aproximadamente ( $\approx 10$  a  $15h$ ), a jusante do obstáculo, como sendo de sua zona de influência vertical. No ponto acima do obstáculo, no topo, ocorre uma acentuada aceleração dos fluxos de vento que, ao superar a barreira, o fluxo expande e desacelera provocado pela disponibilidade de espaço que não consegue preencher. Depois de ultrapassar o obstáculo, o fluxo de ar inicia um processo de direcionamento descendente, chamada de zona de esteira (wake – D). Imediatamente a sotavento do obstáculo, a menor pressão gerada irá sugar o fluxo de ar, formando um turbilhonamento chamado de zona de cavidade (lee eddy – C).

Outro destaque observado por Oke (1985) é que a velocidade do ar ao nível do solo, (Figura 14) em função da rugosidade determinada pelo obstáculo, promoverá a diminuição da velocidade média do vento no conjunto de sua atuação. O vento não terá as mesmas características de sua forma anterior (1-5), e será tanto ou mais diferente na proporção de sua relação com o solo rugoso.

Figura 14 - Perfil do vento e fluxos de deslocamento frente a um obstáculo



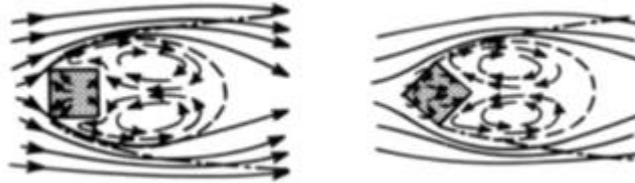
Fonte: Oke, (1987, p. 265)

A distorção mais significativa que se observa é o aumento do vento imediatamente acima do obstáculo (2), atingindo um máximo entre a zona de cavidade e a de

deslocamento, que corresponde a maior convergência das linhas de corrente. A sotavento do obstáculo (3), observa-se a atuação diferenciada dos fluxos de ar gerados pelas diferenças de pressão, originando a formação de turbilhonamentos na chamada zona de cavidade, fato que também promoverá a diminuição da velocidade do vento. Com o afastamento do vento do obstáculo (4) e (5), observa-se um realinhamento do fluxo junto ao solo, agora não mais com as mesmas características.

Em outra representação gráfica de Oke (1987), figura 15, o pesquisador procura demonstrar qual o comportamento do vento quando encontra edifícios com geometrias diferentes, ou com posicionamento geoespacial diverso. O destaque da representação recai na proporcionalidade dos efeitos da turbulência em relação ao obstáculo. Nas formas geométricas em que o vento atinge perpendicularmente o obstáculo, estas irão gerar efeitos de turbulência de maior proporção, enquanto as formas geométricas de menor impacto perpendicular promoverão movimentos de turbilhonamento menores.

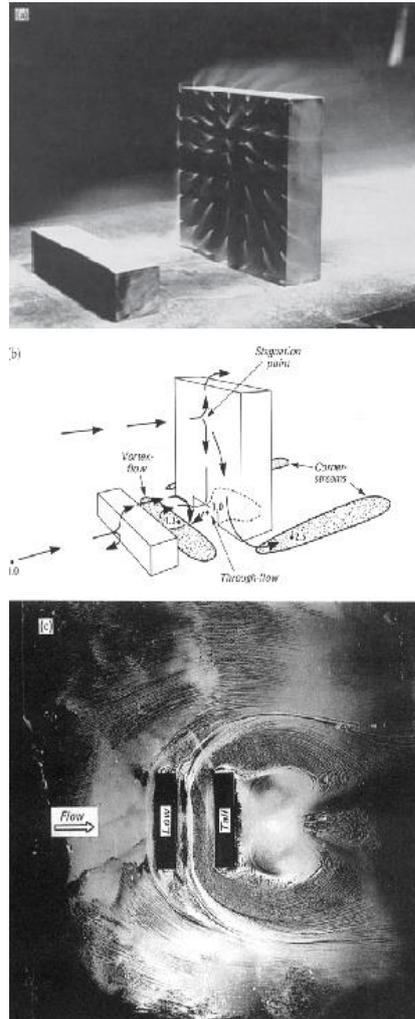
Figura 15 - Comportamento do vento frente a obstáculos geométricos diferentes.



Fonte: Oke, (1987, p. 265).

São também observados por Oke (1987), em experimento realizado, que o local de maior pressão do fluxo de vento será encontrado no ponto superior ao meio do obstáculo, à barlavento, na parte conhecida como ponto de estagnação (Figura 16). Nesta representação, observa-se o local que será responsável por causar a diminuição da velocidade do vento. Pode-se também observar que o fluxo de ar sofre um efeito de aceleração nas suas extremidades e gerando turbulência logo após o obstáculo.

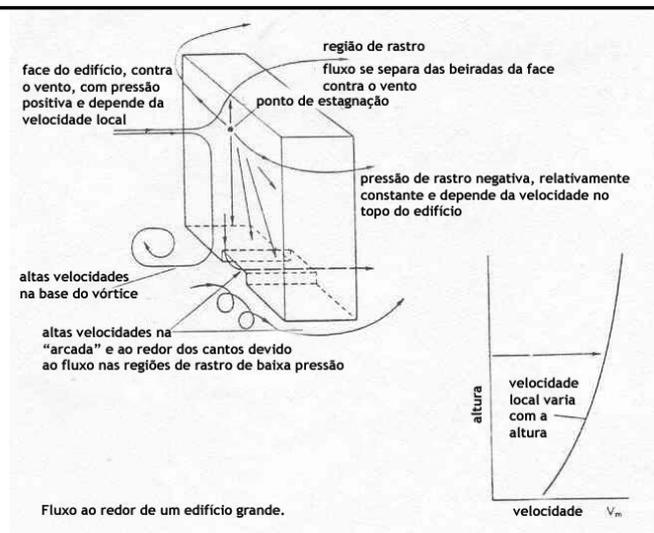
Figura 16 - Zonas de velocidade do vento ao nível do solo, resultante da combinação de elementos urbanos com características volumétricas distintas.



Fonte: Oke, (1987, p. 268-269)

Outro pesquisador, Saraiva (1994), também estudando a atuação dos fluxos de vento em obstáculos (Figura 17), confirmou que os ventos ao encontrarem um obstáculo irão promover o aumento da sua velocidade nas extremidades dos obstáculos e exercer maior pressão de efeito de rastro no topo, agindo ao mesmo tempo para promover um efeito de separação do vento, com repercussão na diminuição do gradiente de velocidade do vento na sua média, após a transposição do obstáculo. Saraiva (1994) também constatou que existem diferentes tipos de pressão que são exercidas pelo vento quando este encontra um edifício, e isto irá variar de acordo com a forma e disposição do obstáculo frente ao vento.

Figura 17 - Representação do campo de escoamento do vento em torno de uma forma prismática.

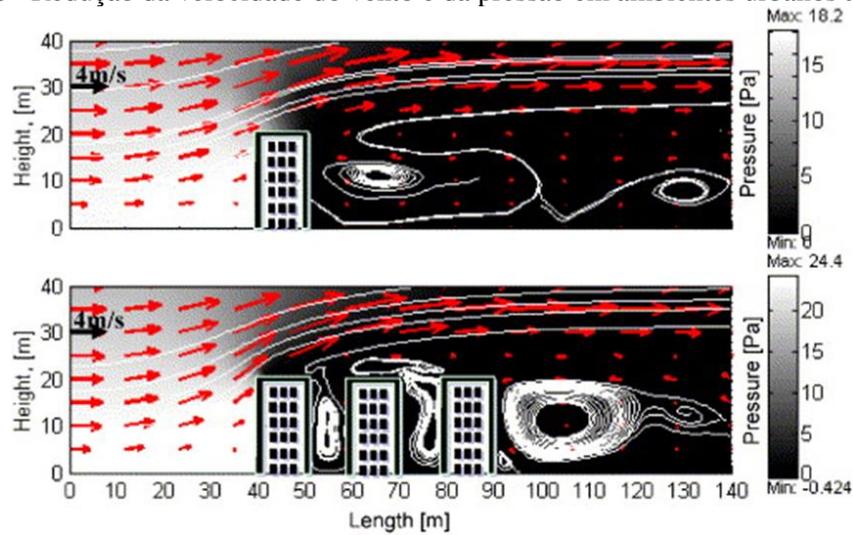


Fonte: Saraiva (1994, p.79).

Lopes (2003) também contribui com análises sobre o assunto, chegando a afirmar que em condições iguais de comportamento do vento frente a obstáculos, a velocidade do vento aumenta e pode mesmo chegar a triplicar em relação ao fluxo inicial de contato com o obstáculo, nas suas extremidades. Afirma ainda, que na relação do vento com as edificações, são vários os elementos que atuam para a sua configuração, a começar pela localização e disposição da topografia urbana, bem como de sua forma geométrica e posicionamento angular de construção, e, ainda, a da presença de outras construções no seu entorno, determinarão o gradiente de contato do vento e seu efeito de distribuição e redução de velocidade.

Com estudos mais detalhados e a partir de exemplos reais, Santamouris (2001) demonstrou, que edifícios situados em cânions urbanos na cidade de Atenas sofrem redução de até 90% nas taxas de fluxos de sua ventilação natural. Outro estudo que analisa como se comporta a ventilação natural em ambientes urbanos foi o realizado por Ghiaus (2006) na qual foram medidos os efeitos das principais variáveis ambientais (velocidade do ar, temperatura, nível de ruído e concentração de poluentes) em diversas geometrias de cânions urbanos com diferentes medições e utilizando de modelos computacionais. Os estudos apontaram como resultados que, se o vento é perpendicular aos cânions, ocorre uma diminuição acentuada de sua velocidade e, se o vento ocorre de forma paralela, gera vórtices internos. Identificou-se que a presença de varandas e sombreamento são também responsáveis por afetar a dinâmica da ventilação natural nos ambientes urbanos. (Figura 18)

Figura 18 - Redução da velocidade do vento e da pressão em ambientes urbanos adensados.



Fonte: Ghiaus et al (2006)

Colaborando na análise do efeito da ventilação natural sobre as edificações, Assis e Valadares (1995) apresentaram, em linhas gerais, um quadro representativo (Tabela 2), dos efeitos aerodinâmicos que o vento pode apresentar em contato com a rugosidade das edificações.

Tabela 2 - Efeitos aerodinâmicos do vento sobre conjuntos de edificações

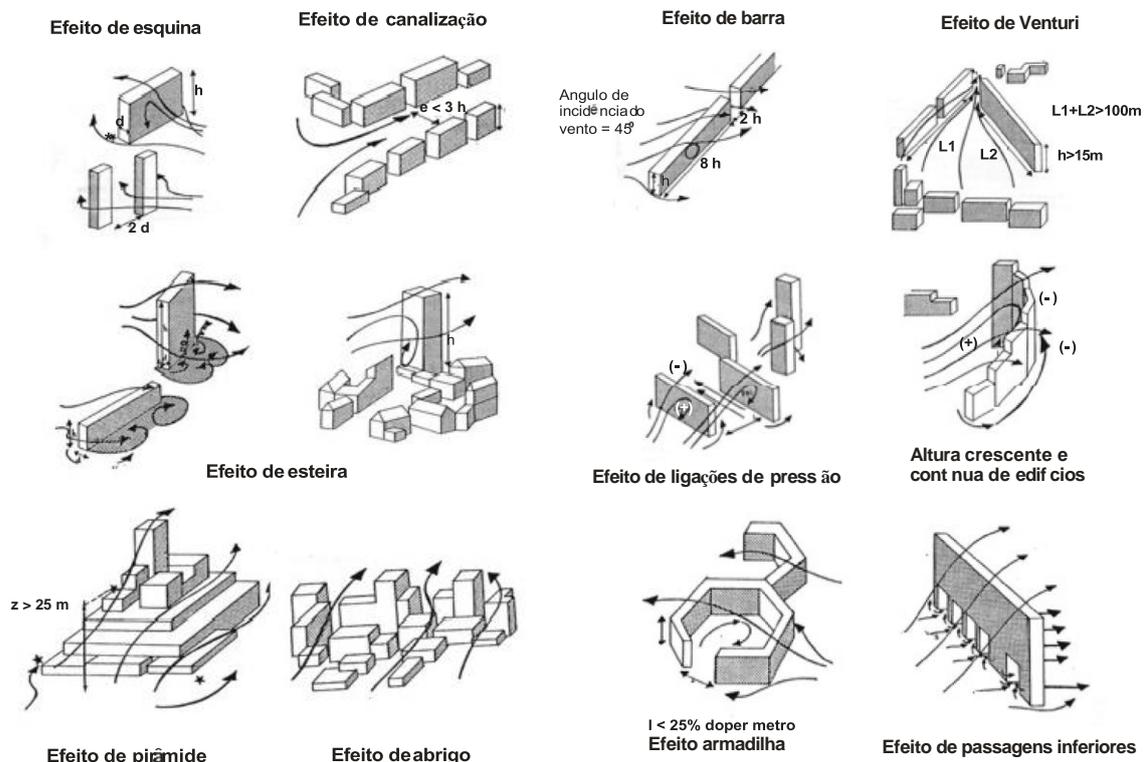
<i>Efeito</i>	<i>Definição</i>	<i>Características</i>	<i>Relações</i>
Efeito Pilotis	Escoamento através de pilotis que ligam as áreas em pressão positiva e negativa	Entrada de ar difusa, saída localizada	$h \geq 15m$
Efeito de Canto	Escoamento nos ângulos do edifício	Gradiente horizontal elevado e desconfortável para o pedestre. Quanto mais alto o edifício, pior o efeito	$h \geq 15m$ , para edifícios isolados; $h \geq 30m$ , para conjuntos de edifícios.
Efeito Esteira	Circulação em turbilhão atrás do edifício	Zona de turbulência incômoda na parte posterior do edifício	$15m \leq h \leq 35m$ , o efeito persiste por cerca de 4h, por uma área de 2e de cada lado do edifício
Efeito Turbilhão ao Pé do Edifício	Rolo turbilhonar ao pé da face do edifício exposta ao vento	Zona de turbulência incômoda ao pé do edifício. O efeito é reforçado pela presença de um edifício mais baixo ( $10h/15m$ ), à frente ( <i>Efeito Wise</i> )	$h \geq 15m$
Efeito Barreira	Desvio em espiral do escoamento, ao cruzar um edifício com ângulo de incidência de cerca de $45^\circ$	Zona de turbulência incômoda na parte posterior central do edifício. O efeito ocorre em edifícios com forma mais alongada	$h < 25m$ e $\geq 8h$ ; $d \leq h$ ; o efeito persiste por cerca de 2h
Efeito Venturi	Um coletor formado pela disposição dos edifícios faz um ângulo aberto ao vento	Saída em jato, muito incômoda na área de estrangulamento	$h > 15m$ ; $c_1 + c_2 = 100m$

Efeito União de Zonas de Pressão Diferentes	Escoamento entre zonas de pressão diferentes formadas pela disposição de edifícios paralelos	Influência preponderante da altura dos edifícios, provoca alteração na direção do vento	$h \geq 15m$ ; $d' \leq h$ ; $a \geq h$ ; para $h > 100m$ , $d' = e/4$
Efeito de Canalização	Escoamento por um conjunto construído que forma um corredor aberto	Não é, por si só, causa de incômodo, a não ser quando associado a outro efeito ou quando a velocidade do vento é muito grande	$h \geq 6m$ ; $d' < 2h$
Efeito Pirâmide	Escoamento através de um conjunto de edificações destacado e de forma piramidal	Esta forma dissipa o máximo da energia eólica, em qualquer direção do vento. Alta turbulência	Áreas críticas são os cantos dos edifícios e os terraços ou varandas
Efeito de Malha	Escoamento através de um arranjo de edifícios que forma pátios centrais ou bolsões	O pátio central pode ser protegido do vento ou, pelo contrário, há interesse em que seja ventilado	$h > e$ ; $b \leq P/4$ ; $S/h^2 \leq 10$ para $15m \leq h \leq 25m$ (efeito de proteção)

Fonte: Assis e Valadares (1995)

De modo mais representativo, Gandemer (1975, apud LOPES, 2003), apresenta também uma síntese de como se manifestam os efeitos aerodinâmicos do vento quando este encontra estruturas urbanas em formatos diversos. (Figura 19)

Figura 19 - Cenários dos efeitos do vento em torno do conjunto de edificações



Fonte: Gandemer (1975, apud LOPES, 2003)

De modo geral os efeitos do comportamento do vento frente a diversas formas de obstáculos foram estudados e identificados. A sistematização promovida por Gandemer (1975), lembra Lopes (2003), foi desenvolvida para identificar os efeitos da ventilação e suas

implicações para o conforto mecânico dos indivíduos. Foi testada em situações reais de túnel de vento e passou a ser amplamente utilizada em manuais de planejamento urbano.

#### **2.4.4 Efeitos do ambiente urbano no vento**

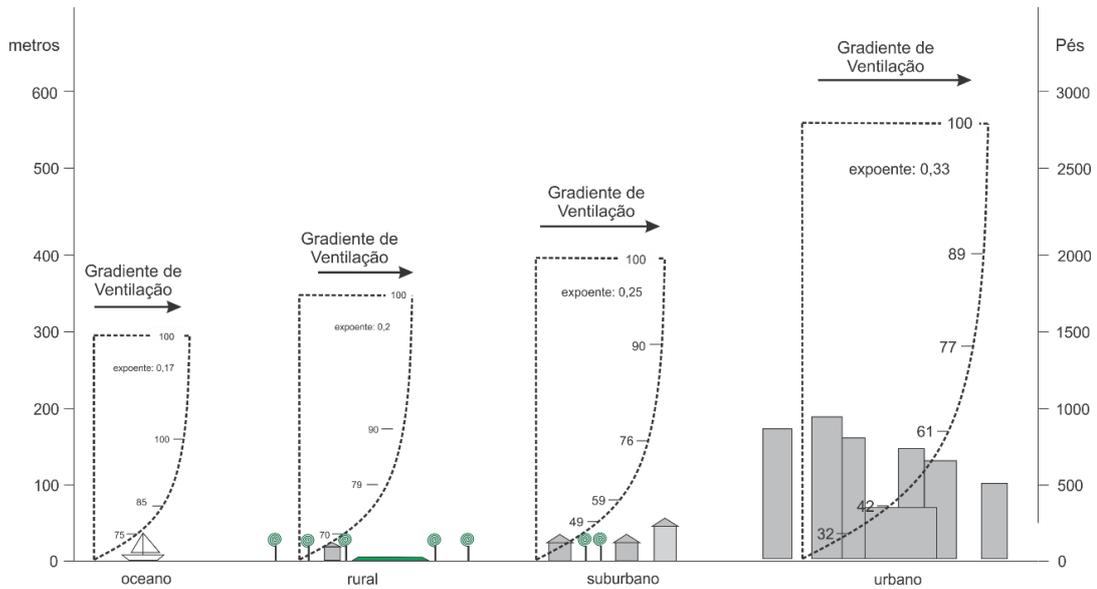
A penetração do vento na cidade é altamente influenciada pela geometria e pela orientação das edificações, sendo, portanto, fundamental a compreensão dos seus efeitos aerodinâmicos gerados pelas estruturas urbanas no seu conjunto.

Em estudos do vento no ambiente urbano por Silva (2003) afirma como uma primeira premissa que o atrito entre o ar em movimento e a superfície urbanizada ocasiona uma força de arrastamento, com direção e sentido do escoamento contrário, que reduz a velocidade inicial do vento. Com o distanciamento do solo ocorre uma diminuição da intensidade do escoamento que se propaga por difusão.

O vento ao chegar na cidade sofre invariavelmente desvios, pois, ao ser afetado, modifica suas características de velocidade, o que provoca conseqüentemente uma diminuição da pressão inicial, determinando uma redução de velocidade e gerando turbulência no seu deslocamento. A cidade, com suas formas e características de distribuição topográfica, irá determinar como o vento se distribuirá sobre a malha urbana. As peculiaridades devidas às características urbanas de cada cidade impõem a necessidade de se identificar como se manifestam as condições regionais e locais do clima para com aquela cidade.

O vento, em contato com a superfície terrestre, sofrerá os efeitos da fricção de acordo com o grau de rugosidade que encontrar, o incremento da velocidade do ar ao longo de um eixo vertical (Figura 20) varia de zero na superfície, até uma velocidade expoente ao fluxo livre de obstruções (OKE, 1987). São também observados por Oke (1987) que, quando o vento atravessa diversas áreas como o mar, uma zona rural, uma região suburbana ou um centro urbano, distintos gradientes são produzidos, uma vez que a rugosidade da superfície é que irá determinar a sua configuração.

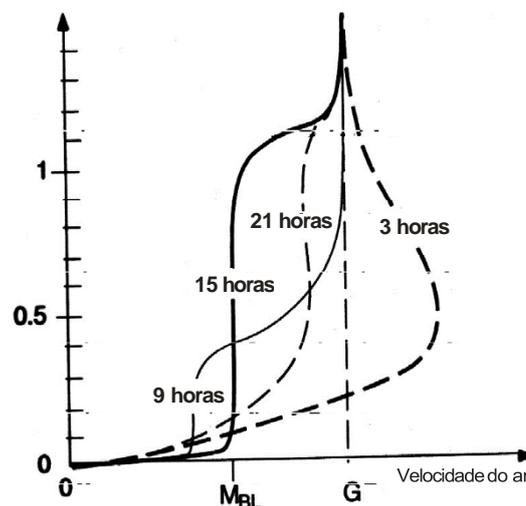
Figura 20 - Gradiente do vento para diferentes áreas



Fonte: Adaptado de OKE, (1987).

Em seus estudos do vento na camada limite urbana, Lopes (2003) observa que, quanto aos fluxos do ar em movimento, ocorre um ciclo diário de estabilidade/instabilidade, que corresponde a uma variação da velocidade do vento junto à superfície (Figura: 21).

Figura 21 - Perfis típicos do vento em condições atmosféricas de estabilidade sobre a superfície.



Fonte: Adaptado de STULL (2000) apud LOPES (2003).

Nota: G - Velocidade média do vento geostrófico; MBL- Velocidade média do vento na camada limite atmosférica (CLA)

Considerando-se, por exemplo, uma área plana e com pouca rugosidade, cujo nascer do sol ocorra às 9h00min, haverá uma camada de mistura pouco espessa, onde os ventos são uniformes em altura. À medida que o dia avança esta camada de mistura aumenta

(15h00min). Depois do pôr do sol, por volta das 21h00min a intensidade da turbulência diminui e reduz-se a velocidade do vento junto ao solo. Novamente, no dia seguinte, com o nascer do sol o turbilhão se inicia e aumenta a mistura vertical, promovendo um novo ciclo.

#### **2.4.5 Importância do vento para o ambiente urbano**

A ventilação natural tem sua influência e é reconhecida por diversos autores como fundamental para a geração do conforto térmico urbano (Olgyay, 1992; Givoni, 1998; Katzschner, 1999; Bittencourt, 2008; Alcoforado, 2006; Monteiro, 1975 e outros). Sua importância torna-se ainda mais relevante em função da localização geográfica da cidade. Isto porque se a cidade se localizar em baixas latitudes, a ventilação natural exerce a principal função de amenizar a temperatura, gerando ambientes que promovem conforto térmico. Ressalta-se, também, que o vento tem a função de ser responsável pela dispersão de poluentes. A compreensão de sua dinâmica, principalmente no ambiente urbano, torna-se fundamental para o planejamento e organização do desenvolvimento da cidade que tenha como foco a promoção do crescimento com equilíbrio ambiental e qualidade atmosférica.

A ventilação como estratégia bioclimática para a geração de conforto humano é considerada frequentemente como a mais eficiente para ambientes urbanos, além de ser a mais econômica, e é socialmente mais justa, pois atinge a todas as pessoas que utilizam dos espaços urbanos. Enquanto os mais ricos podem se proteger do calor em seus automóveis com ar condicionado ou em ambientes refrigerados e de arborização planejada, os de baixa renda não dispõem de recursos e dependem fundamentalmente de um planejamento urbano que leve em conta a manutenção do conforto térmico em espaços de constante crescimento tanto horizontal e vertical. O vento, portanto, torna-se um dos mais importantes elementos da atmosfera para a geração de conforto térmico humano nas cidades brasileiras e, em especial, das cidades litorâneas nordestinas.

Em climas tropicais quentes e úmidos ocorre pouca amplitude térmica do ar ao longo do dia e da sua sazonalidade anual, os valores de umidade do ar são sempre altos. Durante boa parte do ano ocorre radiação difusa em função da grande quantidade de nuvens e sua luminosidade é sempre alta. Observa Bittencourt (2008) que, em cidades de climas quentes e úmidos, o movimento do ar pode ser usado para dois objetivos complementares: o primeiro é de promover o resfriamento fisiológico, refere-se ao efeito refrescante provocado pela evaporação do suor da pele e pelas trocas de calor por convecção, que ocorrem quando o

fluxo de ar entra em contato com o corpo humano; o segundo objetivo é de resfriar os edifícios em si, aquecidos pela radiação solar e pelos ganhos internos (produzidos pelos ocupantes, pelos aparelhos elétricos, pela iluminação artificial, etc). Bittencourt (2008) afirma ainda que a velocidade dos ventos é que vai determinar a intensidade desse resfriamento e da sensação de conforto térmico. Destaca também, a importante função que o vento exerce para a geração de conforto quando relacionado à umidade do ar, isto porque em cidades de baixas latitudes o alto índice de umidade do ar, que ocorre por todo o ano, é também responsável por gerar sensação de desconforto fisiológico quando da ausência do vento ou de baixa velocidade.

Segundo Moreno (2001), as texturas e rugosidades do conjunto das edificações nas cidades tendem a reduzir a velocidade do vento, ao passo que determinadas volumetrias ou disposições aceleram os ventos. O vento ao adentrar o meio urbano, sofre alterações no seu direcionamento, intensidade e fluxos, os desvios que ocorrem em seu contato geram atritos com a superfície urbanizada provocando uma redução de sua pressão e velocidade. Afirma Givoni (1992) que o vento é o elemento do clima que mais facilmente pode ter seu comportamento alterado e, ao mesmo tempo, controlado pelo desenho urbano, e que a densidade construída, a altura e a largura dos edifícios, a orientação das ruas, e o espaçamento entre as edificações, como também o tamanho e a distribuição das áreas livres são responsáveis pela permeabilidade do meio urbano.

A produção do espaço urbano vem constantemente sendo afetada com o uso e ocupação desorientada do solo, com a alteração no gabarito e espaçamento dos edifícios, com a redução de áreas verdes e amplas, tudo, em grande parte, para atender aos interesses de acumulação do capital. Essas alterações provocam barramentos na circulação dos ventos, criação de canais através das construções e o aumento na temperatura local.

O atrito do vento nas superfícies urbanizadas é altamente influenciado pela geometria e direcionamento dos objetos urbanos e promove a diminuição de sua velocidade, como também afirma Chandler (1976). O processo de urbanização é responsável por alterações significativas nos fluxos dos ventos, reduzindo a velocidade do ar próximo à superfície. Os edifícios, dada a sua relevância quantitativa para a cidade, são os mais impactantes nos fluxos do vento no meio urbano. Em condições normais de escoamento, o edifício divide as correntes que incidem em sua fachada, acelerando o ar junto às suas arestas, criando condições altamente turbulentas no solo e vórtices na região imediatamente posterior,

conclusões que podemos encontrar em pesquisas de Givoni (1976), Chandler (1976), Olgyay (1992).

Prata (2005) lembra que, ao nível do usuário/pedestre, os escoamentos são estabelecidos pela complexa interação entre o vento e o meio construído. As dimensões, formas e justaposições dos elementos que compõem a cidade definem zonas de baixas e altas pressões ao redor dos elementos/edifícios, que podem gerar ou não aceleração do vento.

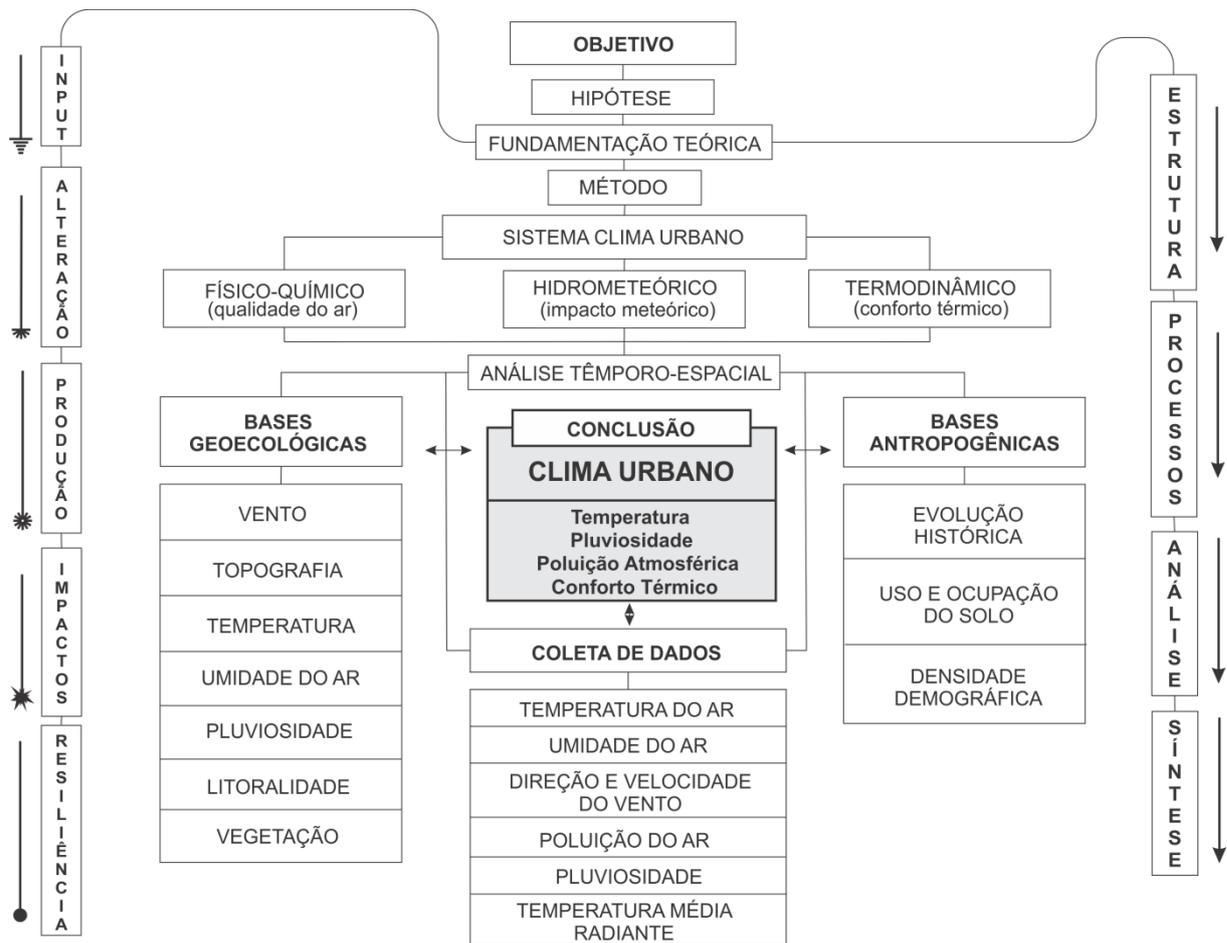
O vento ao nível do solo, em sua configuração de velocidade e direção sofrerá alterações quando encontrar qualquer estrutura urbana, e essas alterações na ventilação natural serão determinadas em função de como se organiza a urbe. A conformação das estruturas urbanas frente à ventilação será de extrema importância para a geração do conforto ambiental do cidadão. A forma, comprimento, largura, altura, espaçamento dos edifícios são características que influenciam decisivamente para a formação de ambientes salubres e de conforto, ou não. O planejamento urbano precisa ser pensado tendo em conta as consequências das decisões relacionadas aos efeitos negativos e positivos da ventilação natural, é responsabilidade dos gestores públicos e da sociedade o futuro da cidade.

### **3 MÉTODOS, TÉCNICAS, MATERIAIS E EQUIPAMENTOS**

#### **3.1 Diagrama Metodológico**

O que se propõe é uma síntese metodológica no qual são identificadas as principais etapas da produção científica que fundamentou os objetivos e desenvolvimento de todo o trabalho de tese.

Quadro 2 - Estrutura metodológica



Fonte: Autor

Pautado por uma visão sistêmica da paisagem que procura integrar a sociedade e a natureza com vista ao seu planejamento, a estrutura da proposta metodológica tem no centro do diagrama a sua conclusão que visa evidenciar o sistema clima urbano da cidade de São Luís. O método aplicado foi precedido e amparado nos objetivos, na hipótese proposta e na fundamentação teórica. A concepção adotada na representação é de que a fundamentação teórica "abraça" e "acompanha" todo o desenvolvimento do trabalho. Os termos utilizados neste envolvimento da fundamentação apontam para as linhas de pensamento presentes no progresso de toda a pesquisa. Os três eixos de proposta metodológica do SCU estão alicerçando o desenvolvimento da pesquisa nas análises têmporo-espaciais, que também se dividem em três grandes eixos de dados (Bases Geoecológicas, Bases Antropogênicas e Coleta de Dados) que foram adquiridos ou gerados (coletados) para serem processados por meios técnicos na produção dos mapas, gráficos e tabelas, os quais auxiliaram na

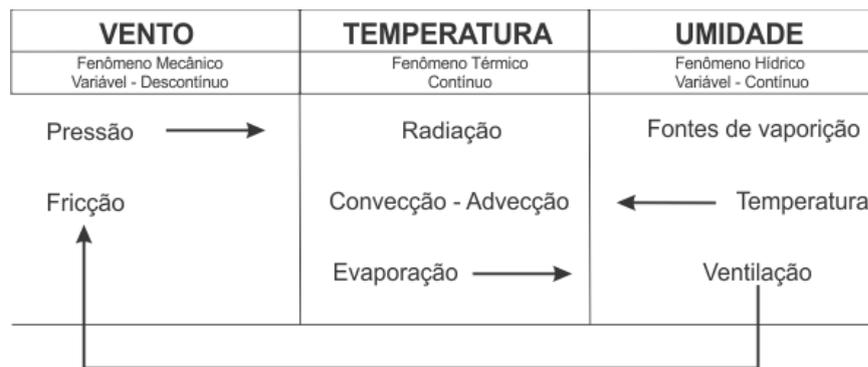
interpretação dos eventos geográficos presentes na configuração do sistema clima urbanos da área em estudo.

### 3.2 Métodos e técnicas utilizados na investigação do clima urbano de São Luís

Com a adoção da proposta do SCU, a pesquisa passou a dar destaque tanto às condições atmosféricas que atuam na cidade quanto às configurações topológicas do sítio urbano e da distribuição da malha urbana. Os métodos e técnicas que foram adotados nesta pesquisa tiveram como objetivo utilizar conceitos e práticas que buscassem compreender a dinâmica existente entre o clima e a cidade.

Destaca-se também na pesquisa a produção das configurações de desempenho dos fluxos do vento na área em estudo. Compreende-se que, para cidades no nordeste brasileiro, é fator preponderante para amenizar a temperatura e gerar índices de umidade do ar favoráveis que irão promover valores de conforto térmicos humanos positivos aos seus cidadãos. Segundo Sampaio (1981), em apontamentos de aulas do curso de Climatologia Urbana na USP ministrado pelo Prof. Carlos Augusto F. Monteiro, este já indicava esquematicamente a importância do vento, da temperatura e da umidade do ar como elementos atmosféricos contributivos para o entendimento do clima das cidades e do conforto térmico humano (Tabela 3).

Tabela 3 - Apontamentos de aulas do Prof. Carlos A. F. Monteiro



Fonte: Sampaio (1981, p.22)

A tese adotou a proposta metodológica do SCU e desenvolveu os três eixos do seu subsistema na caracterização do clima urbano da área em estudo, deste modo a pesquisa utilizou-se de um conjunto de métodos e técnicas que interagem e se complementam nas diferentes formas de procedimentos de coleta de dados atmosféricos, como também na

aplicação do tratamento dos valores encontrados para identificação da configuração do Sistema Clima Urbano da cidade de São Luís do Maranhão.

Para a determinação do subsistema termodinâmico foi realizada a coleta de dados atmosféricos de temperatura do ar e umidade do ar por transecto móvel automotivo que, utilizando-se um termo-higrômetro digital protegido por um solar *shield* acoplado a um datalogger, percorreu os principais bairros da cidade coletando dados atmosféricos, em velocidade controlada de 30km/h, cujo traçado foi pré-determinado através de sensoriamento remoto por imagens de satélite do canal infra-vermelho termal, com objetivo de abranger toda a área urbana da cidade em diferentes condições de vegetação e urbanização, passando por locais de variações térmicas mais significativas para a pesquisa. Com os dados coletados dos transectos foram produzidos mapas da temperatura urbana e mapas higrométricos de São Luís utilizando do software Surfer v13 na função interpolação por krigagem.

Uma outra técnica utilizada foi a instalação provisória (24 horas) de uma estação meteorológica portátil em 5 (cinco) campanhas ao longo de 2 (dois) anos com os seguintes aparelhos: um termo-higrômetro, um anemômetro de direção e velocidade de vento e um termômetro de globo de cor cinza, todos conectados a um datalogger. Esses parâmetros meteorológicos foram necessários para a determinação do índice PET (Physiological Equivalent Temperature). O qual foi utilizado na pesquisa para produzir os valores do conforto térmico humano na orla litorânea da cidade e no centro da cidade. Como a pesquisa possuía somente uma estação, esta foi instalada em dois locais estratégicos da cidade e em dias sequenciais de condições atmosféricas iguais. A estação foi instalada a barlavento e a sotavento da orla litorânea da cidade para comparação e constatação da influência que a verticalização urbana da cidade está provocando na dinâmica do vento, e, assim, identificar se estão ocorrendo impactos negativos no conforto térmico humano dentro da cidade e quais os seus índices de variabilidade. A pesquisa utilizou dos parâmetros de calibração para os índices de conforto térmico PET produzidos por Andrade, et al (2016) para a cidade de Salvador. O software RayMan Pro v2.1 foi utilizado para a geração do índice PET de conforto térmico humano dos dados coletados pela estação portátil.

Ressalta-se também que foram coletados dados meteorológicos de estações fixas de entidades públicas e privados, localizados dentro da área urbana da cidade, são elas: CEMADEN, INMET, INPE/UEMA, AERONÁUTICA/Aeroporto, EMBRAPA e Companhia VALE S.A. Os dados coletados auxiliaram com informações históricas do clima da cidade,

permitiram na caracterização da direção e velocidade do vento na cidade, na identificação das condições físico-químico de poluição da cidade e na compreensão hidrometeorológico da pluviosidade da cidade.

Imagens de satélite foram utilizadas para estabelecer a delimitação georreferenciada do perímetro urbano da cidade e a geração de imagens termais em três anos distintos 2015, 2016 e 2017. A imagem termal produzida do ano de 2015 foi a que serviu de base para a escolha dos transectos realizados nos anos seguintes de 2016 e 2017. Com as imagens também foi possível identificar como se distribui o campo térmico dentro do município e de sua zona urbana, a distinção dos microclimas existentes e, por último, as diferenciações das temperaturas entre áreas rurais e urbanas e seus valores de variabilidade.

### **3.3 Equipamentos e aferição**

A estação meteorológica portátil utilizada na coleta de dados da pesquisa teve alguns de seus equipamentos aferidos junto a empresa especializada em aferição e calibragem chamada Medição Soluções Metrológicas Integradas Ltda certificada pela Rede Brasileira de Calibragem (Anexo A) e localizada no endereço Avenida São Luís Rei de França, 19, Turu, São Luís, Maranhão. Com os resultados identificados foi possível atestar a confiabilidade dos equipamentos e dos dados coletados para a pesquisa.

#### **3.3.1 Estação meteorológica portátil**

A estação meteorológica portátil utilizada na pesquisa possuía datalogger, uma placa fotovoltaica de geração de energia através da radiação solar, um anemômetro de velocidade e direção do vento, um termômetro de globo na cor cinza e um termohigrômetro. Os equipamentos que compõem a estação são da marca Onset-Hobo (Foto 4).

Foto 4 - Foto da estação meteorológica portátil - Marca Onset-Hobo



Fonte: Autor

Os equipamentos termômetro de globo e termohigrômetro foram os equipamentos da estação meteorológica que tiveram suas medidas aferidas pela empresa de calibragem.

A certificação ocorreu com a tomada de 6 (seis) medidas diferentes de temperatura para o termômetro de globo e do termo-higrômetro e 5 (cinco) medidas diferentes de umidade do ar do termo-higrômetro. As temperaturas aferidas foram a 2°C, 8°C, 15°C, 30°C e 40°C e para os índices de umidade do ar de 20%, 30%, 50%, 70% e 90%, cujos resultados seguem abaixo:

### **3.3.1.1 Aferição termômetro de globo**

A foto 5 identifica o globo cinza, no qual foi aferido o termômetro instalado dentro do equipamento.

Foto 5 - Foto do globo cinza utilizado para a geração da temperatura radiante média



Fonte: Autor

Na tabela 4 os valores produzidos após a aferição.

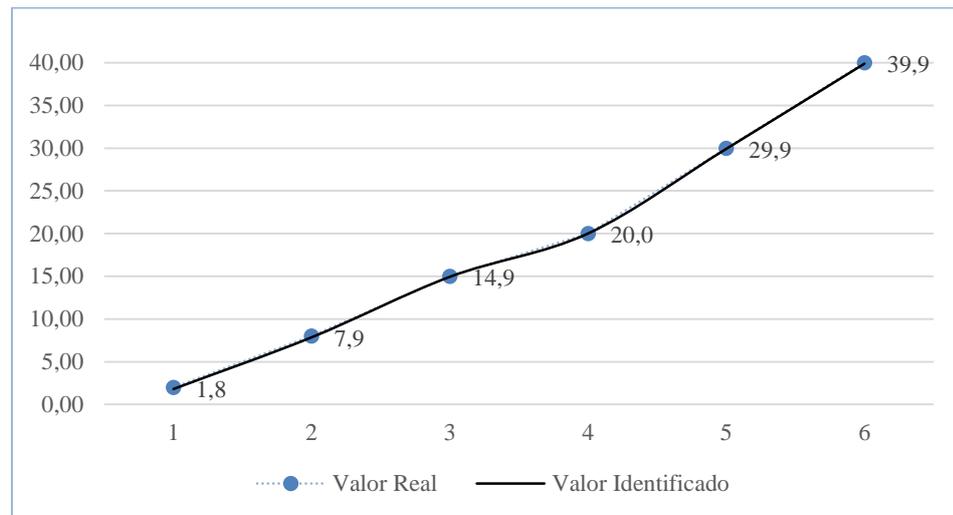
Tabela 4 - Comparativo do valor real e valor identificado na aferição do termômetro de globo

Temperatura °C	
Valor Real	Valor Identificado
2,00	1,8
8,00	7,9
15,00	14,9
20,00	20,0
30,00	29,9
40,00	39,9

Fonte: Autor

Para uma melhor visualização dos resultados encontrados gerou-se o gráfico da Gráfico 1.

Gráfico 1 - comparativo do valor real e valor identificado na calibração termômetro de globo



Fonte: Autor

Após a análise dos resultados constatados pela empresa Medições Soluções Metrológicas Integradas Ltda., comprovou-se que o equipamento termômetro de globo está em consonância com os padrões exigidos de qualidade e dentro da margem de erro do fabricante, portanto apto para a realização da pesquisa.

### 3.3.1.2 Aferição do termohigrômetro

Foto 6 - Termohigrômetro digital protegido por solar shield



Fonte: Autor

Na tabela 5 os valores produzidos após a aferição.

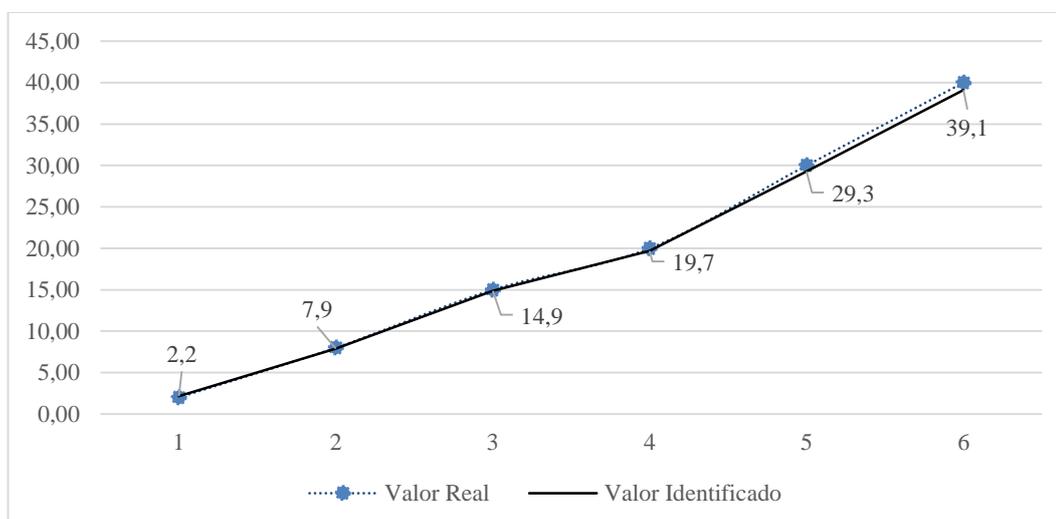
Tabela 5 - Comparativo do valor real e valor identificado na calibração da temperatura e da umidade relativa do ar do termohigrômetro.

Temperatura (°C)		Umidade Relativa do Ar (%)	
Valor Real	Valor Identificado	Valor Real	Valor Identificado
2,00	2,2	20	20,1
8,00	7,9	30	30,4
15,00	14,9	50	50,7
20,00	19,7	70	71,0
30,00	29,3	90	91,3
40,00	39,1		

Fonte: Autor

Para uma melhor visualização dos resultados encontrados, geramos o gráfico 2 da temperatura e o gráfico 3 para a umidade relativa do ar.

Gráfico 2 - Comparativo do valor real e valor identificado na calibração da temperatura registrada no termohigrômetro.

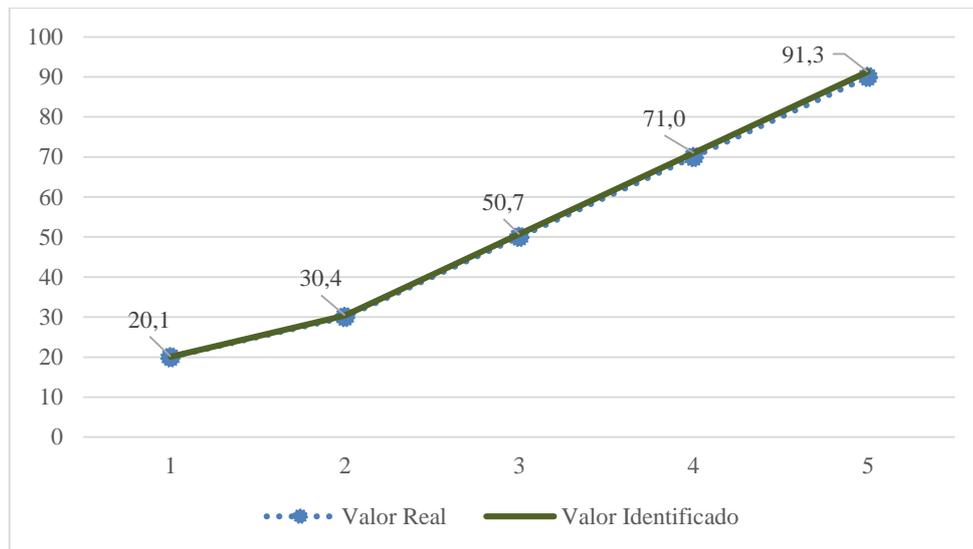


Fonte: Autor

Identificamos que a temperatura do termohigrômetro foi o que apresentou os valores mais dessemelhantes, isto ocorreu em 2 (duas) das 6 (seis) medições de temperatura em comparação com os valores reais, a ocorrência se manifestou nas medições de 30°C e 40°C que apresentaram desvios de -0,7°C e -0,9°C. Observando-se as informações fornecidas pela empresa Hobo-Onset, em seu manual, para o equipamento termohigrômetro, constatamos que a margem de erro do equipamento de fábrica para temperaturas acima de 30°C é de

0,5°C. Muito próximo, portanto, dos valores aferidos. Avaliou-se que, apesar de apresentar valores fora da margem de erro em dois dos seis valores medidos, não haveria comprometimento significativo da utilização do equipamento para a pesquisa.

Gráfico 3 - Comparativo do valor real e valor identificado na calibração da umidade do ar registrada no termohigrômetro.



Fonte: Autor

Com relação aos valores de umidade do ar, o maior erro de medição foi encontrado quando a umidade real estava em 90%, apresentando um valor identificado de 91,3%, portanto uma diferença de 1,30% de umidade do ar, considerada perfeitamente aceitável dentro da margem de erro das incertezas do fabricante.

Conclui-se que os valores que foram aferidos e certificados pela empresa Medições Soluções Metrológicas Integradas Ltda (Anexos 2 e 3) dos equipamentos termômetro de globo e do termohigrômetro digital confirmam que os equipamentos estavam aptos para realizarem a pesquisa e que a margem de erro identificada, em algumas medições, são de valores que não comprometem a produção de dados meteorológicos de valor científico para a tese.

## 4 ASPECTOS GEOGRÁFICOS DA CIDADE DE SÃO LUÍS

### 4.1 Notas sobre a história de São Luís e sua evolução urbana e demográfica

A cidade de São Luís foi fundada no dia 8 de setembro de 1612 por uma frota de navios franceses comandados por Daniel de La Touche, senhor de La Ravardière, com objetivos de fundar no Maranhão a França Equatorial. O nome da cidade é uma homenagem dada ao rei da França Luís XIII depois rebatizado de Luís IX. O rei Luís ficou popular pois morreu numa Cruzada na Idade Média, sendo posteriormente canonizado pela Igreja Católica. Relata D'Abbeville (1632) que dois anos depois, em 19 de novembro de 1614, o português Jerônimo de Albuquerque, sob as ordens do governador-geral do Brasil, Gaspar de Sousa, expulsa os franceses do Maranhão na batalha de Guaxenduba. A cidade passou por um curto período de tempo sob o domínio holandês (1641) para ser reconquistada definitivamente pelos portugueses no ano de 1644.

O crescimento urbano de São Luís foi caracterizado por uma evolução lenta e linear até a década de 1950. Registra-se que até esta época toda a extensão urbana da cidade ocupava uma área territorial de, no máximo, 664 hectares, com uma população total de 70.731 habitantes (IBGE, 2000). O caráter linear era marcado por uma ocupação que se restringia apenas a dois núcleos urbanos: um administrativo e econômico no centro e outro industrial localizado na Vila Anil, região a sudeste do centro, cuja ligação era realizada por bondes.

Segundo Brunett (2009), somente no ano de 1958 é que surge a primeira tentativa de organização planejada de expansão urbana com o Plano de Expansão da Cidade de São Luís, elaborado pelo engenheiro Rui Mesquita. Porém, o que de fato marca o início efetivo da expansão da cidade, ocorre no ano de 1960 com a construção da Barragem do Bacanga e a construção da Avenida dos Portugueses, permitindo a expansão da cidade para os recém-criados bairros do Anjo da Guarda e Vila Embratel. No início dos anos 1970, incentivados pela euforia econômica do regime militar, foi construída a Ponte do São Francisco<sup>1</sup>, com recurso federais, o que permitiu o acesso às praias e de toda sua orla litorânea. A Ponte do São Francisco facilitou e acelerou a ocupação de toda uma extensão territorial da cidade, antes pouquíssimo habitada. Uma cidade com arquitetura contemporânea e moderna começou a surgir com força, margeando toda a orla litorânea. No ano de 1977 foi criado o Plano Diretor da Cidade de São Luís pelo escritório Wit-Olaf Prochnik, Arquitetura e Planejamento S.L.C.,

---

<sup>1</sup> Iremos adotar a denominação que primeiro foi batizado, e de cunho popular de Ponte do São Francisco em oposição ao nome oficial Ponte Gov. José Sarney por entender que a denominação de pessoas vivas para bens público são proibidas pela Constituição Federal. Art. 1º - Lei nº 12.781, de 10 de janeiro de 2013.

que seguiu a lógica funcional do Plano de Expansão de 1958 e regulamentou o espaço urbano de toda a cidade. (BURNETT, 2009).

Ferreira (2008) observa que também dois outros eventos de impacto econômico foram fundamentais para a configuração urbanística da cidade e contribuíram de forma decisiva para o aumento populacional e expansão urbana. O primeiro foi a implantação do Complexo Portuário – Industrial e Ferroviário da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) e do Consórcio Alumínio do Maranhão (ALUMAR) e o segundo, a construção e asfaltamento da BR-135 e da Ponte Estreito dos Mosquitos que viabilizou o acesso terrestre à Ilha do Maranhão e à cidade de São Luís, até então somente realizada por via ferroviária e marítima.

No ano de 1982 foi aprovado um novo Plano Diretor da cidade, permitindo a construção de prédios de até 6 pavimentos nos bairros São Francisco, Ponta d'Áreia e Renascença II. Antes, o município permitia a verticalização desses bairros em no máximo 5 pavimentos pelo Plano Diretor de 1977, e a partir de 1982, iniciou-se então a consolidação de um novo perfil construtivo para bairros de classe média que avançavam em direção à orla litorânea.

Uma nova reforma do Plano Diretor da Cidade ocorreu no ano de 1992, cuja nova redação passou a constar a Lei de Zoneamento que permitiu a ocupação de vazios urbanos, em algumas zonas, com prédios de até 15 andares, verticalizando aceleradamente alguns bairros da orla litorânea da cidade.

Foto 7 - Praia da Ponta D'Áreia, orla litorânea de São Luís.



Fonte: Autor, 2016.

Em 2015, a Prefeitura de São Luís iniciou mais uma nova proposta de atualização do Plano Diretor da Cidade e da Lei de Zoneamento, através da minuta da nova Lei, disponibilizada no site da Secretaria das Cidades (INCID), propõe para análise em audiências públicas, permissão para a construção de prédios de até 31 andares, em uma zona próximo da orla, desde que se atendam a alguns requisitos de ordem ambiental e urbanística, além de uma série de outras propostas relacionadas à alteração de espaçamento entre os prédios e número de vagas na garagem.

Nos dias atuais o perímetro urbano do município ocupa uma extensão de 157,56 km<sup>2</sup> de um total de 831,7 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016). Sua população apresenta indicadores de crescimento acentuado, conforme pode ser observado na Tabela 6 e Gráfico 4.

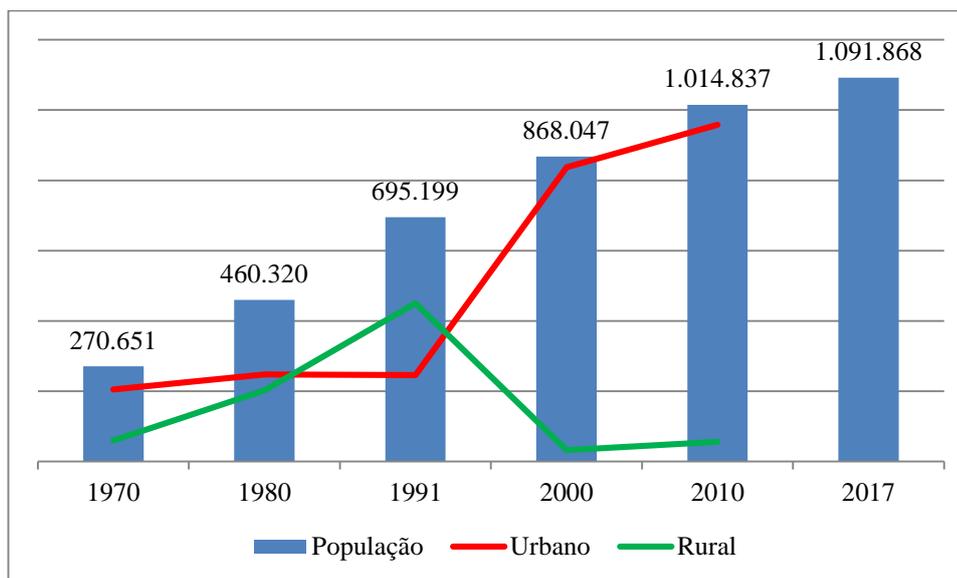
Tabela 6 - Evolução populacional do município de São Luís

<b>EVOLUÇÃO POPULACIONAL DE SÃO LUÍS - MA</b>			
<b>ANO</b>	<b>RURAL</b>	<b>URBANA</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1970</b>	59.974	205.512	270.651
<b>1980</b>	202.041	247.392	460.320
<b>1991</b>	450.127	246.244	695.199
<b>2000</b>	32.444	837.584	868.047
<b>2010</b>	56.315	958.522	1.014.837
<b>2017</b>			1.091.868*

Fonte: IBGE - Censo Demográfico - \*Estimativa em 1º de julho de 2017

Os dados de população representam também que é em São Luís que se concentra a maior densidade demográfica do estado do Maranhão com 1.215,69 hab/Km<sup>2</sup>. Do total da população de São Luís, apresentado no Censo Demográfico do IBGE de 2010, constatou-se uma população residente na zona urbana do município de 958.522 mil habitantes representando, portanto, uma porcentagem de 94,45% de sua população total. São números significativos que demonstram como sua distribuição pelo território maranhense e ludovicense é concentrado na sua zona urbana.

Gráfico 4 - Evolução populacional de São Luís – MA (1970 – 2015) - Os valores do ano de 2017 são estimativas produzidas pelo IBGE.



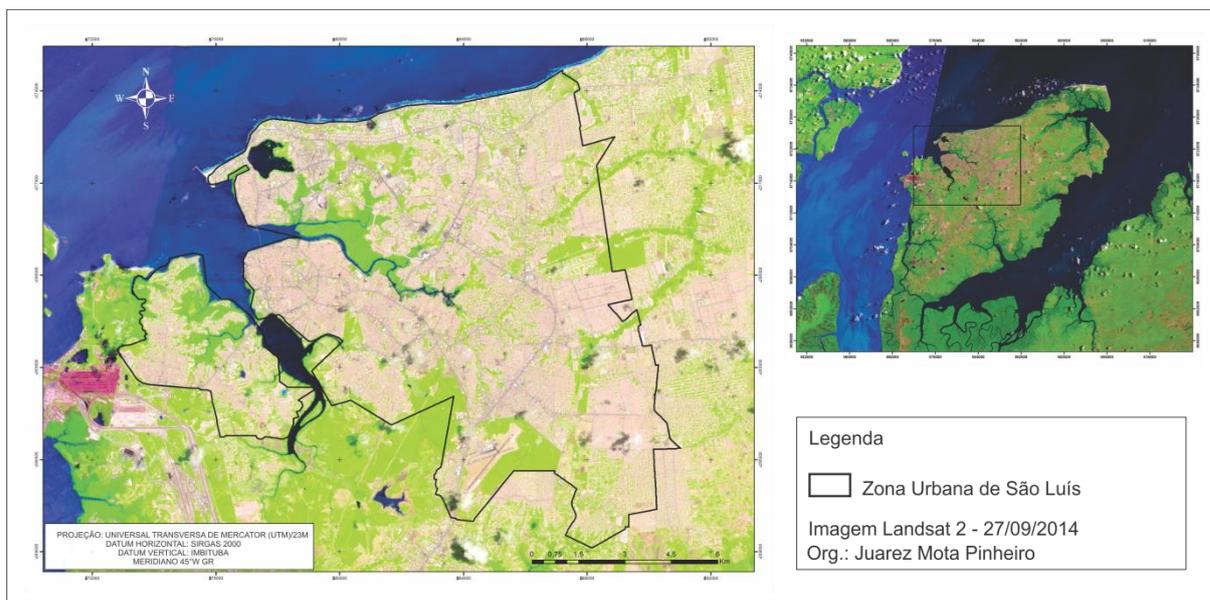
Fonte: IBGE - Censo Demográfico / Org.: Autor

A observação a ser feita com relação ao gráfico é que no Censo Demográfico de 1991 constatou-se uma população rural maior que a urbana, o que representava uma distorção com relação as diversas projeções e análises demográficas para a cidade. Isto ocorreu porque o município de São Luís ainda não tinha aprovado a Lei 3.253 de 1992, que criou o Plano Diretor da Cidade com as delimitações territoriais de solo urbano e rural para o município, deste modo o IBGE considerou alguns bairros urbanos da cidade como sendo área rural. Neste contexto e sancionado pela Lei Municipal e seu Plano Diretor, a atual área urbana de São Luís está delimitada conforme o Mapa 3. A pesquisa também utilizará esta delimitação oficial como sendo a área da zona urbana de São Luís para os objetivos propostos na tese.

#### 4.2 Localização da área de estudo

A seguir, no Mapa 3, é representada a localização geográfica da Ilha do Maranhão e a zona urbana de São Luís.

Mapa 3 - Localização de São Luís - MA e de sua zona urbana



Fonte: Organização: Autor

### 4.3 Classificação Climática de São Luís

São desenvolvidas análises de como se organizam os modelos climáticos da área em estudo em suas características de classificação, atuação sinótica, dinâmica climática e ocorrência de eventos atmosféricos excepcionais.

Na identificação da classificação do tipo climático que caracteriza o município de São Luís foram utilizados os principais modelos climáticos analítico-estáticos como também dos modelos genéticos de classificação mais adotados no Brasil. Além disso, foram caracterizados os principais fatores geocológicos determinantes para a sua dinâmica climática, como também a identificação dos sistemas de circulação atmosférica em seus diversos níveis de escala de atuação.

#### 4.3.1 Classificação Climática de São Luís por modelos analítico-estáticos

Os tipos de clima identificados nas classificações climáticas dos modelos analítico-estáticos empregam basicamente dois parâmetros analíticos ou a conjugação destes. São eles: os valores colhidos nos índices climáticos (dados meteorológicos), principalmente dos valores de temperatura, umidade do ar e pluviosidade e da classificação que se fundamenta na paisagem natural. Com relação aos modelos que se utilizam da paisagem natural, a vegetação é o seu principal indicador de integração.

No Brasil, as primeiras classificações climáticas das regiões foram produzidas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) a partir do modelo desenvolvido por NIMER (1979). Este modelo foi baseado na perspectiva de classificação das unidades climáticas da paisagem natural brasileira, principalmente porque a rede de estações meteorológicas ainda não cobria com qualidade todo território nacional, como também não se tinha a quantidade de registros históricos necessários para uma classificação climática que incorporasse os dados meteorológicos e da paisagem natural.

Somente no início da séc. XXI, o IBGE (2002) produziu a classificação dos climas do Brasil, e que abrangeu tanto os parâmetros analíticos-estáticos quanto da paisagem natural. Assim o IBGE determinou que oficialmente a classificação climática para o município de São Luís é, na escala zonal, um clima do tipo **Tropical Zona Equatorial**, com características de 4 a 5 meses secos, subtipo quente, com médias superiores a 18°C em todos os meses do ano, tendo um regime hídrico semiúmido (subequatorial) e apresentando influência da maritimidade.

Utilizando-se de um modelo que utiliza da sistematização climática dos índices climáticos conjugado com a paisagem natural, Köppen (1936) desenvolveu seu modelo em que o clima é definido a partir da tipologia do regime termo-pluviométrico interpolado aos tipos vegetativos da paisagem. Assim, o clima de São Luís na classificação de Köppen, enquadra-se na classificação regional como sendo do tipo **Tropical Típico Aw'**, tropical com chuvas de verão e outono. Apesar de ser um dos primeiros modelos de classificações do mundo, ainda hoje é muito utilizado, sendo uma das classificações climáticas que mais são encontradas nos livros didáticos para determinar o clima regional.

Outro método analítico-separativo de classificação climática de destaque é o modelo de Thornthwaite e Mather (1955), que tem como variável principal o índice de umidade e evapotranspiração potencial, representa uma estimativa da demanda hídrica em relação à temperatura efetiva e a pluviosidade anual, muito utilizado para a agricultura e ecologia e em estudos voltados para os recursos hídricos. Na classificação adaptada ao Maranhão, através da UEMA (2002), o tipo climático de São Luís apresenta-se como sendo **B1WA' a' - Clima úmido do tipo B1**. Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007) a classificação de Thornthwaite recebe muitas críticas pela dificuldade de manejo e os autores do modelo admitem até falta de refinamento matemático.

### 4.3.2 Classificação Climática de São Luís por modelos genéticos

Observa Mendonça e Danni-Oliveira (2007) que, com o advento da Segunda Guerra Mundial, a meteorologia e a climatologia tiveram uma repercussão paradigmática e que dela surgiu uma concepção de climatologia moderna, dinâmica ou genética. Influenciados por esta concepção, foram desenvolvidos novos modelos de classificação climática que levavam em conta os novos conceitos surgidos a partir das massas de ar e frentes. No âmbito da geografia destacam-se as contribuições de Maximilian Sorre (1943) e Pierre Pédelaborde (1970) no desenvolvimento de uma climatologia geográfica em uma perspectiva dinâmica, nela como afirma Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a circulação e a dinâmica atmosférica constituem a base genética dos climas, pois têm a origem dos fenômenos climáticos como fundamento do critério classificatório.

Desenvolvido por Strahler (1984), surge um dos modelos climáticos mais utilizados e difundidos de classificação climática genética. É considerado descomplicado e eficaz e representa uma proposta baseada nos controles climáticos que envolvem as massas de ar, os centros de ação e suas frentes, conjugado com as características de precipitação que ocorrem nos lugares.

Para a região onde se encontra o município de São Luís, utilizando-se do modelo desenvolvido por Strahler (1984), sua classificação climática apresentou resultados como sendo do tipo **Tropical alternadamente úmido e seco exposto à convergência dos alísios**. Esta classificação preconiza a forte influência que a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e o domínio que os ventos Alísios exercem sobre o município.

A partir também de uma concepção genética do clima, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) propõem uma classificação **Tropical-equatorial** para São Luís. Afirmam os autores:

Em São Luís (MA) observa-se uma expressiva regularidade térmica ao longo do ano, com efeito da maritimidade. Todavia, a pluviosidade apresenta dois períodos bem distintos: verão e outono chuvosos (principalmente março e abril, com 450 mm cada mês) e inverno e primavera poucos chuvosos ou secos (destacam-se outubro e novembro, com 5 mm cada mês) p.159.

Constatam-se ainda, que existem vários outros modelos de classificações climáticas de modelos estáticos, genéticos ou conjugados, tais como os produzidos por: De

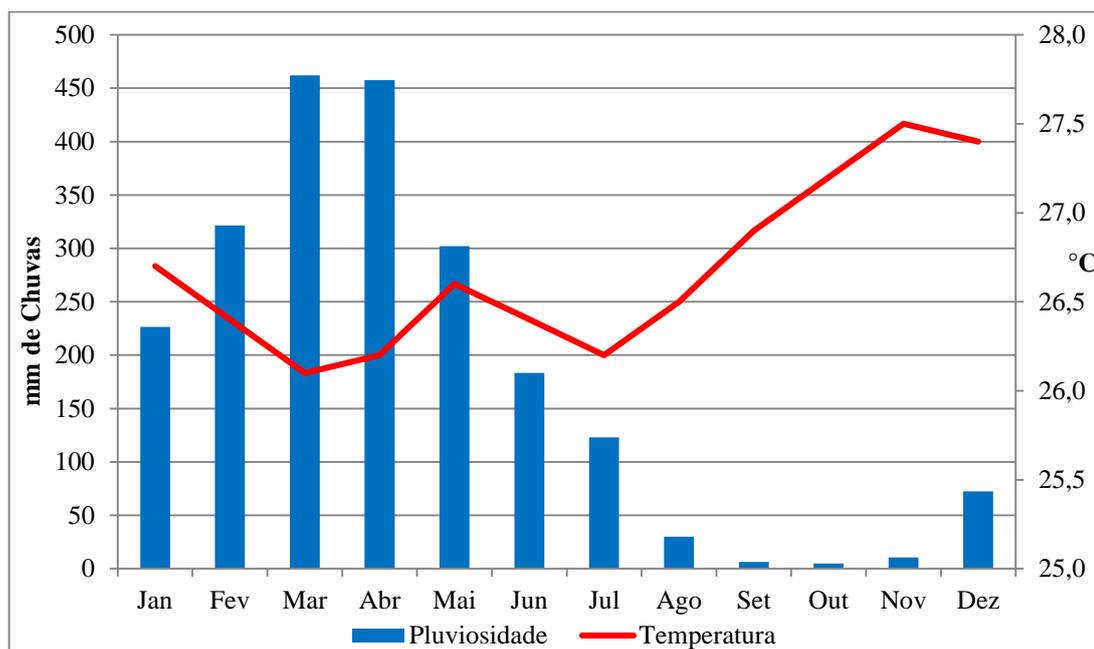
Martone (1926), Holdrige (1947), Flohn (1950), Budyko (1956), Bagnouls e Gaussen (1957), Troll e Paffen (1964), Rivas-Martinez (2001) e outros.

#### **4.4 Dinâmica Climática de São Luís**

Tendo como parâmetro a perspectiva de produzir uma análise mais detalhada da dinâmica climática de São Luís, numa concepção em que são identificados tanto os fatores geográficos da paisagem, também chamados por Monteiro (1990) de aspectos geocológicos, como os elementos atmosféricos que determinam a sua gênese atmosférica, desenvolvemos estudos da atuação geral de suas principais características para a determinação de sua configuração climática.

A cidade de São Luís por estar localizada geograficamente em baixa latitude - especificamente a 2° 30' S, sofre também influência direta da maritimidade, localiza-se em uma ilha costeira e a uma altitude cujo ponto mais elevado alcança 70 metros (SILVA, 2012), proporciona uma configuração climática que, associada às condições de atuação regional das massas de ar quente e dos mecanismos atmosféricos tropicais, produz a existência de médias térmicas relativamente iguais tanto nas variações diárias, quanto nas variações ao longo de todo o ano. A perpendicularidade dos raios solares atuantes na superfície do município, faz predominar a pouca variabilidade térmica e a ausência dos ciclos sazonais das estações climáticas de primavera, verão, outono e inverno, estabelecendo, como afirma Pinheiro (2015), uma classificação da existência de apenas duas estações, uma estação chuvosa e uma estação seca ou de estiagem. A inexistência de uma estação fria (inverno), determina que as maiores variações nos valores da temperatura encontradas nos registros do município são influenciadas pela nebulosidade e pela variação sazonal da radiação solar sobre a região, mesmo que pequena. Portanto, os menores valores de temperatura registrados pela Normal Climatológica de São Luís (1981-2010) foram obtidos no período chuvoso (maior nebulosidade) (Gráfico 5).

Gráfico 5- Normal Climatológica (1981-2010) para São Luís – MA.



Fonte: INMET – Org.: Autor

Importante registrar que a diferença na variabilidade de temperatura anual para o município de São Luís - MA foi de apenas 1,3°C. Isto é, com os dados fornecidos pela Normal Climatológica, o mês de maior temperatura média é novembro com 27,5 °C e o mês de menor temperatura média é março com 26,2 °C.

Sua pluviosidade é bem demarcada por períodos de chuvas constantes que ocorrem entre os meses de janeiro a junho e menores volumes de chuvas nos meses de julho a dezembro (Gráfico 5). Identifica-se também que parte da ocorrência das chuvas no município de São Luís é ocasionada por sistemas convectivos, isto é, quando o ar quente e úmido da superfície ascende a certa altitude, o efeito de expansão adiabática provoca seu rápido resfriamento, ocasionado pelas diferenças de temperatura na coluna vertical da troposfera. A rápida mudança de estado físico da água com a condensação do vapor d'água, através da passagem do calor sensível para calor latente, provoca chuvas intensas e isoladas por toda a área em estudo. Sua ocorrência é episódica e causa grande volume de chuvas em determinados locais e em curto espaço de tempo.

Importante também a identificação da incidência da radiação solar para a latitude da cidade ao longo do ano, para isto foi produzido o gráfico (Gráfico 6) de radiação solar incidente, gerado através do programa Excel utilizando-se da seguinte equação:

$$Q_0 = 37,6 (d/D)^2 [\pi/180 \text{ hn} \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \text{hn}]$$

Onde:

$Q_0$  = Radiação no topo da atmosfera

$\phi$  = latitude (0 a  $\pm 90^\circ$ )

$\sin \delta$  = declinação solar (0 a  $\pm 23,45^\circ$ )

$\cos \delta = 23,45 \sin * [(360/365) \cdot (NDA - 80)]$

$h$  = ângulo horário =  $[(\text{Hora local} - 12) \cdot 15]$

$\text{hn} = \arccos [ -\tan \phi \tan \delta ]$

Gráfico 6 - Radiação solar incidente no topo da atmosfera para a latitude de São Luís – MA

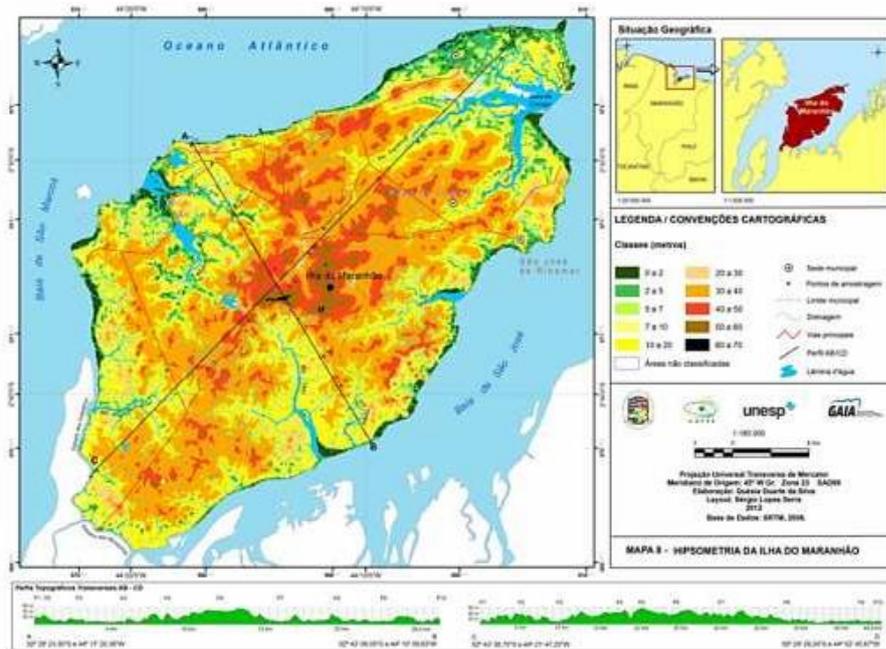


Fonte: Autor

Através desse gráfico podemos identificar que ocorre uma diminuição da incidência da radiação solar nos meses de junho e julho, o que explica a diminuição da temperatura mesmo com a diminuição da nebulosidade para a região.

A topografia na área em estudo não se apresenta como fator geográfico influenciador das condições climáticas locais, ela é caracterizada como suave por toda a Ilha do Maranhão, onde está localizado o município de São Luís. Apresenta-se com um relevo aplainado de baixas altitudes, sempre inferiores a 70 metros (SILVA, 2012) (Mapa 4).

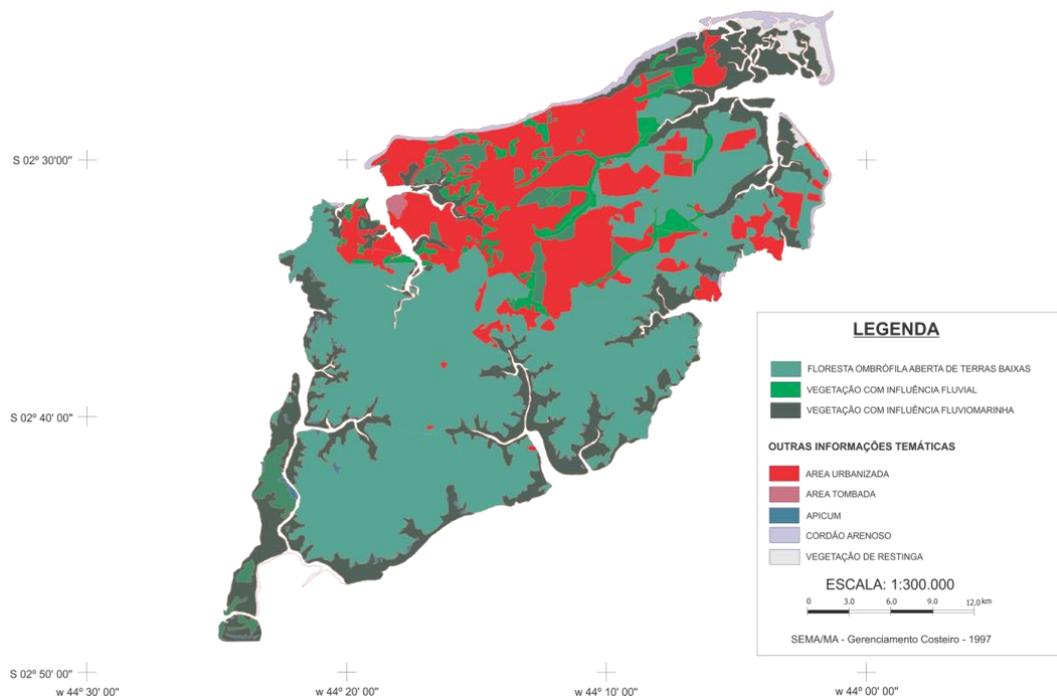
Mapa 4 - Hipsometria da Ilha do Maranhão



Fonte: Silva (2012).

Também, com objetivo de permitir uma compreensão ampla da configuração geocológica da Ilha do Maranhão, representamos as suas características fitogeográficas. (Mapa 5)

Mapa 5 - Fitogeografia da Ilha do Maranhão



Fonte: SEMA/MA – Gerenciamento Costeiro (1997)

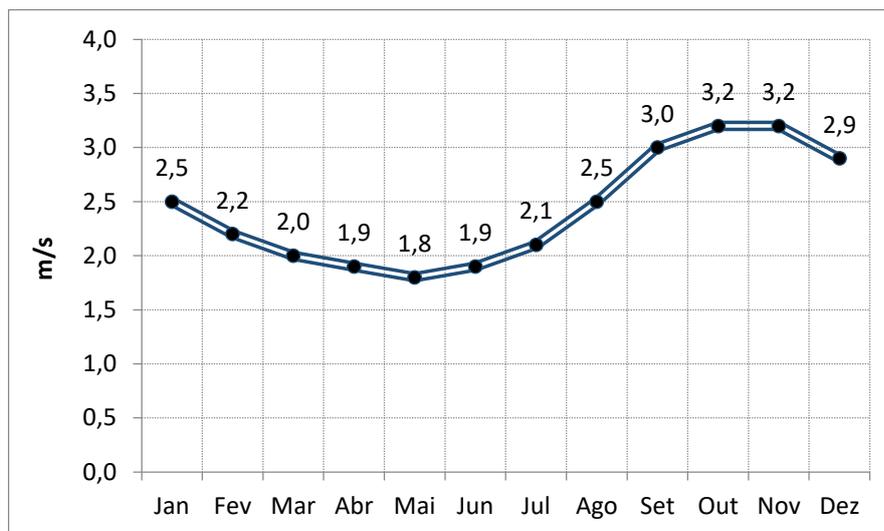
As características fitogeográficas da Ilha do Maranhão é reflexo do caráter transicional entre o clima semi-árido da Região Nordeste e os climas úmidos e subúmidos da Região Norte com forte influência da maritimidade. Segundo Bezerra (1997) na Ilha do Maranhão, onde se localiza o município de São Luís, é caracterizada pela ocorrência de três principais unidades vegetativas: a primeira, a floresta ombrófila aberta de terras baixas, que se apresenta com porte médio a alto e suas espécies principais são: o Babaçu, a Imbaúba, a Tabebuia, o Tucum e outros; a segunda, a vegetação com influência fluvial, também chamada de mata galeria ou mata ciliar é constituída por plantas higrófilas e hidrófilas ocupando áreas isoladas, margeando rios e riachos; e a terceira formação, a vegetação com influência fluviomarina, que se caracteriza pela presença dos mangues, que segundo Damázio (1980), são encontrados três tipos de espécies na ilha: a *Rhizophora mangle*, a *Lagungulária racemosa* e a *Avicennia nitida*.

Outra característica para compreender a dinâmica climática de São Luís, está na sua localização geográfica no litoral setentrional brasileiro. Por ser uma ilha costeira, sofre a influência direta da maritimidade que, através da relação oceano-continente-atmosfera, age para determinar as diferenças barométricas diurnas dinamizadoras do vento por sobre a cidade que, aliadas aos ventos Alísios, atuam para amenizar as temperaturas, e assim agem na redução das amplitudes térmicas diárias.

Em uma perspectiva de escala regional, observa Degola (2013) o perfil médio do vento associado a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), tem predominância de sudeste na costa oriental do Brasil, porém nas proximidades do litoral norte do Nordeste o vetor tem predominância nas direções nordeste e leste. Segundo o INMET/BDMEP (2017), os ventos em São Luís possuem predominância de direção nordeste.

Com relação a intensidade dos ventos produziu-se o gráfico 7 a partir da Normal Climatológica de 1981 a 2010 do INMET/BDMEP, no qual é possível identificar a sua variabilidade mensal.

Gráfico 7 - Normal Climatológica (1981-2010) da intensidade dos ventos em São Luís



Fonte: INMET/BDMEP - Org.: Autor

Em São Luís as maiores intensidades do vento são registradas nos meses de setembro a dezembro e o quadrimestre de menor intensidade dos ventos são os meses de março a junho. Segundo Menezes (1995), os maiores valores de intensidade de ventos são registrados no segundo semestre do ano em São Luís, porque é a ocasião em que a ZCIT está mais ao norte no Atlântico, portanto mais afastada da costa maranhense, dando lugar à circulação associada à ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul), cujo escoamento à superfície é mais intensificado próximo ao litoral do nordeste brasileiro.

#### 4.5 Circulação atmosférica e sistemas sinóticos

Dentre todos os sistemas atmosféricos que exercem influência na área em estudo, o de maior destaque é a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), sua sazonalidade de migração para latitudes mais ao norte até  $14^{\circ}$  durante os meses de agosto/setembro e para sul até  $13^{\circ}$  de latitude durante os meses de março/abril, decisivo para gerar chuvas ou a sua ausência. Estudos sobre a atuação da ZCIT, realizados por UVO (1989), indicaram que a permanência por mais tempo em suas posições mais ao norte ou mais ao sul é o que determina o volume das chuvas durante a estação chuvosa para o Nordeste do Brasil (NEB). Também pesquisas realizadas por Nobre e Shukla (1996) sobre a atuação da ZCIT, confirmaram que os anos mais chuvosos sobre o norte do NEB e Leste da Amazônia são caracterizados pela maior permanência da ZCIT ao sul de sua posição média até abril/maio, enquanto, em anos de seca, a ZCIT se desloca para o norte já a partir de março. Desse modo, segundo os autores, os

deslocamentos da ZCIT que determinam a variabilidade pluvial, estão associados a influência da TSM (Dipolo) nas bacias norte e sul do Atlântico Tropical. Marengo e Hastenrath (1993) observaram também que existe uma relação entre o posicionamento da ZCIT no Atlântico Equatorial com a ocorrência do El Niño e mostraram que, durante anos de grande aquecimento das águas do Pacífico Equatorial Central, a ZCIT situava-se anormalmente ao norte de sua posição média sobre o Atlântico Tropical.

Destacam-se também estudos que analisaram o comportamento da ZCIT em anos de ocorrência de El Niño e La Niña. Pezzi e Cavalcanti (2001) afirmam que:

Infere-se que a ZCIT posiciona-se ao norte do equador em casos do “dipolo quente” (águas mais quentes no Atlântico Norte), em anos de El Niño ou La Niña, deixando o NEB com precipitação abaixo da média. Na ocorrência do “dipolo frio” (águas mais quentes no Atlântico Sul), a ZCIT posiciona-se ao sul do equador nos anos de El Niño ou La Niña, porém, nos anos de El Niño, esse sistema afeta apenas o extremo norte do NEB, com precipitação acima da média, enquanto as outras áreas apresentam condições de seca. Nos anos de La Niña, toda a área do NEB apresenta anomalias positivas de chuva. (p. 209)

Também em estudos sobre a ZCIT, realizados por Melo, Cavalcanti e Souza (2009), afirma-se que a ZCIT quando associada a outros sistemas atmosféricos como a Zona de Confluência dos Alísios (ZCA) e as Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) do Atlântico e Pacífico, podem causar o fortalecimento ou enfraquecimento do papel de atuação da ZCIT na determinação da variabilidade da estação chuvosa na Região Nordeste.

Outro destaque apresentado nos estudos de UVO (1989) sobre a ZCIT, é a ocorrência da formação de uma banda dupla da ZCIT. Segundo o autor que, quando este fenômeno ocorre, isto promove mais chuvas para o Nordeste do Brasil.

A ZCIT em suas mais diversas formas de influência e atuação representa para a região e para o município de São Luís, o mais importante mecanismo zonal de influência na configuração de seu clima. Destacamos também neste nível de escala de influência, a presença dos Ventos Alísios por sobre toda a região e área de estudo. Essa presença é registrada por todos os meses do ano e possui papel preponderante para amenizar a temperatura de superfície e de promover o deslocamento e direcionamento das nuvens.

Destacam-se também a importância da existência de outros sistemas de atuação sobre a área em estudo, estas em escalas menores de atuação, mas também relevantes para o entendimento da configuração climática de São Luís.

Em numa escala regional de influência, destacamos a atuação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) que podem ser definidos como sendo sistemas meteorológicos que se caracterizam por apresentar centros de pressão muito baixos originados na alta troposfera (entre 5 e 13 quilômetros de altitude), fazendo com que o ar seco desses níveis mais altos sofra uma subsidência e alcancem a superfície. Sua atuação segundo Ferreira et al (2009) pode levar vários dias e são considerados semi-estacionários em seu deslocamento. Ainda segundo os autores, este sistema meteorológico representa importante mecanismo de atuação sobre o nordeste e parte do norte brasileiro, provocando, quando da sua ocorrência, ausência de nuvens no seu centro e nebulosidade e chuvas na periferia da VCAN.

Outro destaque de atuação de sistemas atmosféricos secundários, este também numa escala regional, é a influência que a Alta Subtropical do Atlântico Sul – ASAS exerce sobre a área em estudo, quando esta se manifesta. Este mecanismo atmosférico se destaca por reprimir a ocorrência de chuvas e aumentar ou diminuir a velocidade dos ventos no nordeste brasileiro. Degola (2013) conceitua a ASAS como um sistema de alta pressão com seu giro anticiclônico, e em níveis médios atmosféricos, que determina a subsidência do ar, isto é, o ar desce das camadas mais altas da atmosfera para as camadas mais baixas, impedindo a formação de nuvens de chuva e influenciando diretamente a velocidade dos ventos. Em seus estudos, Degola (2013) identificou que, quando a ASAS está deslocada para oeste da sua posição média, observou-se uma intensificação dos Ventos Alísios em toda a Região Nordeste do Brasil, principalmente nos meses de primavera e verão. Em contrapartida, quando o ASAS está deslocado para leste da sua posição climatológica, foi observado um enfraquecimento dos ventos alísios na Região Nordeste. O autor ainda sugere que nos próximos anos a tendência seja que a ASAS se desloque cada vez mais para oeste, fazendo com que a Região Nordeste do Brasil seja impactada com mais intensificação dos Ventos Alísios.

Outro sistema que exerce influência na região e na área em estudo é o sistema chamado de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) ou Ondas de Leste (OL) que é o fenômeno meteorológico formado na área de influência da Zona de Confluências dos Alísios (ZCA), próximo à Linha do Equador. Seu deslocamento ocorre de leste para oeste, do oceano

para o continente, provocando aumento da pluviosidade. Coutinho e Fisch (2007), em pesquisas sobre a atuação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste na região da Base de Lançamento de Foguetes, em Alcântara – MA, a apenas 18 km de distância de São Luís, identificaram a presença deste sistema meteorológico por todo o ano, porém a sua atuação ocorre de forma esporádica provocando chuvas ocasionais.

Em mais um sistema meteorológico secundário de atuação na região, identificam-se as Linhas de Instabilidade (LI) que, segundo Cohen et al (1996), são sistemas compreendidos como uma estreita faixa de nebulosidade que se formam nas regiões tropicais, em mesoescala, geralmente em forma de linhas, gerando intensa pluviosidade quando se manifesta. Sua atuação na região, em estudos produzidos por Barros e Oyama (2010) quando pesquisavam sobre a pluviosidade no Centro de Lançamento de Alcântara, indicaram que as Linhas de Instabilidade se associam em grande parte com a ZCIT, sua ocorrência se manifesta na região somente entre os meses de fevereiro a junho, apenas no mês de abril que o fenômeno atua em sua maior frequência.

Podemos assim sintetizar que os principais sistemas atmosféricos presentes e atuantes no município de São Luís são, em destaque, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) responsável pela determinação anual do período chuvoso e de estiagem, e a influência dos Ventos Alísios responsáveis pela atuação dos ventos constantes de origem regional e carregados de umidade. Em nível secundário de atuação, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), gerando períodos de estabilidade atmosférica com estiagem; a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e as Linhas de Instabilidade (LI) com a geração de períodos curtos de chuvas na região e, em uma escala local de influência, a brisa marítima com ventos diários e chuvas ocasionais por sistemas convectivos.

## **4.6 Eventos atmosféricos**

### **4.6.1 Influência dos fenômenos El Niño e La Niña**

Também é necessário destacar fenômenos atmosféricos que estão presentes de forma intermitente, e que causam grande impacto na normalidade do clima no município, que são os eventos de Oscilação Sul (ENOS) mais conhecidos como El Niño e La Niña. São fenômenos que envolvem o acoplamento oceano-atmosférico e se caracterizam pelo aumento ou diminuição anômalo da temperatura das águas superficiais do Oceano Pacífico equatorial

central e oriental-leste. Sua atuação provoca, para a área em estudo, diminuição da pluviosidade em anos de ocorrência do El Niño e aumento da pluviosidade em anos de La Niña. Pinheiro (2017) em pesquisa que analisa a ocorrência do fenômeno El Niño em 41 anos de dados (1975-2015) pluviométricos no município de São Luís, produzidos pela estação do INMET, identificou que em anos de ocorrência mais intensa do fenômeno, a pluviosidade anual, em São Luís, sofre uma diminuição média de -75,7% quando comparados com a Normal Climatológica. E quando da ocorrência de eventos de La Niña, os efeitos provocados na pluviosidade em São Luís, também em estudos sobre 41 anos de dados (1975-2015) pluviométricos coletados no município, a porcentagem anual da pluviosidade apresentou valores médios de aumento de +21,9% em comparação com a sua Normal Climatológica.

#### **4.6.2 Ocorrência de eventos atmosféricos extremos**

Destacamos também episódios de eventos extremos e excepcionais que ocorreram na área em estudo. Marengo (2014) observa que fenômenos meteorológicos extremos não são novidade e estão diretamente relacionados às mudanças climáticas globais. Destaca que a frequência dos eventos climáticos extremos aumentou, tanto em termos de quantidade quanto de intensidade. Afirma que isso passou a ser observado de modo mais nítido a partir da segunda metade do século 20.

Destacam-se também as observações de Roseghini (2007) sobre a ocorrência de eventos climáticos extremos, em que descreve:

Relatórios elaborados por milhares de pesquisadores em climatologia ressaltam os graves problemas que essas mudanças climáticas poderiam causar ao mundo e principalmente, a população, que seria assolada com maior frequência por eventos extremos como inundações, secas, furacões, tornados, movimentos de massa, enfim, uma série de fenômenos que estavam restritos a algumas áreas do planeta, mas que agora, sem dúvida, fazem parte da história natural de diversos locais antes considerados “ímmunes”. (p.13)

No caso de São Luís registramos a ocorrência de um evento extremo de uma Tromba D'Água no dia 25/03/2017, na praia de São Marcos na Avenida Litorânea. Este fenômeno, conforme registra Vianello e Alves (1991) está relacionado com a forte instabilidade termodinâmica e a presença de alta umidade e ventos fortes na alta troposfera. A ocorrência deste fenômeno foi registrada por banhistas e moradores próximos com vídeos e fotos, e divulgados por reportagens em vários jornais locais. (Foto 8).

Foto 8 - Ocorrência de uma Tromba D'água no dia 25/03/2017 na praia de São Marcos, São Luís (MA).



Fonte: Jornal O Imparcial – 26/03/2017

Disponível em vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=OtlZWooVem8>

## **5. CLIMA URBANO DA CIDADE DE SÃO LUÍS**

### **5.1 DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO**

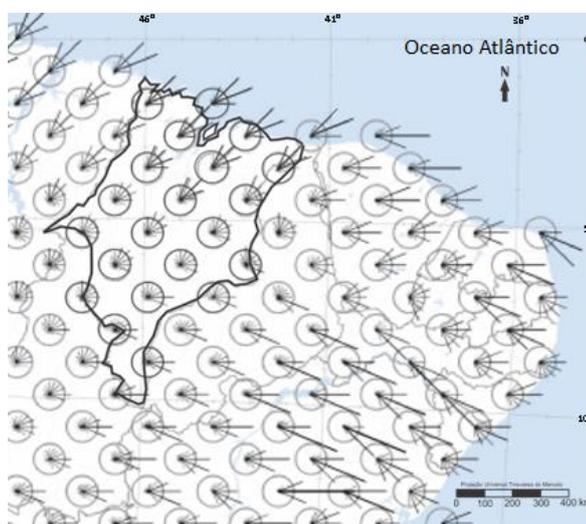
Em regiões de clima tropical quente e úmido, onde a variabilidade da temperatura é mínima e seus registros médios de temperatura são sempre elevados, juntamente com os índices de umidade do ar, como é o caso de São Luís, torna-se essencial o incremento da ventilação no espaço urbano. Observa Givoni (1992) que a ventilação constitui a mais simples estratégia para a obtenção de conforto quanto à temperatura. Compreender, então, como se caracteriza o vento no espaço geográfico urbano, pode fornecer informações fundamentais que auxiliem na gestão do planejamento da cidade. Ressalta Leite (2015), que o vento é o elemento chave à qualidade do ar no ambiente urbano e conforto térmico em localidades de clima quente e úmido, e que este, todavia, é estruturalmente modificado pelo processo de urbanização. O vento representa dentro do mecanismo de geração de conforto térmico humano um dos principais componentes para a sua promoção, principalmente no nordeste brasileiro.

O vento é uma variável atmosférica de grande importância por ter influência direta em diversas atividades humanas e ambientais. Como observa Galvani (2004), também é responsável pelo transporte de diversas propriedades da atmosfera.

A direção do vento expressa a direção de onde o *vento vem*, transportando consigo determinadas propriedades atmosféricas (vapor d'água, materiais em suspensão, calor sensível e latente, etc) e sua velocidade à distância percorrida por esta parcela de ar num intervalo de tempo. (GALVANI, 2004 p.227).

De acordo com o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (ELETROBRAS, 2001), o estado do Maranhão (Mapa 6) encontra-se na *Zona Litorânea Norte-Nordeste* de caracterização eólica, definida como a faixa costeira com cerca de 100 km de largura, que se estende entre o extremo norte da costa do Amapá até o Cabo de São Roque, no Rio Grande do Norte. Nessa região, os ventos são controlados primariamente pelos alísios de leste a nordeste, enquanto o trecho sul do nordeste brasileiro, por alísios de leste a sudeste. Destaca ainda o Atlas, que em função da combinação das brisas diurnas com os ventos alísios, esta característica resulta em ventos médios que variam entre 3,5m/s a 6m/s, por todo o litoral do Maranhão.

Mapa 6 - Ventos predominantes no nordeste brasileiro e interior – em destaque o estado do Maranhão



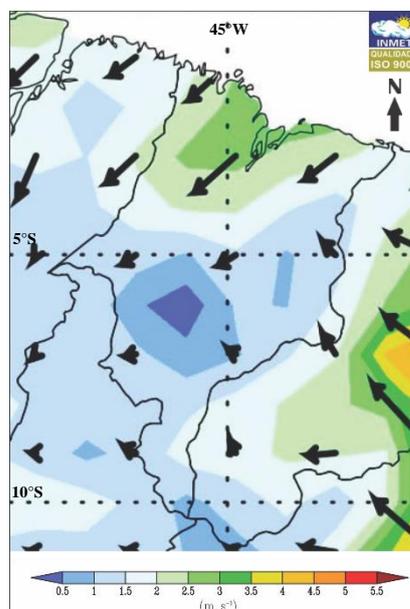
Fonte: Atlas do Potencial Eólico do Brasil – Eletrobras (2001) - Adaptação: Autor

Pode-se observar que os ventos no estado do Maranhão passam a ter tendência e direção bastante diferenciada quando comparamos entre o que ocorre na região litorânea com a sua região continental. Enquanto no litoral o vento é demarcado por uma velocidade mais acentuada e predominante de direção Nordeste (NE), na parte continental do Maranhão ocorre

a prevalência de ventos de menor intensidade e com direção predominante Lés-Nordeste (ENE) e Leste (E).

Em outro mapa, este produzido pelo INMET a partir da Normal Climatológica de 1960 – 1991 com anemômetros instalados a 10 metros de altura, podemos observar a analogia das duas propostas de configuração de direção e velocidade do vento predominante no Maranhão (Mapa 7). Ventos de maior velocidade na faixa litorânea do Estado e de menor intensidade no interior. Quanto à direção dos ventos, no litoral é predominantemente de Nordeste (NE), enquanto no continente prevalecem os ventos de Lés-Nordeste (ENE) e Leste (E).

Mapa 7 - Normal Climatológica da direção e velocidade do vento no Maranhão (1960-1991)



Fonte: INMET (2017) <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>  
Adaptação: Autor

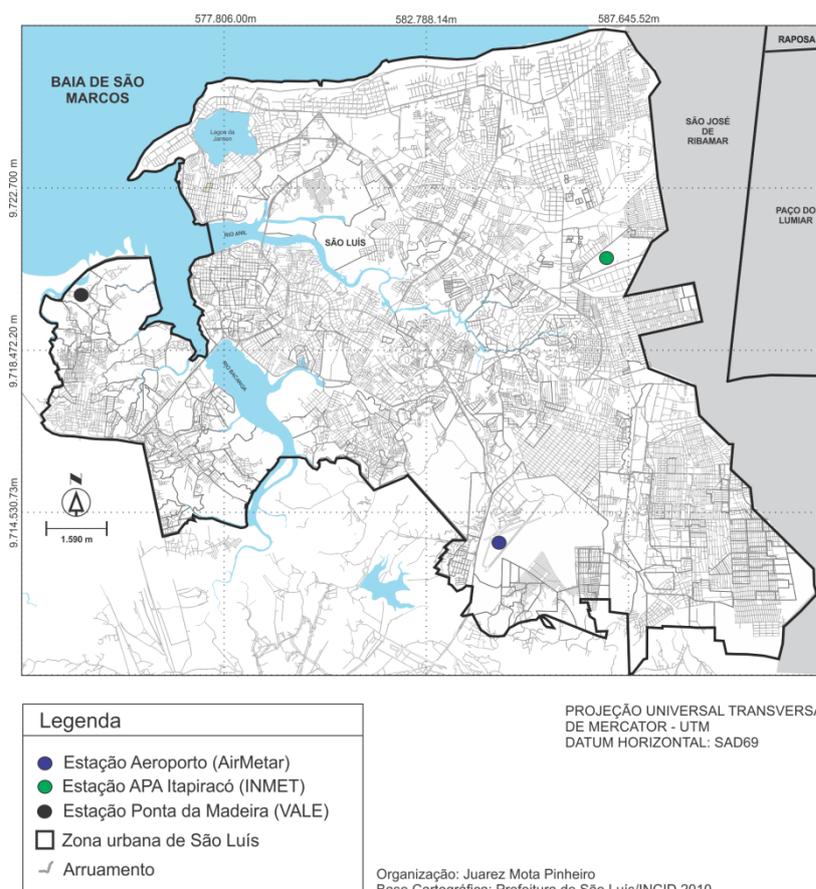
Os ventos, na área em estudo, representam importante mecanismo de configuração climática e são fundamentais para a geração de conforto térmico humano para uma parcela significativa da população maranhense.

A Ilha do Maranhão possui formas de relevo relativamente planas, não se caracterizando por apresentar obstáculos a penetração ou desvios acentuados ao vento. Destaca-se, revendo o mapa hipsométrico da Ilha do Maranhão (Mapa 4, p92), que a altitude máxima encontrada é de 70 metros. As formas de relevo mais comuns na Ilha do Maranhão, segundo Silva (2012), são as planícies fluviomarinhas, colinas suaves e arredondadas, além da

presença de tabuleiros de baixa altitude. Detalha que, no conjunto, a Ilha do Maranhão é constituída por superfícies tabulares e subtabulares no seu interior, por vezes recortadas nas bordas. Registra-se também a ocorrência de falésias e encostas na faixa litorânea da ilha. De modo geral seu relevo não apresenta condições de geração de obstáculos que proporcionem mudanças de direção do vento.

Para a caracterização da direção e velocidade do vento no município de São Luís, utilizamos de dados históricos produzidos por três estações meteorológicas (Mapa 8), os dados coletados representaram valores médios registrados a cada hora e em todos os dias dos anos de 2012 a 2016, com exceção da estação Ponta da Madeira na qual os dados coletados representam os anos de 2013 a 2016.

Mapa 8 - Localização espacial das estações que forneceram os dados de direção e velocidade do vento, com registros horários.



Adaptação: Autor

Todas as estações encontram-se no município de São Luís e dentro da zona urbana, a primeira estação localiza-se no Aeroporto Mal. Hugo da Cunha Machado sendo administrada pela Aeronáutica, os dados foram adquiridos através do sistema AirMetar 1.0

disponibilizado no site <<http://www.airmetar.com.br>> dos anos de 2012 a 2016; a segunda estação está localizada na APA do Itapiracó, pertencente e administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os dados foram solicitados à Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos (SADMET) e enviados por email, dos anos de 2012 a 2016. A terceira estação pertence à Companhia VALE S/A e é administrada pela empresa ECOSOFT e está localizada na Ponta da Madeira no terminal portuário do Itaqui, os dados foram adquiridos junto a Secretaria de Meio Ambiente do Estado (SEMA) no setor Superintendência de Planejamento e Monitoramento Ambiental, os dados representam os anos de 2013 a 2016. Na Tabela 7 são identificados as suas coordenadas UTM.

Tabela 7 – Coordenadas geográficas das estações que serviram de fonte de dados para a caracterização da velocidade e direção do vento em São Luís.

<b>Estação</b>	<b>Coord. UTM (E)</b>	<b>Coord. UTM (S)</b>	<b>Alt.</b>	<b>Fonte de dados</b>
Aeroporto Mal. Cunha Machado	584566,1	9712892,2	65m	Aeronautica/ AirMetar 1.0
APA Itapiracó	587434,1	9720685,9	56m	INMET/ SADMET
Ponta da Madeira	571231,3	9717448,3	10m	SEMA/ ECOSOFT/ VALE

Fonte: Autor

Para a organização dos dados utilizou-se do software freeware WRPLOT (v.8.0) desenvolvido pela empresa Lakes Environmental, disponibilizado através do site <<https://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>>. Com o programa foram gerados Rosa dos Ventos e Histogramas para os ciclos anuais, sazonais e diários (diurno e noturno), das três estações. Observa-se também que os intervalos de velocidade do vento, gerados pelo software, foram ajustados e organizados seguindo os padrões de velocidade do ar estabelecidos pela escala Beaufort.

Os dados das três estações, Aeroporto, APA Itapiracó e Ponta da Madeira apresentaram algumas falhas nos registros dos anos utilizados, indicando que, em alguns dias, ocorreram registros incompletos ou ausentes. Registre-se que somente foram utilizados dados válidos na pesquisa, sem a realização de qualquer metodologia de preenchimento das falhas nos dados. Outra informação é que os dados do ano de 2012, na estação Ponta da Madeira, pertencente a VALE, não ocorreram registros, apresentando ausência na coleta de dados.

Destacamos, também, que os valores de  $<0,3$  m/s de velocidade do vento foram utilizados para caracterizar a condição de calmaria, acompanhando o que determina a escala Beaufort. Na Tabela 8 são fornecidas informações sobre a porcentagem de dados válidos utilizados na pesquisa.

Tabela 8 - Balanço do registro de dados utilizados pelo programa WRPLOT 8.0 na geração da Rosa dos ventos e dos Histogramas nas três estações da pesquisa.

<b>Estações</b>	<b>Anos de registro</b>	<b>Porcentagem de dados dos registros válidos</b>	<b>Registros de calmarias (&lt;0,3 m/s)</b>
<b>Aeroporto Mal. Cunha Machado</b>	2012 a 2016	99,95%	1,97 %
<b>APA Itapiracó</b>	2012 a 2016	95,80%	10,27 %
<b>Ponta da Madeira</b>	2013 a 2016	87,42%	0,02%

Fonte: Autor

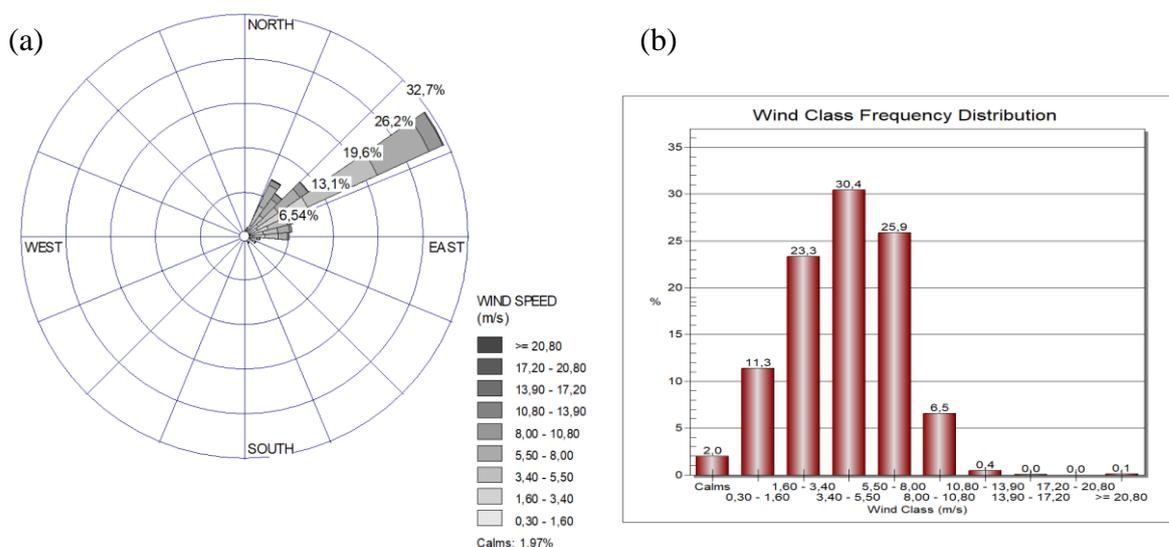
### **5.1.1 Análise do regime dos ventos**

Foram utilizadas três estações meteorológicas, dentro da área urbana, para a caracterização do vento em São Luís, os dados coletados representam o estado médio de sua velocidade e direção, registrados a cada hora, durante todos os dias de um total de cinco anos de dados coletados para as estações Aeroporto e APA do Itapiracó e quatro anos para a estação Ponta da Madeira.

#### **5.1.1.1 Estação Aeroporto (Aeronáutica) - quinquenal**

A direção predominante identificada pela Estação Aeroporto, com dados de 2012 a 2016 apresentou um padrão predominante de direção de grande uniformidade com pequenas variações de direção, sempre dentro do intervalo norte-leste. (Figura 22)

Figura 22 - Rosa dos Ventos (a) e Histograma (b) das classes de velocidade do vento (m/s) (Wind Speed) da Estação Meteorológica no Aeroporto Mal. Hugo da Cunha Machado (Aeronáutica) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016.



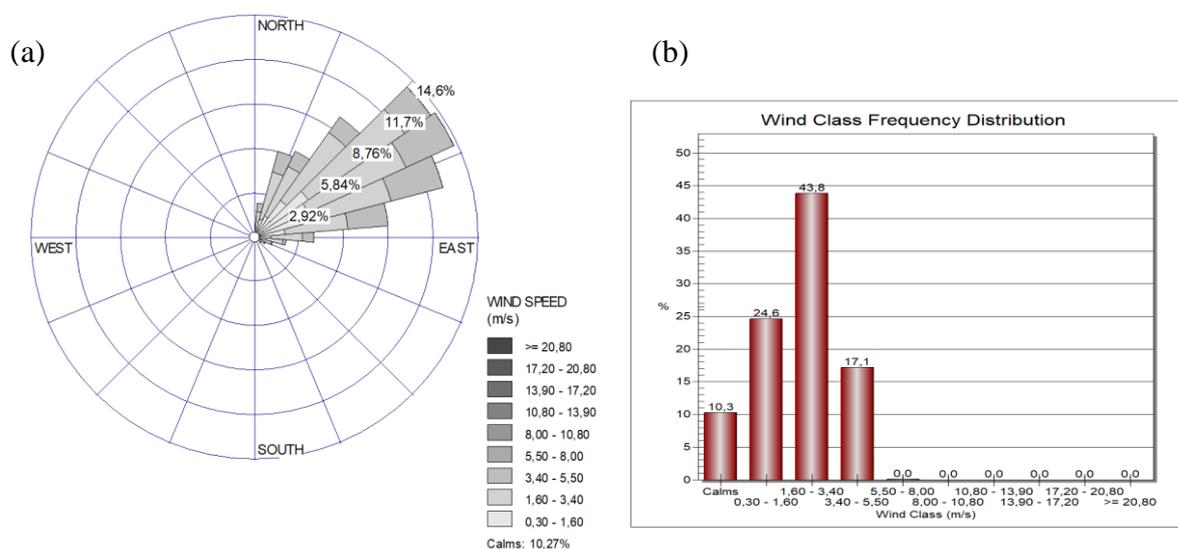
Fonte: Aeronáutica/AirMetar

A representação da Rosa dos Ventos e do Histograma (Figuras 22a e 22b) da Estação Aeroporto indicou que os ventos ocorrem predominantemente na direção NE (nordeste) – ENE (lés-nordeste) e representaram 32,7% da frequência de direção. Na representação de seu Histograma (Figura 46b) os ventos indicaram que a maior porcentagem de velocidade ocorre dentro do intervalo de 3,4 a 5,5 m/s com 30,4%, sendo considerada brisa fraca na Escala Beaufort, outros valores de 0,3 a 1,6 m/s com 11,3%, 1,6 a 3,4 m/s com 23,3% são consideradas como brisas de baixa velocidade. Há também a ocorrência de classes de ventos considerados fortes dentro dos intervalos de 5,5 a 8,0 m/s com 25,9%, 8 a 10,8 m/s com 6,5% e 10,8 a 13,9 m/s com 0,4% dos ventos. Com uma porcentagem de 0,1% o Histograma identificou a presença de ventos acima 20,8 m/s considerados ventania forte na Estação Aeroporto.

#### 5.1.1.2 Estação APA do Itapiracó (INMET) - quinquenal

Na Estação APA do Itapiracó (INMET) (Figura 23), os ventos também apresentaram predominância de direção NE (nordeste) – ENE (lés-nordeste), agora com maiores variações de direção, porém sempre dentro do quadrante norte-leste.

Figura 23 - Rosa dos Ventos (a) e Histograma (b) das classes de velocidade do vento (m/s) da Estação APA do Itapiracó (INMET) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016.



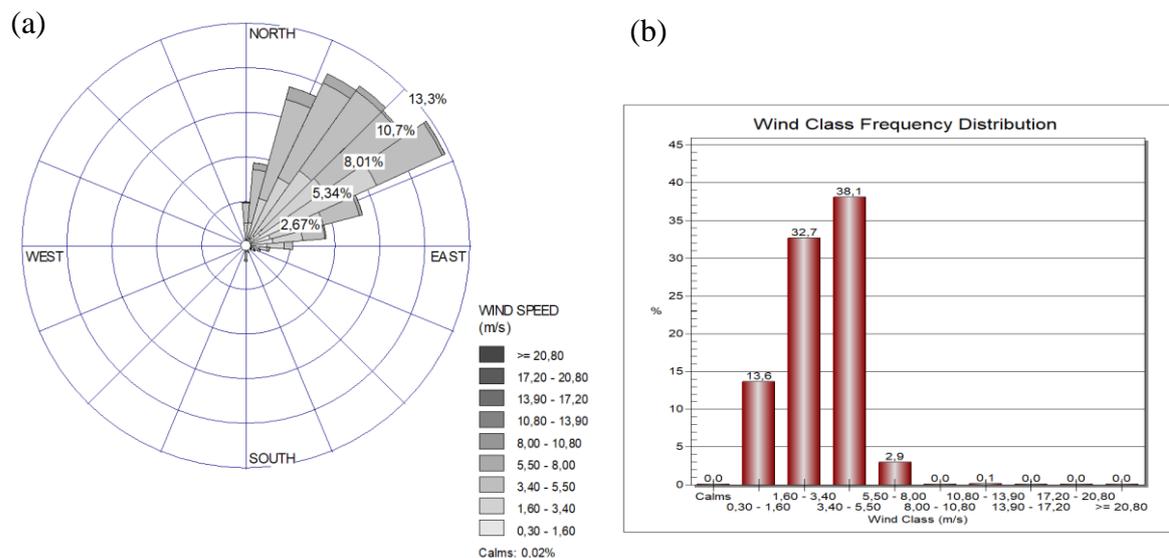
Fonte: INMET

Ao se analisar os ventos da Estação APA do Itapiracó (INMET) destaca-se a ausência de ventos fortes (Figura 23b), apresenta uma maior homogeneização dos ventos em velocidades consideradas de baixa intensidade (brisas) apresentando valores no intervalo de 0,30 a 1,60 m/s com 24,6%, no intervalo de 1,60 a 3,40 m/s com 43,8%, este como sendo o intervalo de maior frequência e ventos no intervalo de 3,40 a 5,50% com 17,1%. Quanto à direção dos ventos, a Rosa dos Ventos (Figura 6a), apresentou que os ventos se distribuem predominantemente dentro do quadrante norte-leste com mais constância de direção entre nordeste – lés-nordeste.

### 5.1.1.3 Estação Ponta da Madeira (VALE) - quatrienal

Com relação a Estação Ponta da Madeira (VALE), esta também não apresentou mudança significativa da direção dos ventos predominantes, suas variáveis de direção também permaneceram dentro do quadrante norte-leste (Figura 24a). O destaque é o aumento de ventos de direção mais ao norte dentro do quadrante.

Figura 24 - Rosa dos Ventos (a) e Histograma (b) das classes de velocidade do vento (m/s) da Estação Ponta da Madeira (VALE) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016.



Fonte: Companhia VALE S/A

No Histograma da Estação Ponta da Madeira (VALE) (Figura 24b), identifica-se que as classes de vento apresentaram valores que identificam a ocorrência predominante de ventos considerados fracos, o intervalo de 0,30 a 1,60 m/s com 13,6% dos ventos, o intervalo 1,60 a 3,40 m/s com 32,7% dos ventos e o intervalo com ventos de 3,40 a 5,50 m/s com 38,1 são identificados, segundo a Escala Beaufort, como aragem, brisa leve e brisa fraca. A exceção que possui significado é a do intervalo de 5,50 a 8,00 m/s com 2,9% dos ventos com designação de brisa moderada.

Ao se analisar as condições de direção e velocidade do vento (m/s) das três estações nos valores apresentados nos registros de todos os dias dos anos estudados, identificamos que a direção predominante é hegemonicamente de NE (nordeste) – ENE (lés-nordeste) e as variações ocorrem sempre dentro do intervalo de direção norte-leste, não ocorrendo registros fora desta de direção.

Quanto à sua velocidade, para uma conclusão mais detalhada, produzimos a tabela 9, que sintetiza os valores registrados pelas três estações durante os anos pesquisados.

Tabela 9 - Porcentagem dos valores totais de velocidade do vento registrado pelas estações meteorológicas nos anos pesquisados.

<b>VELOCIDADE DO VENTO (m/s) - TOTAL</b>			
<i>Velocidade do ar (m/s)</i>	<b>Aeroporto (%)</b>	<b>INMET (%)</b>	<b>Ponta da Madeira (%)</b>
<i>Calmaria</i>	2,0	10,3	0,0
<i>0,3 - 1,6</i>	11,3	24,6	13,6
<i>1,6 - 3,4</i>	23,3	<b>43,8</b>	32,7
<i>3,4 - 5,5</i>	<b>30,4</b>	17,1	<b>38,1</b>
<i>5,5 - 8,0</i>	25,9	0,0	2,9
<i>8,0 - 10,8</i>	6,5	0,0	0,0
<i>10,8 - 13,9</i>	0,4	0,0	0,1
<i>13,9 - 17,2</i>	0,0	0,0	0,0
<i>17,2 - 20,8</i>	0,0	0,0	0,0
<i>&gt;=20,8</i>	<b>0,1</b>	0,0	0,0

Adaptação: Autor

A velocidade do vento em São Luís apresentou a maior porcentagem de intensidade registrada dentro da faixa de 1,6 a 3,4 m/s com 43,8% na estação INMET, porém nas outras duas estações as maiores porcentagens de velocidade do vento ocorreram na faixa de 3,4 a 5,5 m/s. De modo geral a velocidade do vento em São Luís registrado pelas três estações, nos anos estudados, apresentou características de intensidade com suas maiores ocorrências dentro da faixa de 1,6 m/s a 5,5 m/s, considerados, na Escala Beaufort, como sendo de brisas leves e fracas, indica também, que o vento pode chegar a atingir velocidades muito altas, acima de 20,8 m/s, registrado pela estação Aeroporto.

Para também uma identificação mais detalhada de como os ventos em São Luís se apresentam durante os meses do ano, foi produzido a tabela 10, em que é possível a verificação de suas variações mensais.

Tabela 10 - Velocidade mensal e média do vento registrado pelas estações meteorológicas nos anos pesquisados.

<b>VELOCIDADE DO VENTO (m/s) - MENSAL</b>				
<b>MESES</b>	Aeroporto (2012 a 2016)	APA Itapiracó (2012 a 2016)	Ponta da Madeira (2013 a 2016)	<b>MÉDIA MENSAL</b>
<b>JANEIRO</b>	5,14	2,23	3,15	<b>3,51</b>
<b>FEVEREIRO</b>	3,96	2,00	2,75	<b>2,90</b>
<b>MARÇO</b>	3,55	1,50	2,20	<b>2,42</b>
<b>ABRIL</b>	3,19	1,36	2,17	<b>2,24</b>

<b>MAIO</b>	3,07	1,21	2,15	<b>2,14</b>
<b>JUNHO</b>	3,28	1,32	2,44	<b>2,35</b>
<b>JULHO</b>	3,54	1,51	2,70	<b>2,58</b>
<b>AGOSTO</b>	4,53	2,09	3,24	<b>3,29</b>
<b>SETEMBRO</b>	5,57	2,74	4,18	<b>4,16</b>
<b>OUTUBRO</b>	5,95	2,90	3,89	<b>4,25</b>
<b>NOVEMBRO</b>	5,97	2,81	4,07	<b>4,28</b>
<b>DEZEMBRO</b>	5,65	2,69	3,88	<b>4,07</b>
<b>MÉDIA ANUAL</b>	<b>4,45</b>	<b>2,03</b>	<b>3,07</b>	

Adaptação: Autor

O trimestre que apresentou os maiores valores de velocidade dos ventos (m/s) foram os meses de setembro, outubro e novembro, e os meses que apresentaram os menores valores de velocidade média mensal foram março, abril e maio. Os meses do semestre da estação chuvosa (janeiro a junho) apresentaram os menores valores de velocidade do vento (m/s) e o semestre da estação de estiagem (julho a dezembro) foram os meses que apresentaram as maiores velocidades médias do vento (m/s).

Destaca-se que, ao se verificar os valores registrados pelas três estações, a Estação do Aeroporto foi a que apresentou os maiores indicadores de velocidade média do vento, enquanto a Estação da APA do Itapiracó apresentou os menores valores médios de velocidade do vento. Avalia-se que a estação Aeroporto por estar localizada em local de maior altitude em relação as outras duas estações, foi o determinante por apresentar os maiores valores de velocidade média do vento.

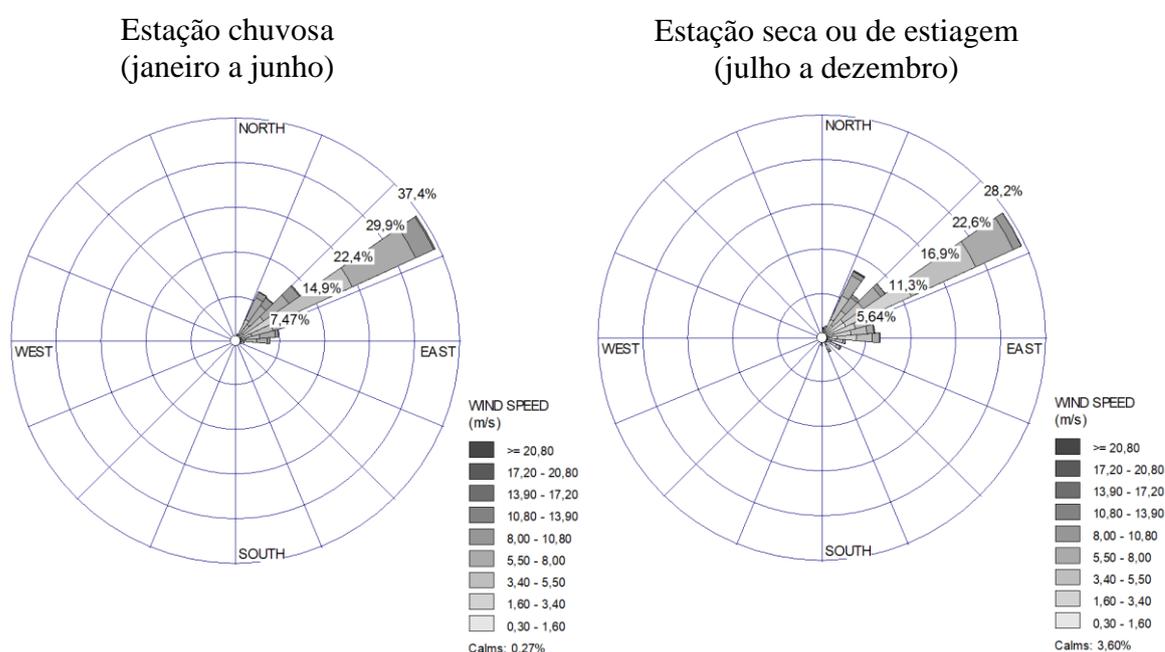
### 5.1.2 Análise sazonal do regime dos ventos

A pesquisa também procurou identificar as variações de direção e velocidade do vento nos dois períodos mais significativos dos padrões climáticos existentes em São Luís, o período chuvoso (janeiro a junho) e o período seco ou de estiagem (julho a dezembro). A escolha destes dois períodos e não das quatro estações climáticas tradicionais (primavera, verão, outono e inverno), deveu-se em função da forte incidência da radiação solar em São Luís durante todo o ano, o que determina não ocorrer as condições climáticas sazonais das estações citadas, característica de lugares com maiores latitudes.

### 5.1.2.1 Estação Aeroporto (Aeronáutica)

Na Estação Aeroporto, nos registros analisados de sua sazonalidade, identificou-se que sua Rosa dos Ventos (Figura 25) apresentou valores de direção muito parecidos, entre as duas estações, não sendo identificadas variações relevantes. A predominância de direção indica o quadrante NE – ENE (nordeste – lés-nordeste) como o hegemônico para as duas estações.

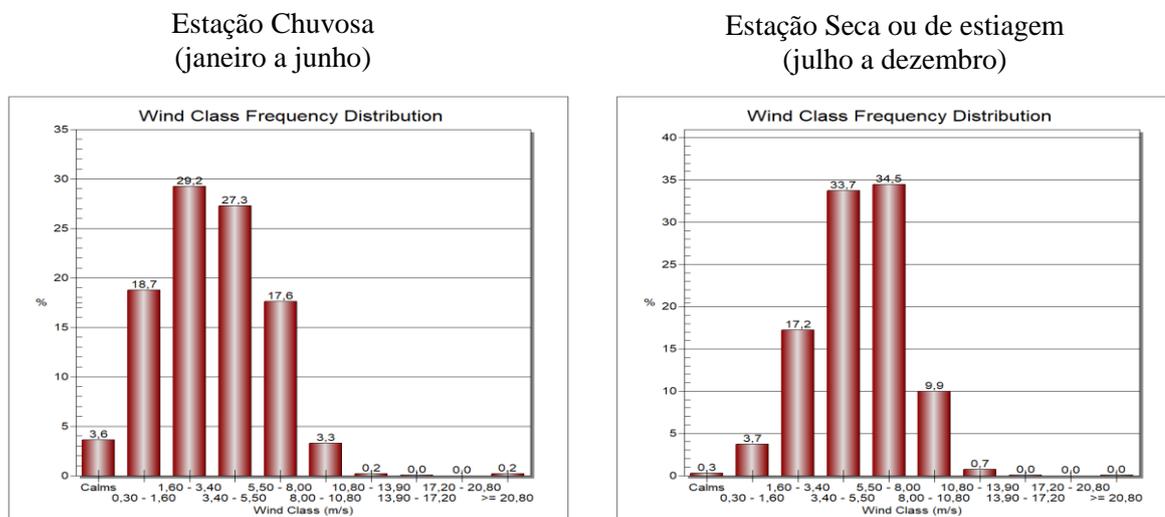
Figura 25 - Rosa dos ventos da estação Aeroporto para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016 na condição sazonal chuvosa (janeiro a junho) e seca ou de estiagem (julho a dezembro).



Fonte: Aeronáutica/AirMetar

Ao contrário do gráfico de direção dos ventos, na Estação Aeroporto as características do vento com relação ao seu histograma de sazonalidade (Gráfico 8) indicaram variações na intensidade dos ventos entre uma estação sazonal e outra.

Gráfico 8 - Histogramas (%) de intensidade dos ventos (m/s) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016 da Estação Aeroporto (Aeronáutica) em suas características de sazonalidade de Estação Chuvosa (janeiro a junho) e Estação Seca ou de estiagem (julho a dezembro).



Fonte: Aeronáutica/AirMetar

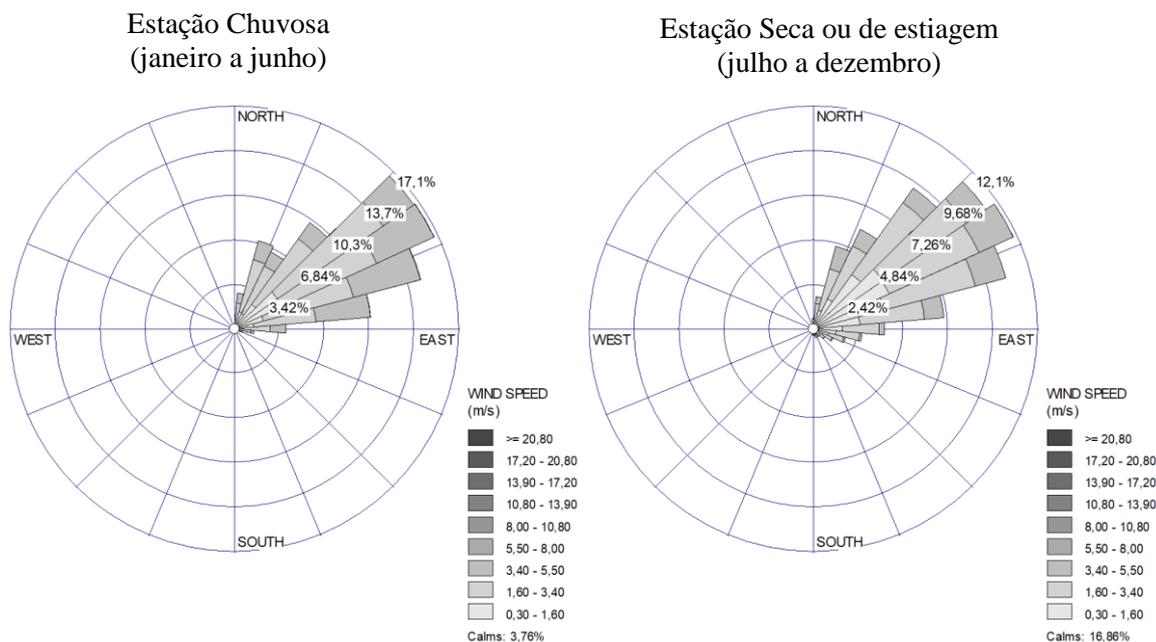
Na análise dos ventos pelo Histograma (Gráfico 8) o período chuvoso (janeiro a junho) os valores apresentaram as maiores ocorrências de vento nas faixas de velocidade menores: 0,30 a 1,60 m/s com 18,7% dos ventos, o intervalo 1,60 a 3,40 m/s com 29,2% dos ventos e o intervalo com ventos de 3,40 a 5,50 m/s com 27,1%, já na faixa de intervalo de ventos mais fortes nos intervalos de 5,5 a 8,0 (m/s) e na faixa 8,0 a 10,8 9 (m/s) com valores respectivos de 17,8% com 3,3%.

Na estação seca ou de estiagem foi possível identificar as seguintes faixas de vento com características consideradas de velocidade fraca 0,30 a 1,60 m/s com 3,7% dos ventos, o intervalo 1,60 a 3,40 m/s com 17,2% dos ventos e o intervalo com ventos de 3,40 a 5,50 m/s com 33,7%. Na faixa considerada de ventos fortes temos nos intervalos de 5,5 a 8,0 (m/s) valores de 34,5% e na faixa 8,0 a 10,8 (m/s) com 9,9% e na faixa de 10,8 a 13,9 (m/s) com 0,7% dos ventos. Na comparação sazonal entre os Histogramas, não se identifica ocorrer variações significativas de velocidade do vento entre o período de estiagem em comparação com o período chuvoso.

### 5.1.2.2 Estação APA do Itapiracó (INMET)

Em relação a direção do vento na estação APA do Itapiracó, nos dois períodos climáticos, os dados não apresentaram variações significativas. (Figura 26)

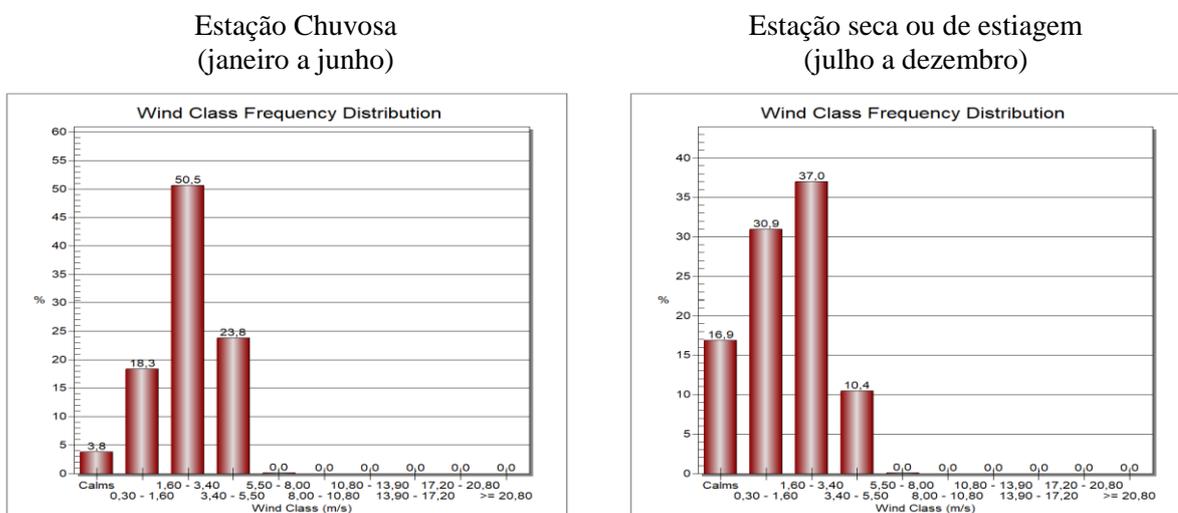
Figura 26 - Rosa dos Ventos da Estação APA do Itapiracó (INMET) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016 na condição sazonal chuvosa (janeiro a junho) e seca ou de estiagem (julho a dezembro).



Fonte: INMET

A Estação APA do Itapiracó apresentou condições de direção e velocidade do vento que acompanham os padrões anteriormente identificados, ventos de direção predominante NE-ENE (nordeste – lés-nordeste) com variações sempre dentro do quadrante norte-leste, pequenas diferenciações foram identificadas apenas na intensidade dos ventos de acordo com a sazonalidade. A sua intensidade está representada no gráfico 9.

Gráfico 9 - Histogramas (%) de intensidade dos ventos (m/s) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016 da Estação APA Itapiracó (INMET) em suas características de sazonalidade de Estação Seca ou de estiagem (janeiro a junho) e Estação Chuvosa (julho a dezembro).



Fonte: INMET

Com relação ao seu histograma sazonal (Gráfico 9), pode-se identificar que durante a estação seca ou de estiagem ocorre uma maior porcentagem de ventos nas faixas de brisas fracas: 0,30 a 1,60 m/s com 30,9% dos ventos, o intervalo 1,60 a 3,40 m/s com 37,0% dos ventos e o intervalo com ventos de 3,40 a 5,50 m/s com 10,4%; já na faixa de intervalo de ventos mais fortes nos intervalos de 5,5 a 8,0 (m/s) e na faixa 8,0 a 10,8 9 (m/s) não foram registrados ventos.

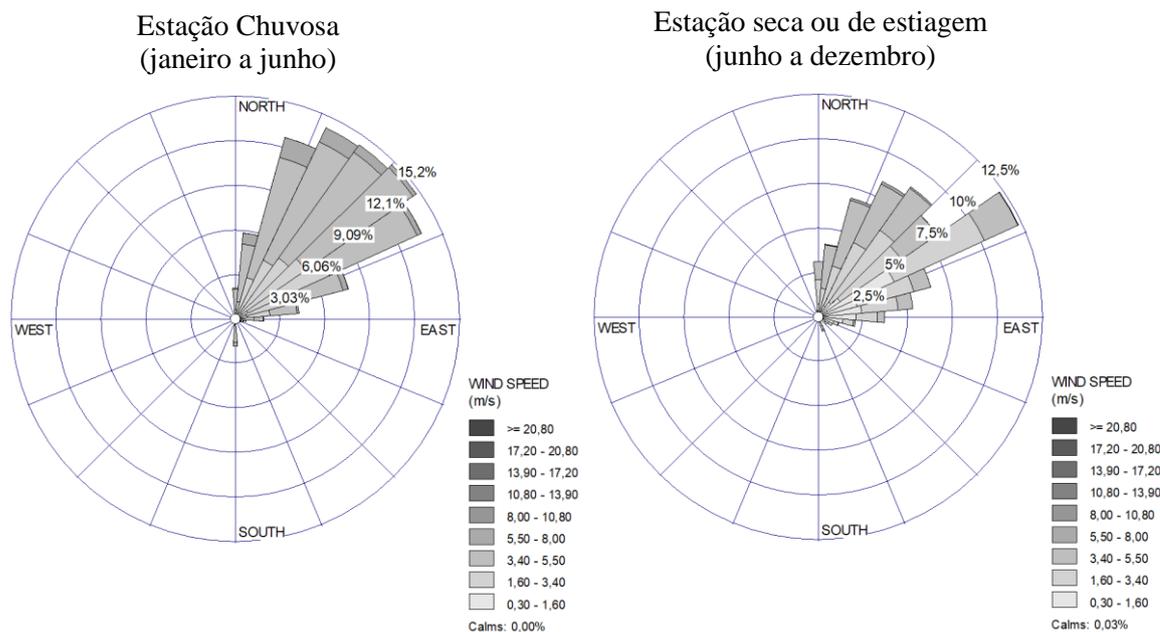
O histograma sazonal do período chuvoso apresentou condições parecidas do período seco; os ventos se apresentaram, em condições de velocidade baixa, na faixa de 0,30 a 1,60 m/s com 18,3% dos ventos. O destaque é o intervalo 1,60 a 3,40 m/s com 50,5% dos ventos e o intervalo com ventos de 3,40 a 5,50 m/s com 23,8%. Na faixa considerada de ventos mais fortes, nos intervalos acima de 5,5 a 8,0 (m/s) não apresentaram nenhuma ocorrência de porcentagem.

A caracterização revelada pela Rosa dos Ventos e Histogramas da estação APA do Itapiracó (INMET) para os períodos sazonais no município de São Luís indicou pouca diferenciação entre as estações, demarcando condições de certa homogeneidade e uniformidade de velocidade e direção do vento sazonal.

### **5.1.2.3 Estação Ponta da Madeira (VALE)**

A estação Ponta da Madeira (VALE) também não apresentou variações significativas de direção do vento em comparação com as duas estações. (Figura 27)

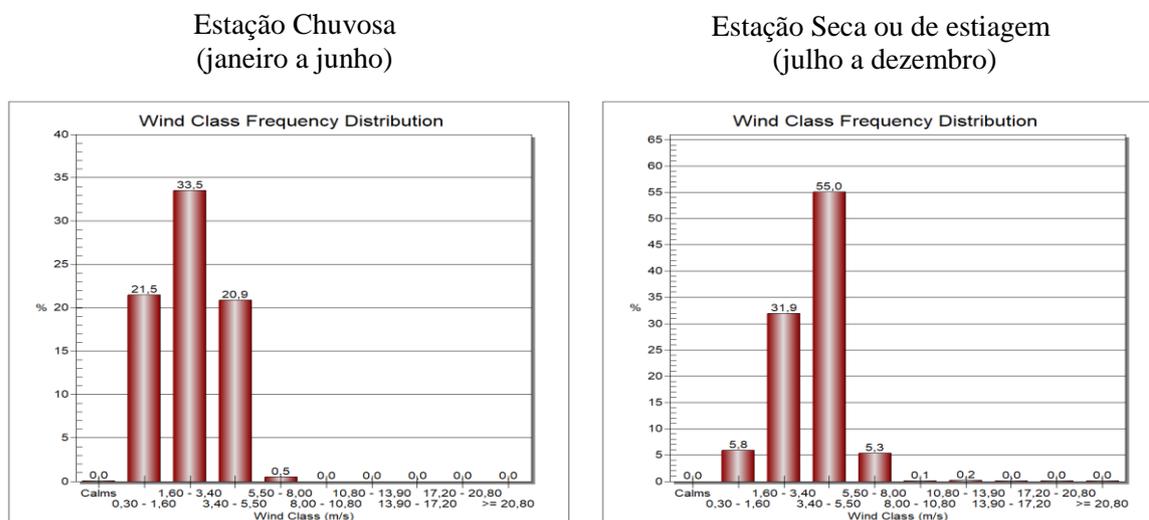
Figura 27 - Rosa dos Ventos da Estação Ponta da Madeira (VALE) para o período de 01/01/2012 a 31/12/2016 na condição sazonal chuvosa (janeiro a junho) e seca ou de estiagem (julho a dezembro).



Fonte: Companhia VALE S/A

A Rosa dos Ventos da sazonalidade da estação Ponta da Madeira (VALE) apresentou valores de direção predominante NE-ENE (nordeste - lés-nordeste) com variações sempre dentro do quadrante norte-leste. A observação a ser feita é, que primeira vez, foi registrada a ocorrência de uma pequena variação de direção sul do vento. O histograma dos períodos chuvoso e seco dos registros da estação Ponta da Madeira apresentaram variações de intensidade do vento muito similar.

Gráfico 10 - Histogramas (%) de intensidade dos ventos (m/s) para o período de 01/01/2013 a 31/12/2016 da Estação APA Itapiracó (INMET) em suas características de sazonalidade de Estação Chuvosa (janeiro a junho) e Estação Seca ou de estiagem (julho a dezembro).



Para o período sazonal de seca ou estiagem os valores identificados no Histograma apresentaram ventos de baixa velocidade com os seguintes valores: na faixa de 0,30 a 1,60 m/s com 5,8% dos ventos, o intervalo 1,60 a 3,40 m/s com 31,9% dos ventos e o intervalo com ventos de 3,40 a 5,50 m/s com 55%; nas faixas de maior velocidade do vento, apresentaram os seguintes valores nos intervalos de 5,5 a 8,0 (m/s) com apenas 5,3%, nas faixas de 8,0 a 10,8 (m/s) e 10,8 a 13,9 com 0,1% e 0,25 respectivamente dos ventos.

Com relação ao seu histograma de sazonalidade, esta apresentou valores para o período chuvoso que indicam predominância de ventos fracos na faixa de 0,30 a 1,60 m/s com 21,5% dos ventos, o intervalo 1,60 a 3,40 m/s com 33,5% dos ventos e o intervalo com ventos de 3,40 a 5,50 m/s com 20,9%; já na faixa de intervalo de ventos mais fortes nos intervalos de 5,5 a 8,0 (m/s) com apenas 0,5%, nas faixas de 8,0 a 10,8 (m/s) e superiores não foram registrados ventos. Os valores identificados pela Rosa dos Ventos e Histogramas da Estação Ponta da Madeira (VALE) indicaram que a direção e velocidade dos ventos confirmam a condição de homogeneização entre os períodos climáticos, indicando ocorrer apenas pequenas variações no aumento da velocidade do vento entre a estação seca para a chuvosa.

A partir das análises dos registros produzidos pelas estações, Aeroporto, APA do Itapiracó e Ponta da Madeira, em comparação com os períodos sazonais, identificaram-se não ocorrer variações significativas de direção do vento. Este se apresenta para as duas estações (estiagem e chuvosa) predominância de direção NE-ENE (nordeste – lés-nordeste), com variações sempre dentro do quadrante norte – leste.

Já com relação à caracterização da velocidade do vento e com o objetivo de proporcionar uma análise mais detalhada de como se configura a velocidade do vento em São Luís em condições sazonais, se produziu a tabela 11:

Tabela 11 - Porcentagem de velocidade do ar nos períodos chuvoso (janeiro a junho) e seco ou de estiagem (julho a dezembro) em São Luís, registrados pelas três estações.

<i>Velocidade do ar (m/s)</i>	<i>Aeroporto (%)</i>		<i>INMET (%)</i>		<i>Ponta da Madeira (%)</i>	
	Estação seca	Estação chuvosa	Estação seca	Estação chuvosa	Estação seca	Estação chuvosa
<i>Calmaria</i>	3,6	0,3	3,8	16,9	0,0	0,0
<i>0,3 - 1,6</i>	18,7	3,7	18,3	30,9	21,5	5,8
<i>1,6 - 3,4</i>	29,2	17,2	<b>50,5</b>	37,0	33,5	31,9
<i>3,4 - 5,5</i>	27,3	33,7	23,8	10,4	20,9	<b>55,0</b>
<i>5,5 - 8,0</i>	17,6	<b>34,5</b>	0,0	0,0	0,5	5,3

8,0 - 10,8	3,3	9,9	0,0	0,0	0,0	0,1
10,8 - 13,9	0,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,2
13,9 - 17,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17,2 - 20,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>=20,8	<b>0,2</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Adaptação: Autor

A partir de uma análise mais geral podemos depreender que os registros produzidos pelos Histogramas das três estações para os períodos sazonais, apresentaram resultados indicando não ocorrer variações de velocidade do vento entre as estações chuvosa e seca. Na estação Aeroporto e Ponta da Madeira a maior porcentagem de velocidade do vento ocorreu na estação chuvosa com 34,5% e 55%, na estação INMET a maior porcentagem de velocidade do vento ocorreu na estação seca com 50,5%. O destaque identificado nos registros foi que na estação Aeroporto, chegaram a ocorrer ventos de grande velocidade na estação seca ou de estiagem com valores que ultrapassaram a velocidade de 20,8m/s.

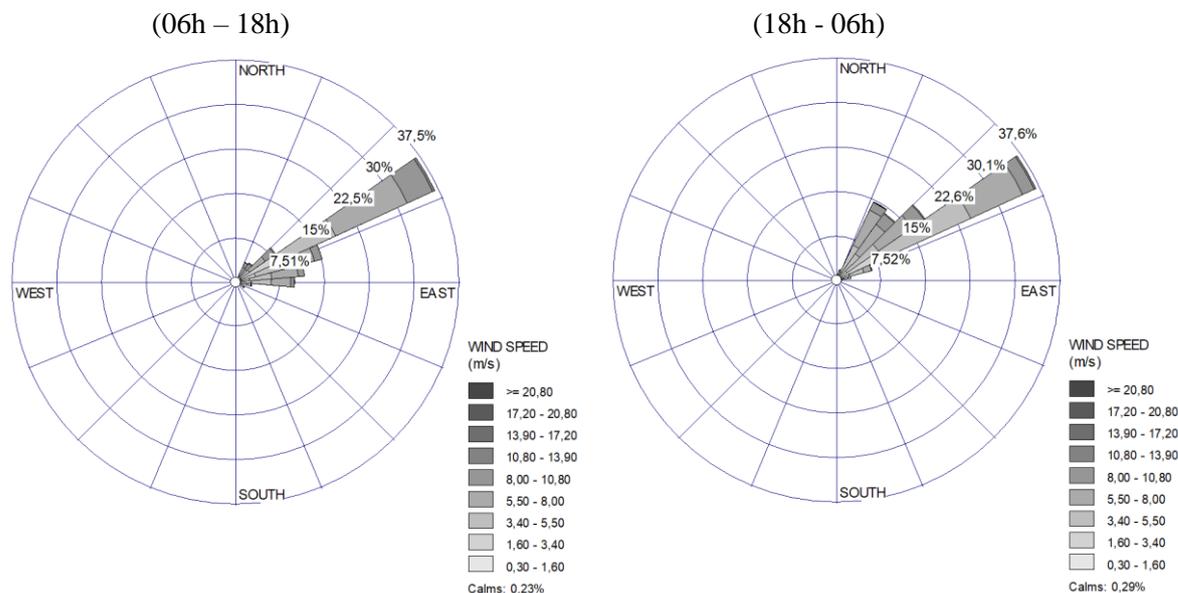
### 5.1.3 Análise cíclica diária do regime dos ventos

Com objetivos de identificar as variações de direção e velocidade do vento em seu ciclo diário foram produzidos Rosa dos Ventos e Histogramas para dois períodos horários (06h - 18h) e (18 - 06h) do ciclo diário das três estações localizadas dentro do município de São Luís. A escolha desses horários ocorreu em função da regularidade do nascer do sol em São Luís entre janeiro a dezembro ser sempre próximo das 6hs e seu por do sol às 18hs.

#### 5.1.3.1 Estação Aeroporto (Aeronáutica)

Os valores identificados pela Estação Aeroporto foram importantes por apresentar que não ocorrem variações de direção do vento diurno ou noturno, mesmo o município de São Luís estar localizado em uma ilha costeira, os registros indicaram que os ventos sempre ocorrem na direção NE-ENE (nordeste – lés-nordeste) e que variações somente ocorrem dentro do quadrante norte-leste. (Figura 28)

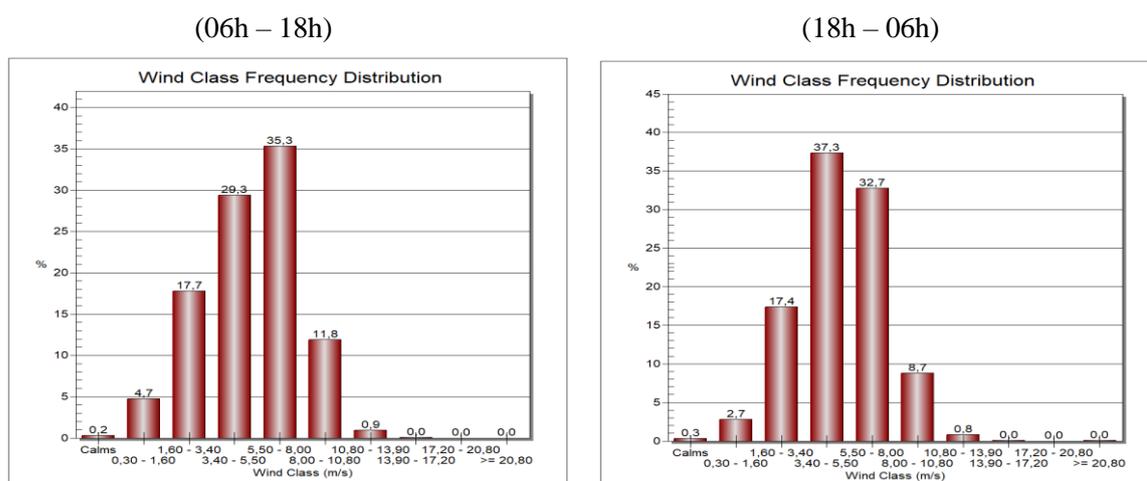
Figura 28 - Rosa dos Ventos cíclicas diários do vento para o período de 2012 a 2016 da Estação Aeroporto (Aeronáutica).



Fonte: Aeronáutica/AirMetar

Com relação aos Histogramas, os registros apresentaram pequenas variações entre os ciclos diários. As variações de velocidade indicaram que os ventos diurno e noturno possuem igualdade de distribuição entre ventos mais fortes e fracos.

Gráfico 11 - Histogramas (%) dos cíclicos diurno (06h - 18h) e noturno (18h - 06h) dos ventos para o período de 2012 a 2016 da Estação Aeroporto (Aeronáutica).



Fonte: Aeronáutica/AirMetar

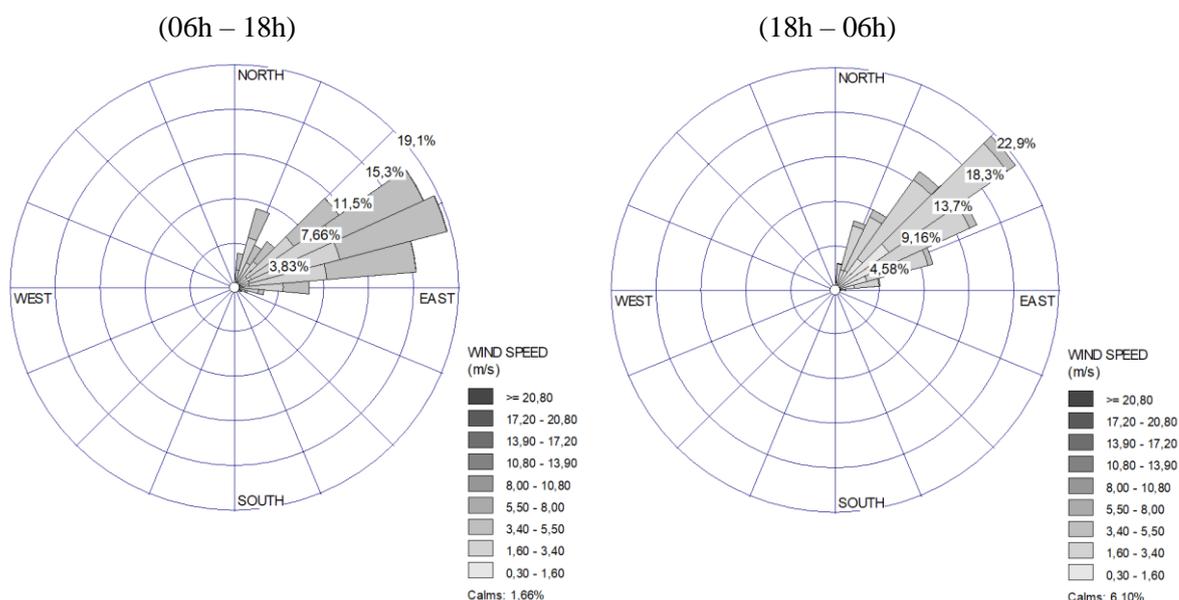
Os registros de frequência das faixas indicaram que dentro do intervalo entre calmarias e a faixa de 3,4 a 5,5 m/s considerados ventos fracos, na condição diurna (06h - 18h) apresentaram a soma de valores de 51,9%, e na condição noturna (18h - 06h) com

57,7% dos ventos fracos dentro do ciclo diário. Os ventos considerados fortes, acima da faixa de 5,5 a 8,0 m/s representaram, na condição diurna (06h – 18h), a soma de valores de 48% dos ventos e, na condição noturna (18h – 06h), com valores de 42,2% dos ventos.

### 5.1.3.2 Estação APA do Itapiracó (INMET)

A Rosa dos Ventos produzida com os registros da Estação APA do Itapiracó (INMET) apresentaram valores de direção predominante NE-ENE (nordeste – lés-nordeste) para os seus ciclos diurno (06h – 18h) e noturno (18h – 06h), e as variações de direção do vento ocorreram sempre dentro do quadrante norte-leste. (Figura 29)

Figura 29 - Rosa dos Ventos de ciclos diários para o período de 2012 a 2016 na Estação APA do Itapiracó (INMET).

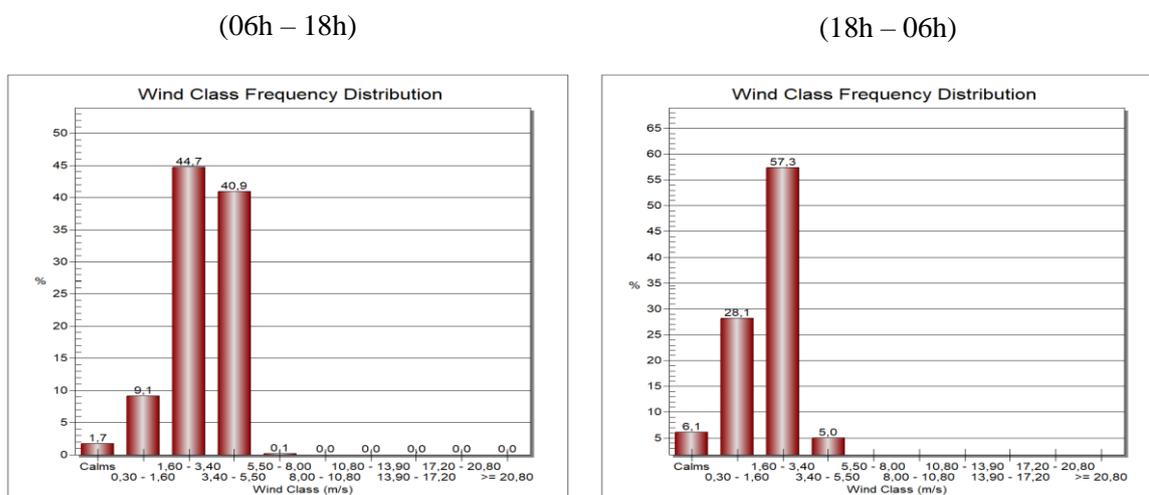


Fonte: INMET

Destaca-se, através dos registros, que a influência da diferença barométrica na geração da brisa terrestre e brisa marinha dos ciclos diários para o município de São Luís, não são capazes de provocar mudanças na direção dos ventos noturnos da terra para o mar. A presença dos Ventos Alísios, ao que tudo indica, estão exercendo uma influência determinante na direção dos ventos em São Luís.

Com relação ao seu Histograma, este também indicou certa homogeneidade de intensidade nas variações de velocidade do vento. (Gráfico 12)

Gráfico 12 - Histogramas (%) dos cíclicos diurno (06h – 18h) e noturno (18h – 06h) dos ventos para o período de 2012 a 2016 da Estação APA do Itapiracó (INMET).



Fonte: INMET

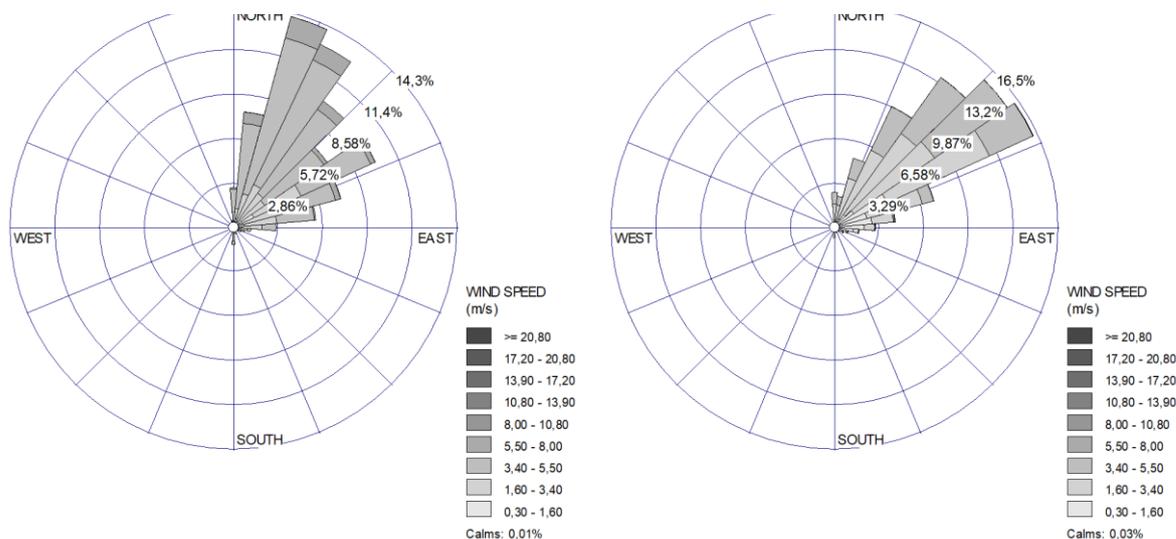
Quanto aos registros produzidos pelo Histograma para os seus ciclos diário e noturno, os registros das faixas de frequência do vento indicaram que dentro do intervalo entre calmarias e a faixa de 3,4 a 5,5 m/s, considerados ventos fracos na Escala Beaufort na condição diurna (06h – 18h), representaram valores no seu conjunto de 96,4% dos ventos incidentes e, na condição noturna (18h – 06h), com 96,5% dos ventos fracos dentro do ciclo diário. Os ventos considerados fortes, acima da faixa de 5,5 a 8,0 m/s representaram na condição diurna (06h – 18h) a soma de valores de 3,6% dos ventos, e na condição noturna (18h – 06h) com valores de 3,5% dos ventos.

Os valores apresentados pelo Histograma para a Estação APA do Itapiracó (INMET) indicaram não ocorrer predomínio de maior ou menor velocidade dos ventos entre o dia e a noite, porém apresentaram intensidade dos ventos é ligeiramente superior durante o dia.

### 5.1.3.3 Estação Ponta da Madeira (VALE)

Os valores identificados pela Estação Ponta da Madeira (VALE) (Figura 30) representaram pequenas variações de direção do vento diurno ou noturno, as direções predominantes foram na condição diurna NNE – NE (nor-nordeste – nordeste) e na condição noturna NE - ENE (nordeste – lés-nordeste).

Figura 30 – Rosa dos Ventos de ciclos diários no período de 2012 a 2016 na Estação Ponta da Madeira (VALE)

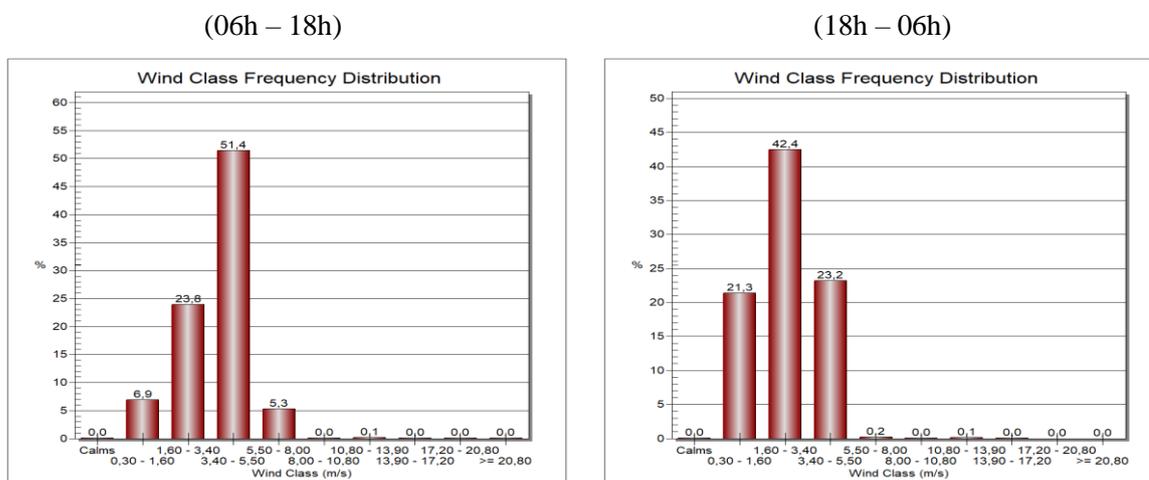


Fonte: Companhia VALE S/A

Destaca-se que esta estação, por estar localizada mais próxima do litoral, recebe mais diretamente ventos do mar com poucas turbulências. Confirma com os registros, e em consonância com as outras estações, a ausência da influência da brisa terrestre noturna e seus ventos são fortemente impactados pelos Ventos Alísios.

Os valores apresentados pelos histogramas para a Estação Ponta da Madeira (VALE) indicaram também domínio marcante de ventos fracos seja na condição cíclica diurna ou noturna. (Gráfico 13)

Gráfico 13 - Histogramas (%) cíclicos diário dos ventos para o período de 2013 a 2016 da Estação Ponta da Madeira (VALE).



Fonte: Companhia VALE S/A

Os registros de frequência representados pelos Histogramas nas faixas de velocidade do vento indicaram que, dentro do intervalo entre a faixa de 0,30 a 1,6 m/s e 3,4 a 5,5 m/s considerados ventos fracos, na condição diurna (06h – 18h), apresentaram valores de 82,1% dos ventos e, na condição noturna (18h – 06h), com 86,9% dos ventos fracos dentro do ciclo diário. Os ventos considerados fortes, acima da faixa de 5,5 a 8,0 m/s representaram na condição diurna (06h – 18h) valores de 5,4% dos ventos e na condição noturna (18h – 06h) com valores de 0,3% dos ventos.

Com a finalidade de expressar a síntese do conhecimento produzido e a partir dos parâmetros de análise quantitativa e qualitativa dos registros das três estações podemos caracterizar que os ventos que sopram sobre a cidade de São Luís são predominantemente de NE – ENE (nordeste – lés-nordeste) em suas condições anuais, sazonais e de cíclicos diários (diurno e noturno). Variações de direção ocorrem somente dentro do quadrante norte – leste. Seus ventos se caracterizam por serem de baixa intensidade, prevalecendo ventos de velocidade dentro da faixa entre 0,3 a 5,5 m/s, considerados brisas fracas, segundo a Escala Beaufort. Destaca-se ainda que os ventos em São Luís possuem perenidade e constância de atuação diária com poucos registros de condição de calmaria. A velocidade do vento em São Luís também não apresenta variações significativas de intensidade tanto anuais, quanto sazonais ou diárias.

Outra constatação registrada pelos dados fornecidos pelas estações é que a manifestação do fenômeno da inversão barométrica nas condições cíclicas diurnas e noturnas não é capaz de modificar a direção dos ventos que são prevalecentes do mar para a terra. Os Ventos Alísios estão presentes e influenciam fortemente as condições de direção e velocidade dos ventos no município de São Luís.

## **5.2 SUBSISTEMA FÍSICO-QUÍMICO**

A poluição atmosférica que se caracteriza pela emissão de gases tóxicos e de materiais particulados na atmosfera, seja de fontes de poluição natural (poeira produzida pelo vento, gás metano da decomposição biológica da matéria orgânica, erupções vulcânicas, etc) ou antrópica, advinda em grande parte das grandes aglomerações urbanas e industriais, gerada principalmente pela grande presença de automóveis e da emissão gases tóxicos no processo

industrial, são os responsáveis por colocar em risco a qualidade de vida de muitos dos seres vivos no planeta.

A poluição atmosférica nas cidades tem como principal efeito negativo afetar a saúde humana. Lopes (1998) destaca que entre os diversos efeitos do ar poluído na saúde humana, o principal sistema orgânico acometido é o respiratório, devido à deposição de partículas no interior do organismo. Além de provocar doenças das vias respiratórias, também são identificadas doenças cardiovasculares, dermatológicas, gastrointestinais, problemas oftálmicos e tipos de câncer que se originam a partir da presença de poluição atmosférica no ambiente (PEITER e TOBAR, 1998). Gouveia et al., (2006) analisaram a associação entre o Material Particulado (MP) e as internações hospitalares no Município de São Paulo e constataram que um aumento de  $10\mu\text{g m}^{-3}$  de Partículas Inaláveis (PI) está associado ao incremento de 4,6% nas internações por asma em crianças, de 4,3% por doença pulmonar obstrutiva crônica e de 1,5% por doença isquêmica do coração em idosos.

Alguns pesquisadores, dentre eles Peiter e Tobar, (1998) afirmam que, nas cidades industriais, a emissão de gases tóxicos e partículas pelas indústrias somadas à poluição provocada pela circulação de veículos, geram muitas vezes situações críticas para a saúde da população. A poluição atmosférica é, sem dúvida, um fator de risco muito sério para a saúde humana.

A resolução CONAMA n°03/90, que regulamenta as condições atmosféricas brasileiras, conceitua poluição atmosférica da seguinte forma em seu Art. 1° - Parágrafo único:

Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possa tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade (p.342).

A poluição atmosférica pode ocorrer de diversas formas e serem geradas por diversos vetores. Da Silva (2016) constatou em pesquisa que a ocorrência de queimadas, veículos desregulados, padrões construtivos urbanos inadequados e ruas sem cobertura asfáltica podem contribuir muito mais significativamente para a geração de poluição do ar do que contaminantes provenientes das indústrias.

Sob a perspectiva desenvolvida pelo referencial metodológico adotado na pesquisa e desenvolvido por Monteiro (1975) em sua proposta de Sistema Clima Urbano (SCU), os estudos desenvolvidos neste capítulo visam analisar espacialmente e temporalmente as condições atmosféricas de qualidade do ar nos seus aspectos físico-químico dos índices de particulados no âmbito da camada de ar intraurbano (canopy layer) Oke (1978) e comprovar como estão constituídos os níveis de poluição atmosférica para a cidade de São Luís.

A cidade de São Luís possui sete estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar, pertencentes à Companhia Vale S/A, administrados através da empresa terceirizada ECOSOFT que os instalou e gerencia. As estações estão distribuídas em diversos locais dentro do município de São Luís: 1) Estação Vila Maranhão - Unidade de Saúde Yves Pargas; 2) Estação EMAP (Empresa Maranhense de Administração Portuária) - Estacionamento da EMAP; 3) Estação Bacanga - Posto de Saúde Bacanga, 4) Estação Centro – 1º Grupamento dos Bombeiros Militares; 5) Estação UEMA - Universidade Estadual do Maranhão; 6) Estação Calhau - Quartel do Comando Geral da Polícia Militar Maranhão e 7) Estação CE Y Bacanga – Centro de Ensino Médio Y Bacanga.

Após tentativas frustradas junto a empresa ECOSOFT e a Companhia Vale S/A em fornecer dos dados registrados pelas estações, os dados brutos coletados pelas estações foram obtidos junto à Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Maranhão através da Superintendência de Planejamento e Monitoramento Ambiental. A aquisição dos dados junto a SEMA/MA foi possível em função da legislação ambiental brasileira Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que determina o monitoramento de possíveis impactos ambientais de grandes empreendimentos e o fornecimento das informações aos órgãos públicos e da Lei nº 12.527 de 18 de novembro de 2011, chamada Lei da Transparência. Os dados coletados de poluição do ar representam valores apurados a cada hora, em todos os dias, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2016. Nas fotografias que seguem são identificadas algumas das estações da Rede Automática de Monitoramento de Qualidade do Ar – RAMQA distribuídas no município de São Luís (Foto 9).

Foto 9 - Fotos de algumas das estações da Rede Automática de Monitoramento de Qualidade do Ar – RAMQA instaladas em São Luís.



Foram escolhidos dois parâmetros de materiais particulados geradores de poluição atmosférica para a pesquisa: Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Partículas Inaláveis (PI). A escolha desses dois particulados decorreu por esses elementos apresentarem dados em quantidade consistentes dos anos estudados, como também representarem valores de poluição que identificam tanto a poluição proveniente da queima de combustíveis fósseis (veículos automotores, biomassa vegetal), quanto de material em suspensão proveniente da ação do vento.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2017), Material Particulado é constituído por:

Uma mistura complexa de sólidos com diâmetro reduzido, cujos componentes apresentam características físicas e químicas diversas. Em geral o material particulado é classificado de acordo com o diâmetro das partículas, devido à relação existente entre diâmetro e possibilidade de penetração no trato respiratório.

Afirma ainda o MMA (2017) que os efeitos à saúde da população por material particulado indicam ocorrências de: câncer respiratório, arteriosclerose, inflamação de pulmão, agravamento de sintomas de asma, aumento de internações hospitalares que podem levar à morte.

No Brasil, os padrões de qualidade do ar foram estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de 1990, que complementa a Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989, no qual instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR. Com esta Resolução foram determinados, para o Brasil, os padrões de qualidade do ar para os poluentes atmosféricos: a) Partículas Totais em Suspensão – PTS e b) Partículas Inaláveis – PI, utilizados na pesquisa. A Resolução 3/90 CONAMA, ao estabelecer os padrões de monitoramento para valores médios diários e anuais para os Particulados PTS e PI, também determinou que os índices diários não devem exceder em mais de uma vez por ano os seus valores. (Tabela 12)

Tabela 12 - Valores de concentração média dos padrões de qualidade do ar para Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Partículas Inaláveis (PI) determinados pela Resolução nº 3/90 - CONAMA.

Poluentes	Padrão Primário	
	CONAMA (concentração máxima)	Referência Temporal
Partículas Totais em Suspensão – PTS	80 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Um ano
	240 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas
Partículas Inaláveis - PI	50 ( $<10\mu\text{m}^3$ )	Um ano
	150 ( $<10\mu\text{m}^3$ )	24 horas

Fonte: Resolução nº 3/90 - CONAMA

Segundo determina a norma da Resolução para as Partículas Totais em Suspensão – PTS, a concentração média geométrica anual não deve ultrapassar 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar, e para concentrações médias de 24 (vinte e quatro) horas não deve ultrapassar 240 (duzentos e quarenta) micrograma por metro cúbico de ar. Para as Partículas Inaláveis – PI, a concentração média geométrica anual não deve ultrapassar 50 (cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar e para concentrações médias de 24 (vinte e quatro) horas não deve ultrapassar 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar.

Todas as estações automáticas de monitoramento do ar estão localizadas geograficamente dentro do município de São Luís (Tabela 2). E os dados adquiridos representam parâmetros diários coletados todos os dias, cada hora, dos anos de 2013 a 2016

em todas as estações. Destacamos também que alguns dados coletados das séries apresentaram inconsistências ou falhas indicando que em alguns dias ocorreram registros incompletos ou ausentes. Optou-se por não aplicar nenhuma técnica metodológica de correção ou substituição das falhas.

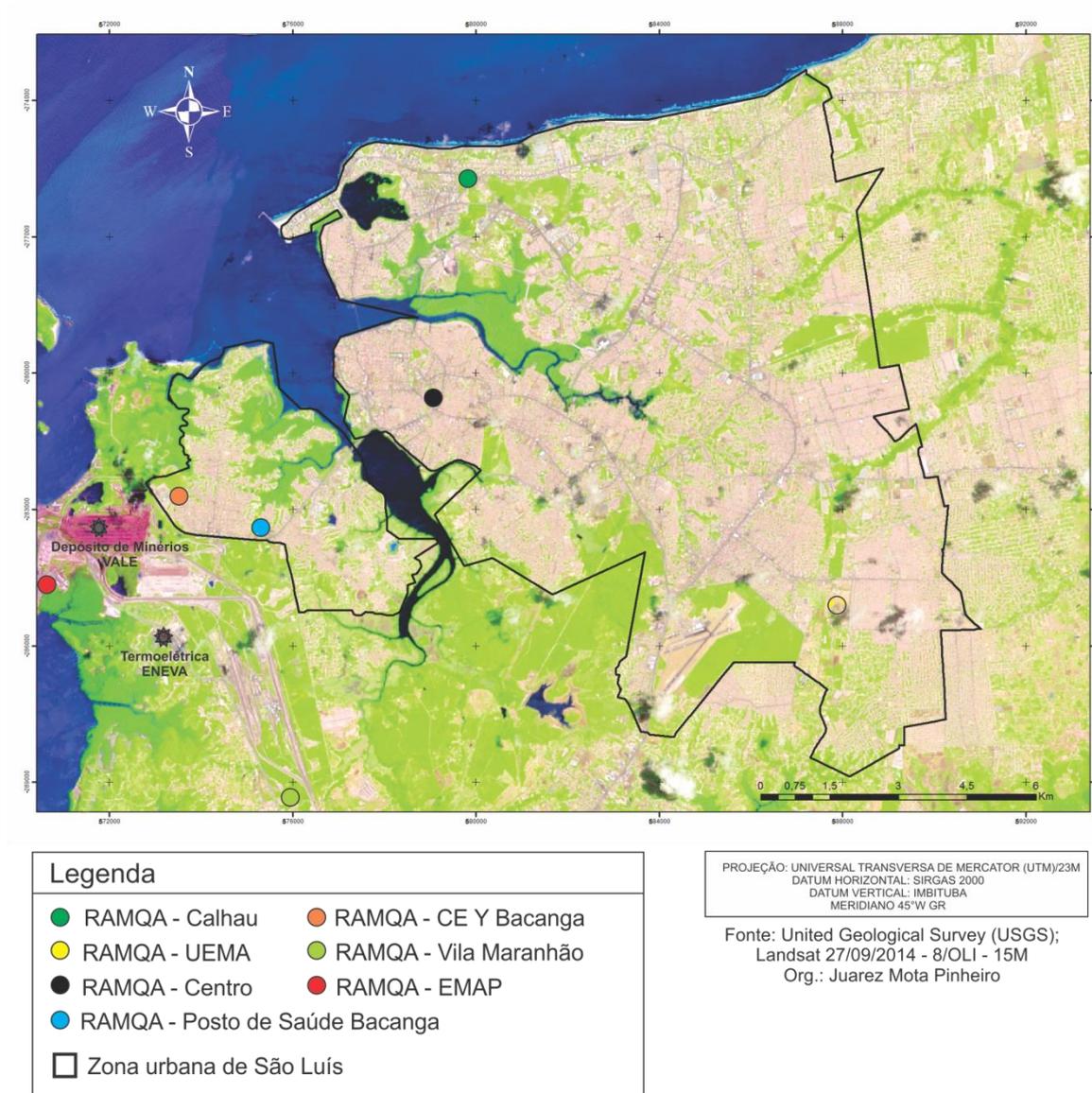
Tabela 13 - Localização das coordenadas métricas UTM das Redes Automáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar em São Luís.

REDES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR – RAMQA			
	ESTAÇÕES	Coord. UTM (E)	Coord. S UTM (S)
1	RAMQA - Estação Calhau	580180,23	9724254,45
2	RAMQA - Estação Centro	578683,93	9719671,80
3	RAMQA - Estação UEMA	587902,72	9714797,96
4	RAMQA - Estação Posto de Saúde Bacanga	575535,94	9716397,50
5	RAMQA - Estação Vila Maranhão	576016,61	9709842,79
6	RAMQA - Estação EMAP	570464,68	9715225,62
7	RAMQA - Estação CE Y Bacanga	573835,55	9716874,64

Fonte: Autor

Para uma melhor visualização da localização das estações automáticas de Monitoramento do Ar no município de São Luís, o Mapa 9 identifica suas localizações geoespaciais.

Mapa 9 - Localização das Redes Automáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar - RAMQA em São Luís – MA.



Fonte: Autor

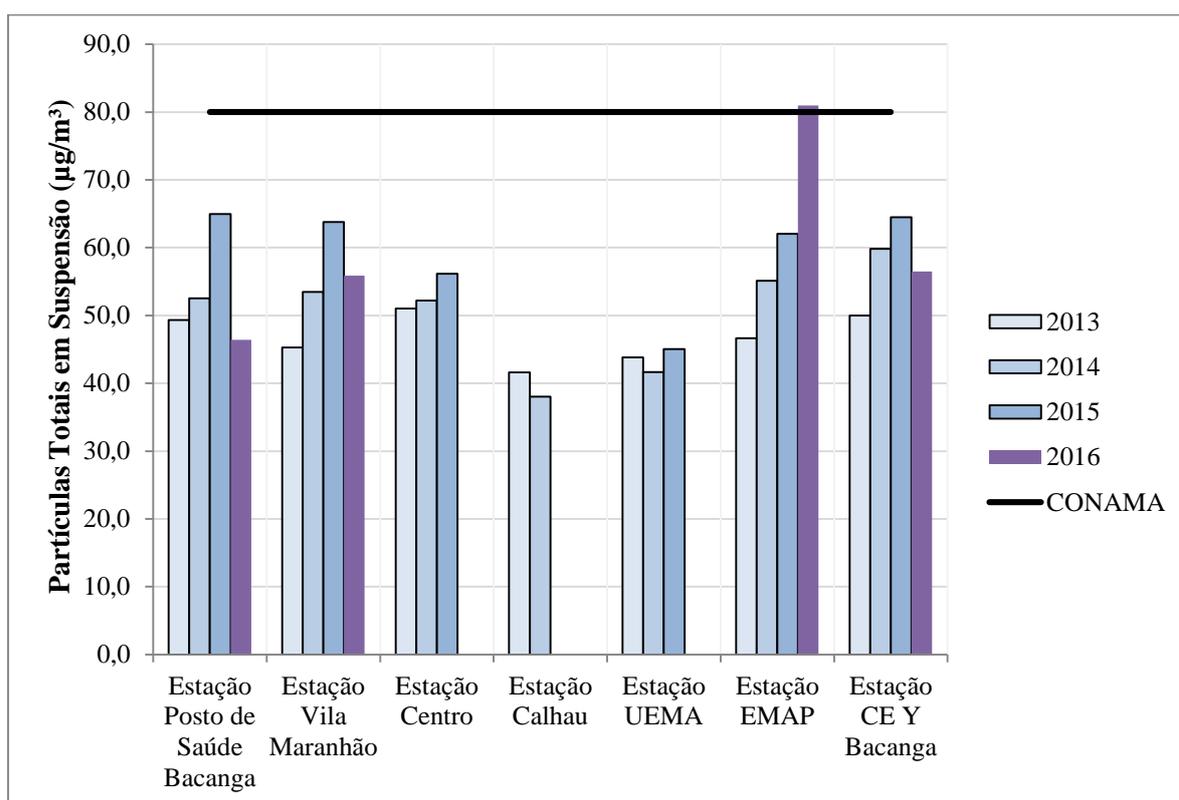
As observações a serem destacadas são primeiramente que das sete estações de monitoramento utilizadas na pesquisa, cinco estão localizadas dentro da zona urbana de São Luís (Estação Calhau – Estação UEMA – Estação Centro – Estação Posto de Saúde Bacanga – Estação CE Y Bacanga), uma na zona portuária (Estação EMAP) e a última no distrito industrial do município (Estação Vila Maranhão). O outro destaque observado no mapa de localização das estações são as localizações de dois empreendimentos propensos a serem grandes geradores de poluição do ar: o local de deposição e estocagem do minério de ferro proveniente de Carajás-PA pertencente a Companhia VALE S/A, e o outro a Termoeletrica movida a carvão mineral da empresa ENEVA S/A.

### 5.2.1 Análise dos parâmetros anuais de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ )

Após a organização dos dados brutos realizados através do software Office Excel 2010, foram calculadas as médias diárias, mensais e anuais gerando valores estatísticos e gráficos que serviram para identificar os níveis de poluição do ar pelos Materiais Particulados (PTS – PI) nos parâmetros determinados pela Resolução 3/90 CONAMA.

Inicialmente com os índices de média anual (Gráficos 14 e 15) em que foram dispostas todas as estações e os anos utilizados na pesquisa. Observa-se que ocorreram falhas nos dados coletados por algumas estações para a geração da média anual, não sendo possível a sua representação.

Gráfico 14 - Média anual das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar em São Luís para Partículas Totais em Suspensão PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) em comparação com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 3/90 - ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no período de 2013 a 2016.



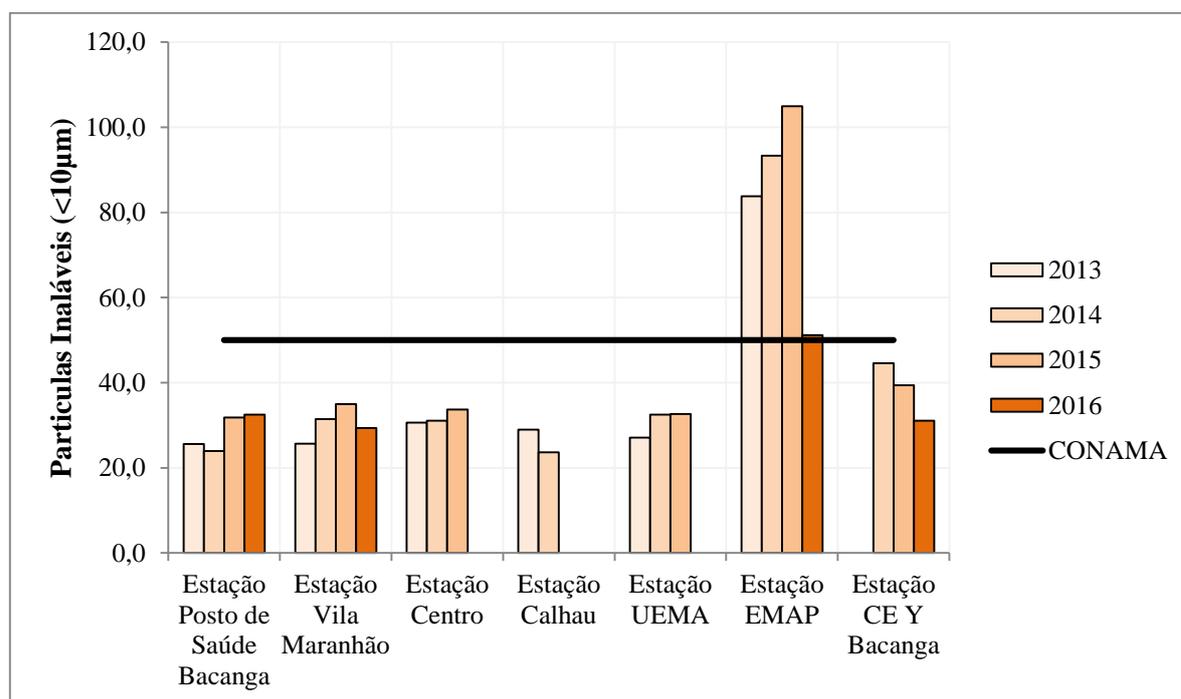
Fonte: VALE/Ecosoft – SEMA – Org.: Autor

Com o gráfico 14 foi possível identificar que a estação EMAP localizada na zona portuária do município foi a única a ultrapassar os parâmetros estabelecidos pela Resolução 3/90 CONAMA para Partículas Totais em Suspensão PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e isto ocorreu no ano de

2016 com valores médios anuais registrados de  $80,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , um valor que ultrapassou em  $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  os limites estabelecidos pela Resolução. Na zona portuária, onde se encontra o Porto do Itaqui através do qual são transportados, dentre outros produtos, o minério de ferro proveniente de Carajás-PA. Avalia-se que a movimentação de cargas do Porto, e principalmente de minério de ferro, estaria sendo a responsável pela geração desses índices de poluição do ar.

A seguir, no gráfico 15, estão organizados, por estação e por ano, os valores de média anual para os parâmetros de poluição de Partículas Inaláveis em índices de  $<10\mu\text{m}^3$ . Destaca-se também, com relação ao gráfico, que não foi possível a representação gráfica de alguns anos, em algumas estações, em função de falhas na coleta dos dados pelos equipamentos.

Gráfico 15 - Média anual das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar em São Luís para Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ) em comparação com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 3/90 - ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no período de 2013 a 2016.



Fonte: VALE/Ecosoft – SEMA – Org.: Autor

O destaque negativo apresentado nos valores de poluição para Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ), para todos os anos registrados, foi a Estação EMAP que excedeu os limites de poluição estabelecidos pela Resolução 3/90 - CONAMA. A estação EMAP excedeu os limites de poluição de Partículas Inaláveis em 68% com valores de  $83,8 (<10\mu\text{m}^3)$  no ano de 2013, em

87% com valores de 93,4 ( $<10\mu\text{m}^3$ ) no ano de 2014, em 110% com valores de 105 ( $<10\mu\text{m}^3$ ) no ano de 2015 e em 2% com valores de 51,1 ( $<10\mu\text{m}^3$ ) no ano de 2016.

A identificação desta situação pelos gráficos gerados demarca a grave situação da poluição do ar por PI em todos os anos e por PTS no ano de 2016, em uma área administrada e controlada, em sua grande parte, pela Companhia Vale S/A que, principalmente, através da movimentação de minério de ferro, está gerando graves índices de poluição do ar. A Termoelétrica é outra empresa, que estando dentro da área de influência de registros da Estação EMAP, deve ter também suas atividades melhor monitoradas.

Constatou-se também que as outras estações de monitoramento dentro da zona urbana de São Luís apresentaram índices aceitáveis de poluição do ar por PI e PTS, determinando que o volume de poluição automotiva ainda não está sendo capaz de ultrapassar os limites estabelecidos pela Resolução. Destaca-se, também, a influência que a direção do vento está exercendo sobre a poluição do ar na cidade de São Luís. Como a direção do ar ocorre predominantemente de direção são NE – ENE (nordeste – lés-nordeste) em suas condições anuais, sazonais e de cíclicos diários (diurno e noturno), a poluição do ar que está sendo gerada pela empresa VALE e possivelmente ENEVA não se direcionam para a cidade, fator positivo para toda a população urbana de São Luís.

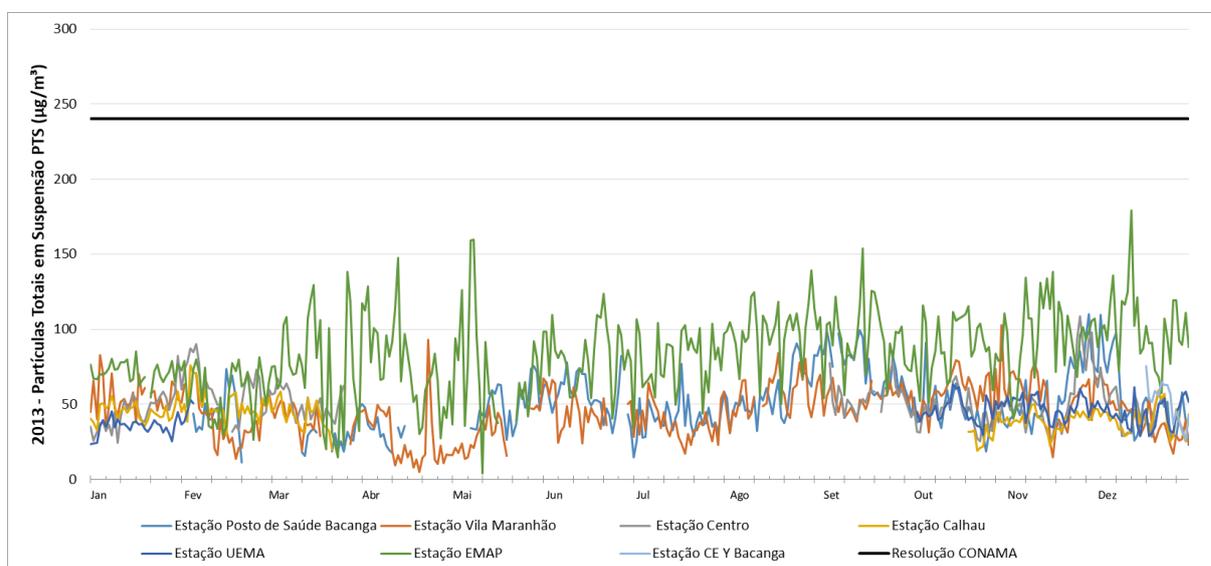
### **5.2.2 Análise dos parâmetros diários de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ )**

Os gráficos de média diária das estações foram produzidos a partir dos dados registrados a cada hora em sua soma diária pelas estações. Foram dispostos para também ser possível identificar o que determina a Resolução 3/90 – CONAMA, sobre quais os limites que não se deve exceder.

#### **5.2.2.1 Materiais particulados (PTS – PI) - ANO 2013**

Nos parâmetros de concentração de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no ano de 2013, produziu-se o gráfico 16.

Gráfico 16 - Valores diários das concentrações de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2013.

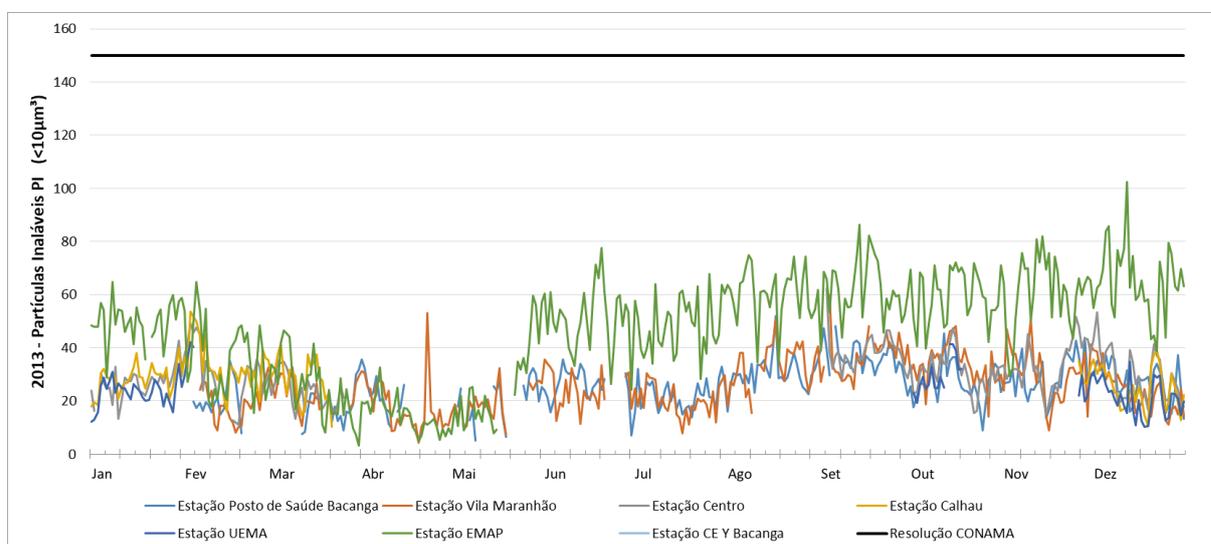


Fonte: VALE/Ecosoft – SEMA – Org.: Autor

Os valores de registro diário das concentrações de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) não apresentaram, em nenhuma das estações, valores que ultrapassaram os limites estabelecidos na Resolução 3/90 no ano de 2013. O destaque a ser observado é a estação EMAP, que, apesar de não ultrapassar os limites de poluição, é a que apresentou sempre os maiores valores de poluição em todo o ano de 2013.

No gráfico 17, a seguir, estão a representação dos valores de Particulados Inaláveis de todas as estações para o ano de 2013.

Gráfico 17 - Valores diários das concentrações de Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2013.



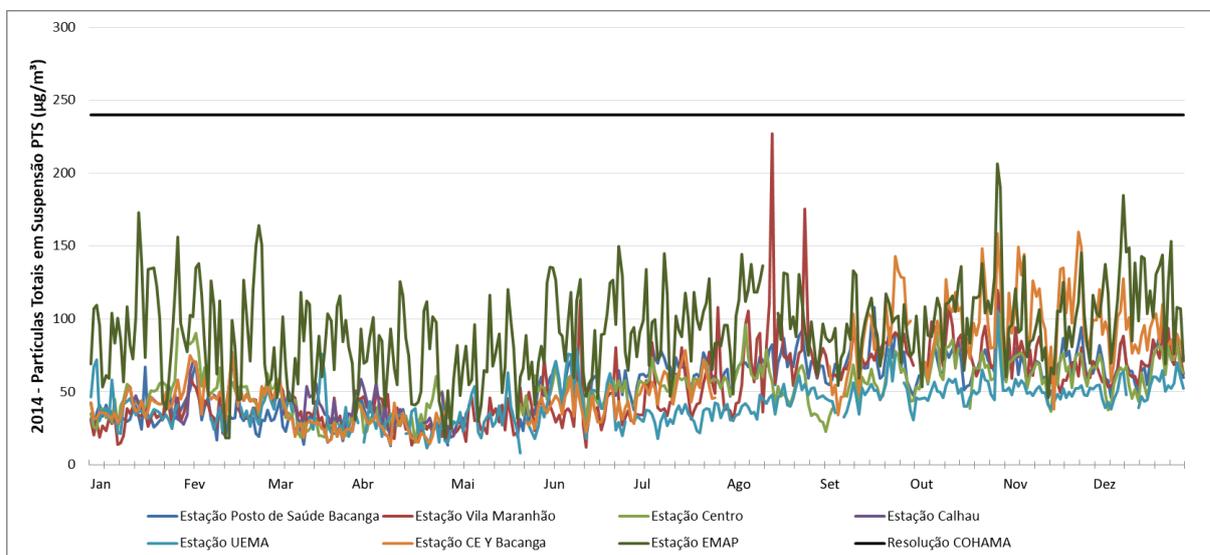
Fonte: VALE/Ecosoft – SEMA - Org.: Autor

Para os valores de diários das concentrações de Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ) no ano de 2013, nenhuma estação ultrapassou os limites da Resolução 3/90 de poluição. Porém, novamente a estação EMAP é destacada por ser a estação que apresentou os maiores valores de poluição no ano de 2013.

### 5.2.2.2 Materiais particulados (PTS – PI) - ANO 2014

Nos parâmetros de concentração de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para o ano de 2014 produziu-se o gráfico a seguir.

Gráfico 18 - Valores diários das concentrações de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2014.

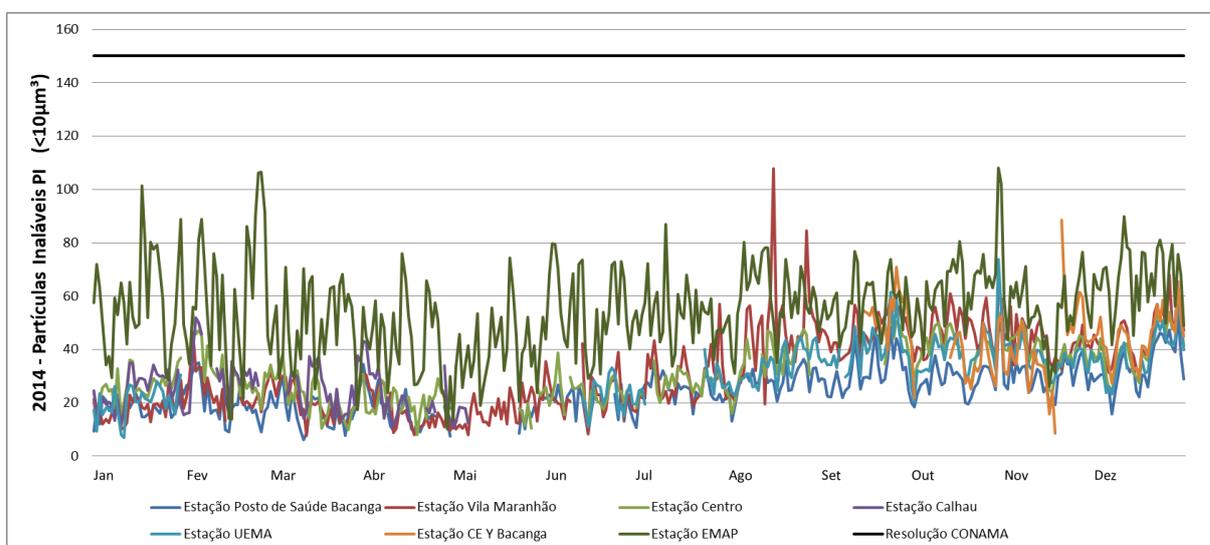


Fonte: VALE/Ecosoft – SEMA - Org.: Autor

No ano de 2014, os valores de diários das concentrações de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) indicaram que nenhuma estação ultrapassou os limites da Resolução.

No gráfico a seguir, os valores identificados para os Particulados Inaláveis no ano de 2014.

Gráfico 19 - Valores diários das concentrações de Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2014.

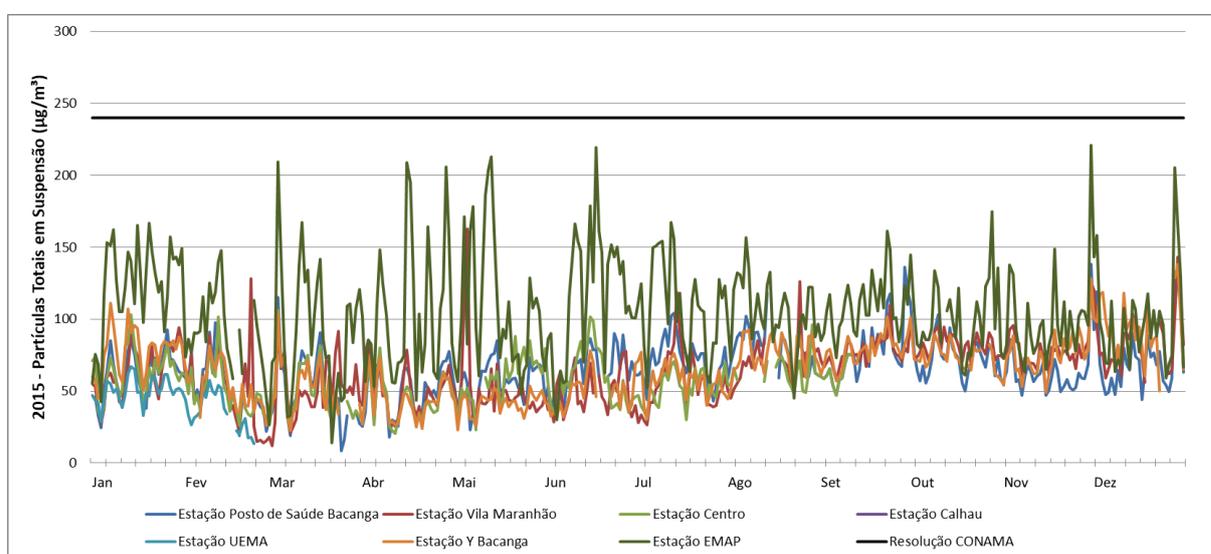


Fonte: VALE/Ecosoft – SEMA – Org. Autor

Para os valores identificados no gráfico 19 as concentrações de Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ) no ano de 2014 registram que nenhuma estação ultrapassou os limites de poluição determinados na Resolução 3/90 e que novamente a estação EMAP apresentou valores continuamente superiores de poluição em relação as outras estações. Observamos a ocorrência de picos de poluição da estação EMAP e da estação Vila Maranhão.

### 5.2.2.3 Materiais particulados (PTS – PI) - ANO 2015

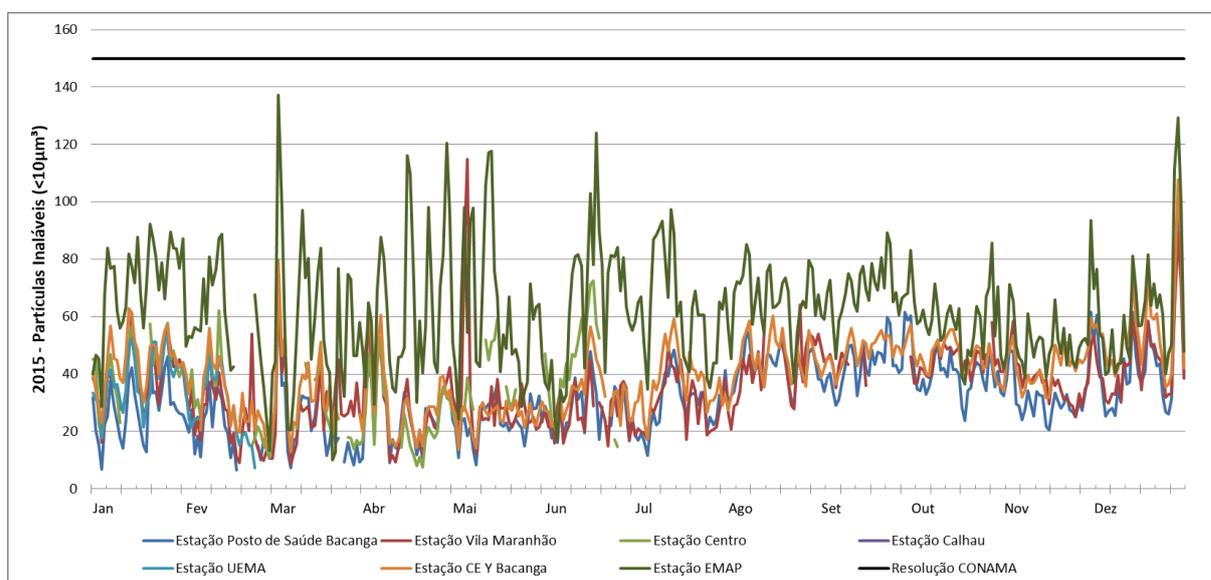
Gráfico 20 - Valores diários das concentrações de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2015.



Fonte: VALE/Ecosoft – SEMA - Org. Autor

No ano de 2015, as estações de monitoramento do ar para média diária das concentrações de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) não apresentaram valores que ultrapassassem os limites estabelecidos pela Resolução 3/90. Destaca-se que, apesar de não exceder os limites dos valores de poluição, a estação EMAP continuou a registrar vários picos de poluição próximos de atingirem os limites estabelecidos.

Gráfico 21 - Valores diários das concentrações de Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2015.

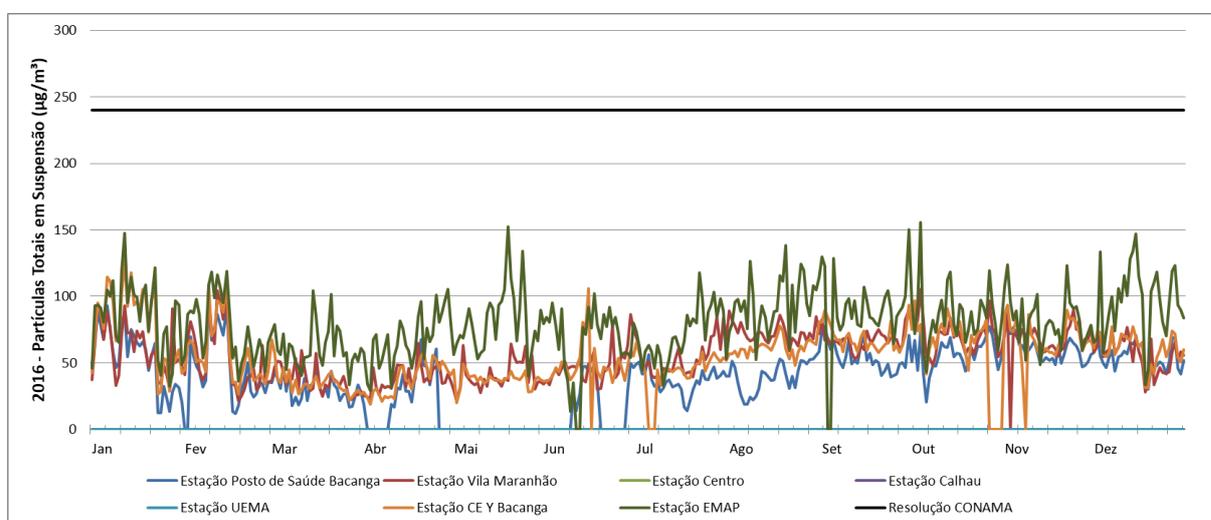


Fonte: VALE/Ecosoft – SEMA - Org. Autor

No ano de 2015 para valores diários das concentrações de Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ) constata-se que estes não excederam os limites da Resolução 3/90. Novamente o destaque é a estação EMAP, dentre todas as estações, é a que apresentou valores médios diários superiores de poluição.

#### 5.2.2.4 Materiais particulados (PTS – PI) - ANO 2016

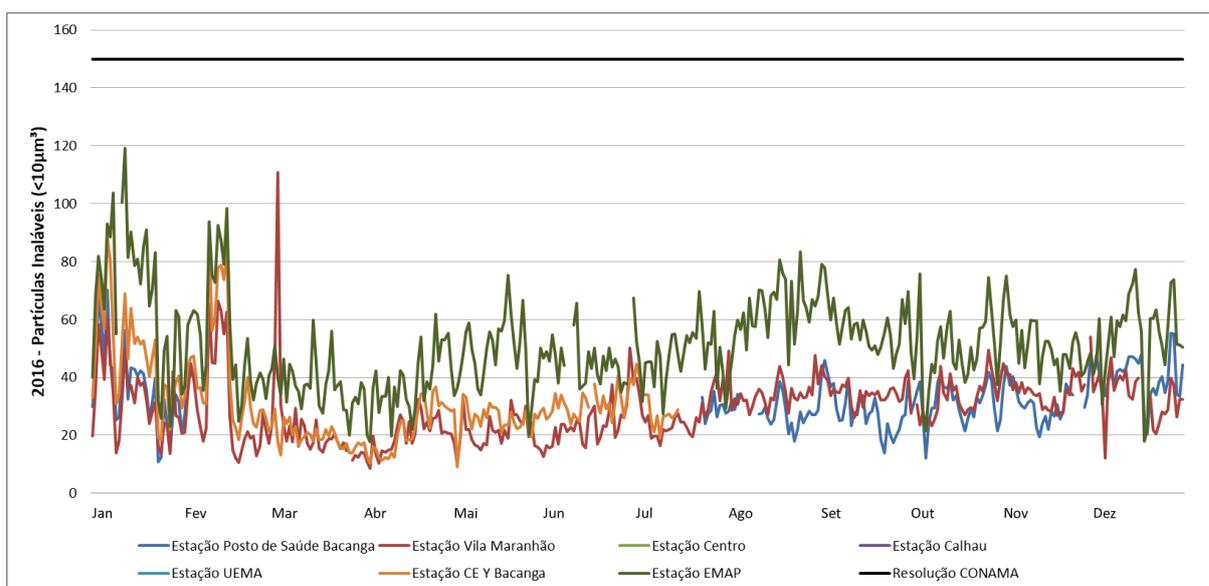
Gráfico 22 - Valores diários das concentrações de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2016.



Fonte: VALE/Ecosoft – SEMA – Org.: Autor

Para o ano de 2016, os valores de média diária das concentrações de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) não ultrapassaram, em nenhuma das estações, os limites estabelecidos na Resolução 3/90. O destaque continuou sendo a estação EMAP, que permanece apresentando valores que, mesmo não excedendo os limites de poluição, são mais elevados.

Gráfico 23 - Valores diários das concentrações de Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ) das Estações de Monitoramento do Ar em comparação com o que determina a Resolução CONAMA 3/90 para os limites estabelecidos de qualidade do ar no período de janeiro a dezembro de 2015.



Fonte: VALE/Ecosoft – SEMA – Org.: Autor

Para os valores diários das concentrações de Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ) no ano de 2016, nenhuma estação ultrapassou os limites da Resolução 3/90 de poluição.

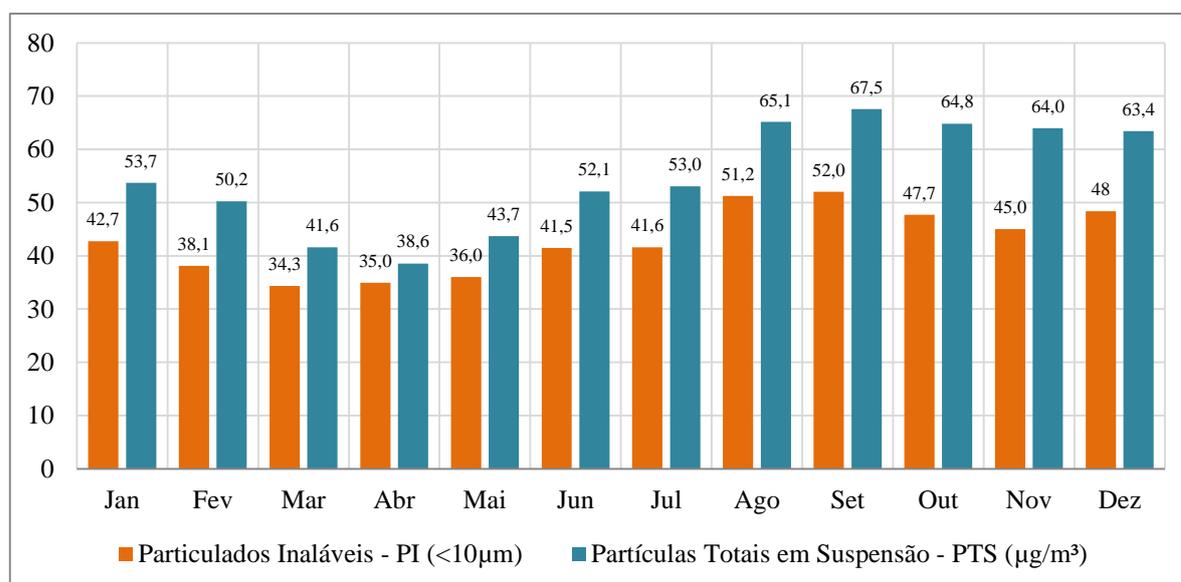
Os valores identificados de poluição do ar por PI e PTS para os parâmetros diários em São Luís mantiveram-se nos anos estudados, em todas as estações, dentro dos índices estabelecidos pela Resolução CONAMA 3/90. Porém, o destaque negativo é a estação EMAP, cujos índices ligados a movimentação de carga no Porto pela VALE e ao funcionamento da Termoelétrica da ENEVA, que se consolida após a análise dos quatro anos estudados (2013-2014-2015-2016) para os poluentes de Materiais Particulados (PTS-PI) como a estação que apresenta os maiores índices de poluição do ar dentre todas as estações instaladas em São Luís.

### 5.2.3 Análise dos parâmetros mensais de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ )

Apesar de não existir um parâmetro estabelecido pela Resolução 3/90 - CONAMA para valores limites de média mensal de poluição por Materiais Particulados (PTS-PI), produziu-se os gráficos 24 e 25 com os valores de média mensal de todas as estações a fim de identificar os níveis de variações de poluição no decorrer dos meses e durante a ocorrência sazonal do padrão climático que ocorre na região: a estação chuvosa (janeiro-junho) e a estação seca ou de estiagem (julho-dezembro).

A forma como a pluviosidade atua exerce influência nos níveis de poluição do ar em uma determinada área. Pesquisadores como Guerra e Miranda (2010) chegaram a afirmar que as chuvas fazem com que a atmosfera seja lavada carregando seus poluentes (efeitos washout e rainout). Dessa forma, conforme há um maior volume precipitado, a concentração do poluente diminui de forma efetiva. Afirmando ainda os pesquisadores, que a velocidade do vento também influencia de forma direta a concentração dos poluentes porque quanto maior essa velocidade, maior a dispersão.

Gráfico 24 - Média mensal dos valores registrados nas Estações de Monitoramento do Ar em São Luís (2013 a 2016) para os parâmetros de concentração de Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ).



Fonte: VALE/Ecosoft – SEMA – Org.: Autor

A análise da poluição atmosférica por Partículas Totais em Suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ) indicou ocorrer variações importantes entre os meses do ano. Destacamos os meses de março e abril que apresentaram os menores valores de poluição por

materiais particulados (PTS – PI) enquanto o mês de setembro indicou ser o mês com os maiores índices de poluição para materiais particulados (PTS – PI).

Observamos que é nos meses de março e abril que a Normal Climatológica (1981-2010) do INMET para São Luís indica serem os meses com os maiores volumes de chuvas no município, seguidos pelo mês de setembro que apresenta o segundo menor volume de chuvas anuais. É possível assim afirmar que em São Luís, entre os meses de julho a dezembro, na estação seca ou de estiagem, ratificando a literatura científica sobre o tema, constata-se aumento dos índices de poluição atmosférica por materiais particulados (PTS - PI) e nos meses de janeiro a junho, período chuvoso, ocorre uma diminuição dos índices da poluição por materiais particulados (PTS - PI).

### **5.3 SUBSISTEMA HIDRODINÂMICO**

O subsistema hidrodinâmico é um dos três subsistemas do clima urbano proposto Monteiro (1975) no SCU. O pesquisador destaca que esse subsistema engloba as formas de precipitação pluvio-nival e os nevoeiros, fenômenos descontínuos, mas cuja variação no tempo admite padrões normais de distribuição anual, bem como desvios extremos que levam à escassez e ao excesso. Acrescenta o pesquisador que tais manifestações variam, consideravelmente, na face da terra, prendendo-se aos mecanismos específicos das circulações atmosféricas regionais nas quais se insere a cidade. Complementa ainda, que as estratégias de defesa dos possíveis impactos hidrometeorológicos envolve, sobretudo, a necessidade de compreensão de sua frequência e ocorrência de excepcionalidades. Deste modo, a abordagem desenvolvida na pesquisa procurou destacar o conhecimento pluvial em sua dinâmica para assim promover a caracterização de sua atuação dentro do espaço geográfico da Ilha do Maranhão, e especificamente na cidade de São Luís.

No estudo do subsistema hídrico da Ilha do Maranhão e da cidade de São Luís analisam-se a frequência, a intensidade, a espacialidade e a temporalidade dos impactos pluviais. Pesquisadores como (GONÇALVES, 1992), observam que a pluviosidade hídrica pode causar distúrbios no ordenamento das cidades, podendo-lhes comprometer sua integridade física e social. Episódios de chuvas concentradas são eventos cada vez mais presentes no cotidiano das cidades e são geradoras de enchentes, de deslizamentos de terras, de destruição de obras públicas, de transmissão de doenças pelas águas por doenças de veiculação

hídrica. O conhecimento de como se manifesta a frequência da pluviosidade, sua variabilidade e distribuição espacial permitem a instrumentalização de possibilidades de ações de planejamento pelos atores públicos, que viabilizem a resiliência dos seus impactos.

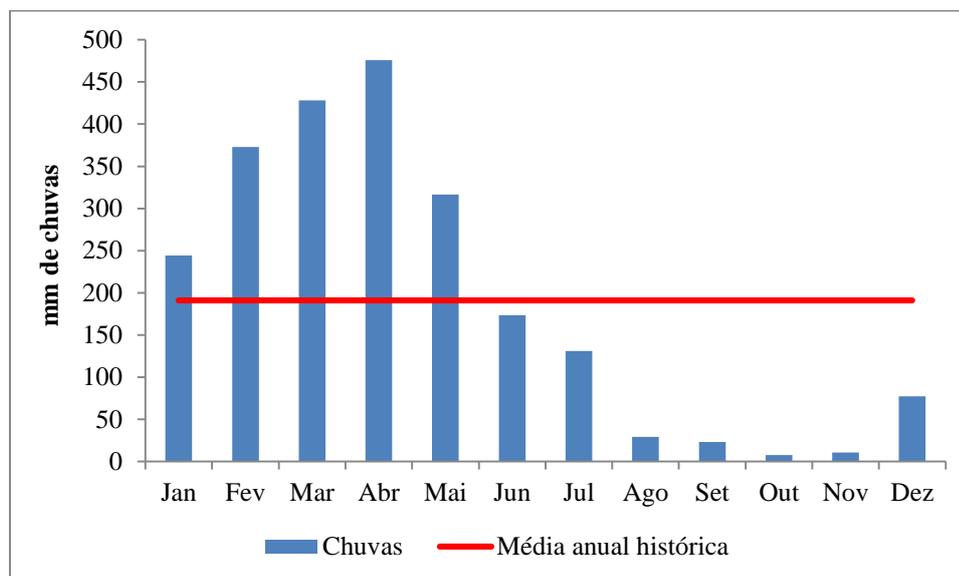
É também importante destacar que os problemas causados pelas chuvas nas cidades não são apenas de responsabilidade da natureza. A natureza é apenas canalizadora das repercussões, o que viabiliza e promove os impactos das chuvas é a forma como a cidade está organizada e estruturada. Gonçalves (1992) destaca que as enchentes, inundações, deslizamentos e desmoronamentos são alavancados, principalmente, por questões político-estruturais históricos e pela falta de planejamento adequado à realidade climática brasileira, não sendo, portanto, unicamente provocados pelas chuvas.

### **5.3.1 Sistemas atmosféricos geradores de chuvas em São Luís**

Os principais sistemas atmosféricos presentes e atuantes no município de São Luís são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), responsável pela determinação anual do período chuvoso e de estiagem; a atuação dos Ventos Alísios responsáveis pelo transporte de ventos úmidos e a ocorrência de chuvas isoladas por todo o ano. Em nível secundário de atuação, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), (FERREIRA et al, 2009), gerando períodos de estabilidade atmosférica no centro do VCANs e chuvas intensas nas suas bordas, seguidas da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (DEGOLA, 2013), e dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) (COUTINHO e FISCH, 2007) e das Linhas de Instabilidade (LI) (COHEN et al, 1996), com a geração de períodos curtos de chuvas por toda a região. Também se destaca, em uma escala local de influência, a brisa marítima com ventos úmidos diários e chuvas ocasionais por sistemas convectivos. (VAREJÃO-SILVA, 2006)

O regime de chuvas na cidade de São Luís é essencialmente tropical, do tipo equatorial, com dois períodos bem demarcados – um chuvoso (janeiro a junho) e outro de estiagem (julho a dezembro). Possui uma média total anual histórica de 190,9 mm de chuvas. (Gráfico 25).

Gráfico 25 - Normal Climatológica (1961-1990) da precipitação acumulada mensal e anual (mm) no município de São Luís.



Fonte: INMET; Org. Autor

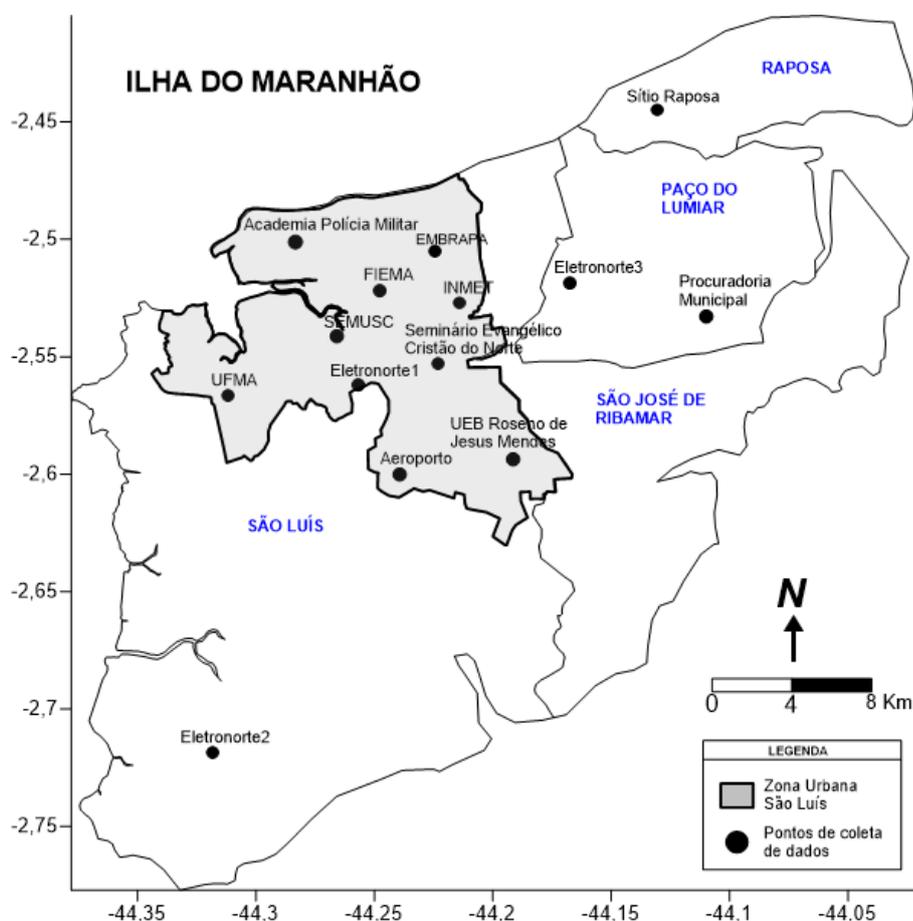
### 5.3.2 Materiais e método

Os dados de pluviosidade foram adquiridos junto a 3 (três) entidades públicas que possuem estações meteorológicas e postos pluviométricos dentro da Ilha do Maranhão:

- 1) CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Nacionais) que possui um total de 12 postos pluviométricos automatizados dentro da Ilha do Maranhão e, destes, 8 (oito) postos de coleta de dados estão localizadas dentro da área urbana. O CEMADEN iniciou suas atividades de coleta de dados em dezembro de 2015, porém, somente em janeiro de 2016 é que todos os postos estavam em pleno funcionamento, coletando dados sincronizados no mesmo horário;
- 2) EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias) com 1 (uma) estação meteorológica automática, iniciou seu funcionamento em janeiro de 2015 e está localizada na sede da EMBRAPA Cocais, no bairro Turu;
- 3) INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), com 1 (uma) estação meteorológica (automática e convencional), localizada dentro da zona urbana de São Luís, instalada na APA do Itapiracó no Bairro Turu, é a mais antiga estação meteorológica em funcionamento no Maranhão, coletando dados atmosféricos desde 1924.

A seguir apresentamos o mapa 10 e a tabela 14 nos quais são identificados cartograficamente os postos e as estações meteorológicas dentro da Ilha do Maranhão e na zona urbana de São Luís e sua localização com as coordenadas geográficas.

Mapa 10 - Localização das estações meteorológicas e postos pluviométricos



Fonte: Autor

As localizações das coordenadas geográficas das estações meteorológicas e dos postos pluviométricos estão dispostas na tabela a seguir.

Tabela 14 - Localização das coordenadas geográficas das estações e postos pluviométricas na Ilha do Maranhão.

	<b>ESTAÇÕES/POSTOS</b>	<b>Longitude (E)</b>	<b>Latitude (S)</b>	<b>Altitude</b>
1	INMET	-44,21355	-2,52679	55m
2	EMBRAPA	-44,22760	-2,50609	48m
3	FIEMA	-44,24712	-2,52105	21m
4	Academia de Polícia Militar	-44,28158	-2,49910	17m
5	UFMA	-44,31180	-2,56510	35m

6	AEROPORTO	-44,23703	-2,59815	60m
7	Seminário Evangélico Cristão do Norte	-44,22408	-2,55189	44m
8	SEMUSC	-44,27253	-2,53845	11m
9	UEB Roseno de Jesus	-44,19023	-2,59290	54m
10	ELETRONORTE 1	-44,25562	-2,56125	34m
11	ELETRONORTE 2	-44,31898	-2,71773	39m
12	ELETRONORTE 3 – Paço do Lumiar	-44,17085	-2,51739	40m
13	Procuradoria Municipal - Paço do Lumiar	-44,10809	-2,53196	17m
14	Sítio Raposa – Raposa	-44,13002	-2,44462	36m

Fonte: Autor

Coletaram-se dados pluviométricos de chuvas horárias de 01 de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2017, perfazendo um total de 24 meses de coleta de dados em 14 estações e postos. Os dados originais de algumas estações e postos apresentaram algumas falhas em valores horários, optou-se nestes casos, em realizar o preenchimento diário através da técnica estatística de *Regressão Linear Múltipla*, identificada pelos pesquisadores Oliveira, et al (2010) e Pinto, et al (2016) como uma das mais adequadas para o preenchimento de falhas pluviométricas.

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_px_p + \varepsilon$$

onde:

(Y) Variável dependente a ser prevista;

( $x_i$ ) Variáveis individuais;

( $\beta_0$ ) Constante;

( $\beta_i$ ) Coeficientes parciais de regressão;

( $\varepsilon$ ) erro ou perturbações.

Os cálculos de preenchimento foram fundamentados na concepção de que as informações pluviométricas da estação ausente são correlacionadas com as correspondentes observações das estações e/ou postos vizinhos.

Também com o objetivo de identificar a proporcionalidade das medidas da dispersão dentro da Zona Urbana de São Luís utilizou-se do tratamento estatístico *Desvio Padrão*. O valor encontrado possibilitou identificar em qual estação climática sazonal ocorreram desvios pluviométricos de chuvas superiores e inferiores aos valores médios:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

onde:

( $\sigma$ ) Desvio padrão

( $x_i$ ) Valor individual

( $\bar{x}$ ) Média dos valores

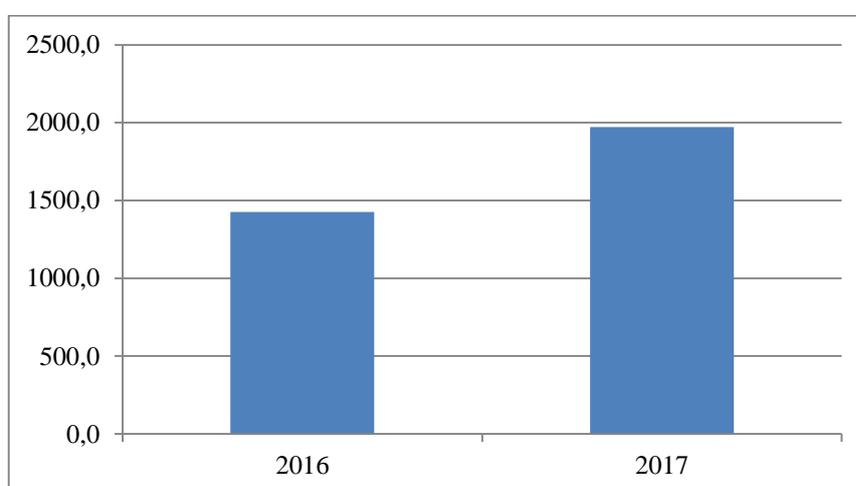
(n) Número de valores

A partir dos dados foi possível produzir mapas, gráficos e tabelas que auxiliaram na análise da atuação e desempenho hidrometeorológico na Ilha do Maranhão e na cidade de São Luís. Para o processamento dos dados espaciais e temporais da precipitação na forma de mapas foi utilizado o Software Golden Surfer, versão 13 com aplicação do método de interpolação de dados krigagem para criar as isolinhas. Outro software utilizado para a geração dos gráficos, tabelas e cálculos estatísticos foi o programa Excel, versão 2013, da Microsoft Corporation.

### 5.3.3 Volume pluviométrico anual total na Ilha do Maranhão e na Zona Urbana de São Luís

Com os dados pluviométricos de 2016 e 2017 foi possível, inicialmente, identificar que ocorreu uma variabilidade considerável entre os anos estudados e qual a proporcionalidade desta variabilidade anual dentro da Ilha do Maranhão e da Zona Urbana de São Luís. (Gráfico 26).

Gráfico 26 – Média pluviométrica anual de todas as estações e postos para os anos de 2016 e 2017



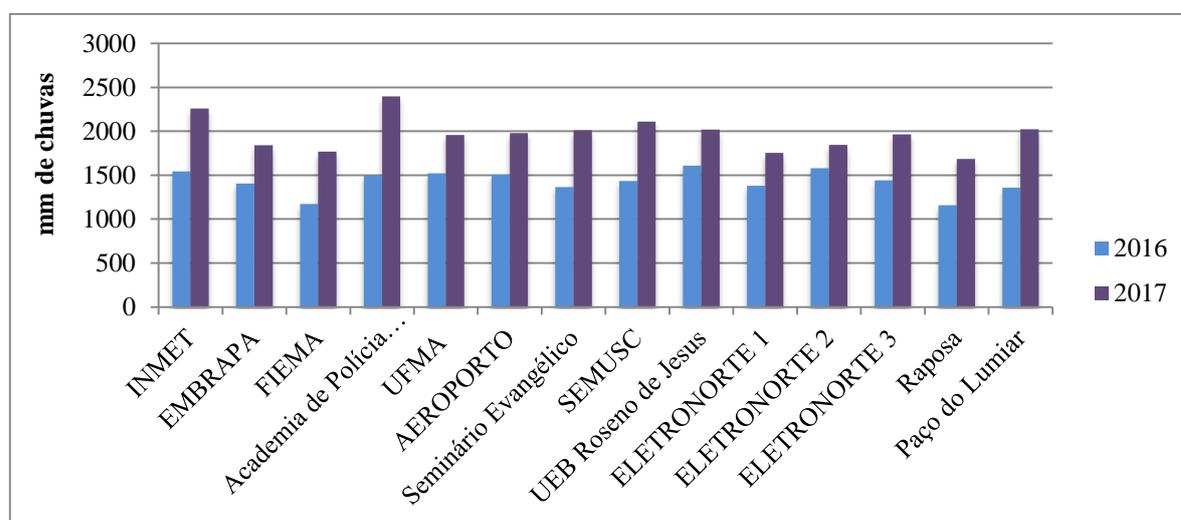
Fonte: CEMADEN, EMBRAPA e INMET; Org.: Autor

Em 2016 a média pluviométrica de todas as estações e postos registraram 1.426,6 mm de chuvas e no ano de 2017, 1.972,2 mm de chuvas. Os registros de chuvas nos dois anos estudados identificaram uma variação de 38,2% de chuvas totais a mais em 2017 do que em 2016. Estas variações, apesar do pouco período de análise de dados, indicam que as chuvas na cidade de São Luís sofrem importante variabilidade anual.

Em estudos sobre a variabilidade pluviométrica na Ilha do Maranhão em períodos de ocorrência mais intensa do fenômeno El Niño, Pinheiro (2017) constatou uma variabilidade de até -75,7% em média de chuvas anuais na Ilha do Maranhão em comparação com a sua Normal Climatológica.

Outra representação gerada pelos dados registrados pelos pluviômetros dentro da Ilha do Maranhão foi o total de chuvas que cada posto ou estação registraram entre os anos de 2016 e 2017. (Gráfico 27)

Gráfico 27 - Total pluviométrico anual 2016 e 2017 registrado em todas as estações e postos dentro da Ilha do Maranhão



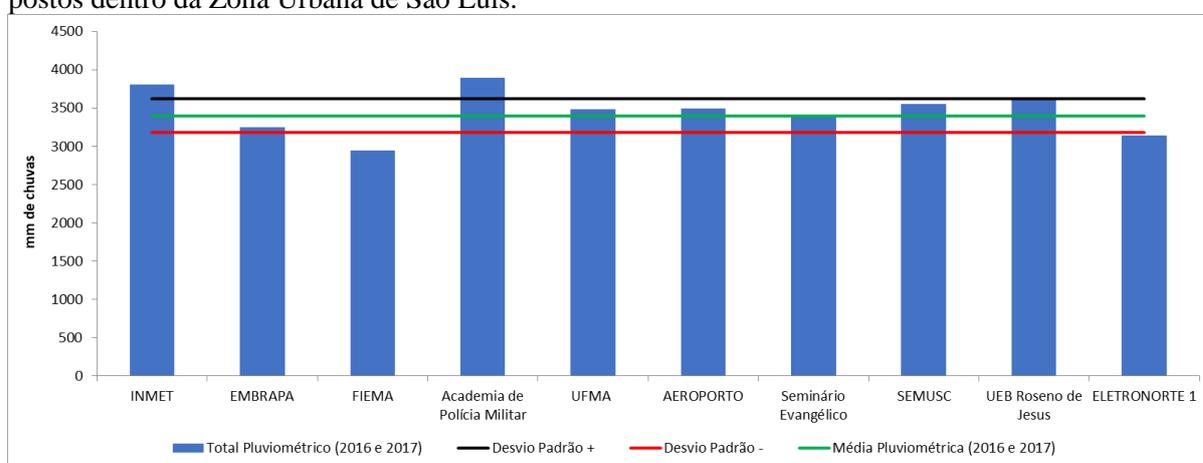
Fonte: CEMADEN, EMBRAPA E INMET; Org.:Autor

Neste gráfico foi possível constatar que o volume pluviométrico no ano de 2017 registrou pluviosidade sempre superior ao ano de 2016 em todas as estações e postos, e identificar inicialmente em quais estações e postos ocorrem os maiores e menores volumes pluviométricos. Em toda a Ilha do Maranhão, a estação Raposa, no município de Raposa, foi a que registrou os menores valores pluviométricos tanto no ano de 2016 quanto no ano de 2017, com uma diferença de 39,16% a menos de chuvas em relação a estação UEB Roseno de Jesus, que registrou os maiores volumes pluviométricos no ano de 2016. No ano de 2017 a diferença

foi de 42,46% a menos de chuvas na estação Raposa em comparação com a estação Academia de Polícia Militar, no bairro Calhau no município de São Luís, que registrou os maiores volumes pluviométricos no ano de 2017.

O valor identificado de desvio padrão da pluviosidade entre as estações e postos dentro da Zona Urbana de São Luís foi de 223,0 mm de chuva. Com o resultado produziu-se o gráfico 28 com os valores que indicassem visualmente em quais estações ocorreram variações superiores e inferiores ao desvio padrão nos dois anos de coleta de dados.

Gráfico 28 - Desvio Padrão Médio dos totais pluviométricos dos anos de 2016 e 2017 das estações e postos dentro da Zona Urbana de São Luís.



Fonte: CEMADEN, EMBRAPA e INMET; Org.:Autor

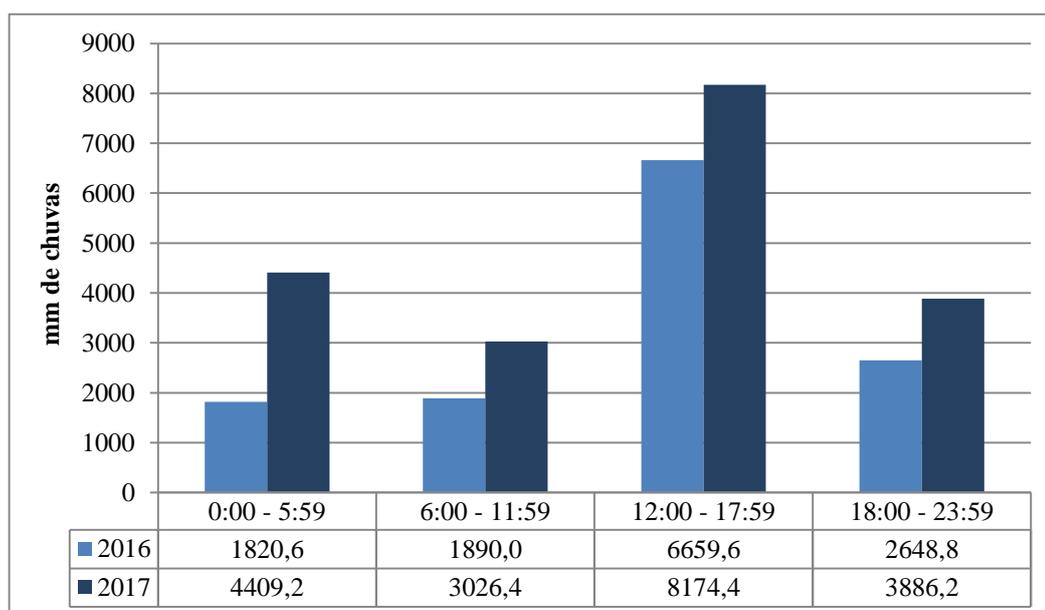
Identificamos que o posto pluviométrico na Academia de Polícia Militar, no bairro Calhau e a estação meteorológica INMET, no bairro Turu, apresentaram valores acima do desvio padrão médio, indicando que nestas localidades o total do volume pluviométrico registrado nos anos de 2016 e 2017 foram os mais chuvosos dentro da Zona Urbana de São Luís. Enquanto as estações FIEMA no bairro Cohama, e a estação ELETRONORTE1 no bairro Sacavém apresentaram os menores valores registrados de pluviosidade total dos anos de 2016 e 2017 dentro da Zona Urbana de São Luís.

Apesar de apenas dois anos de dados, a existência de estações e postos com valores de pluviosidade acima e abaixo dos indicativos de desvio padrão indicam a existência de uma importante variabilidade dentro do espaço urbano de São Luís.

#### 5.2.4 Caracterização da pluviosidade horária na Zona Urbana de São Luís

A frequência de pluviosidade horária foi identificada através do gráfico 29. Nele optou-se por organizar a regularidade das chuvas por faixas de intervalos horários de 6 horas, subdividindo assim as vinte quatro horas diárias em quatro faixas, o primeiro horário iniciando às 0h até às 5h59min, o segundo horário das 6h até às 11h59min, o terceiro das 12h às 17h59min e o quarto e última faixa das 18h às 23h59min. A escolha deste recorte horário, em quatro faixas horárias, teve o propósito conceitual de identificar a ocorrência das chuvas nos períodos da manhã, tarde, noite e madrugada e assim proporcionar uma organização da representação gráfica que proporcionasse maior uniformização da distribuição das chuvas nos intervalos horários mais representativos das atividades humanas. Também importante observar que não foram utilizados valores médios e sim os totais de chuvas registrados nos intervalos horários.

Gráfico 29 - Distribuição do volume pluviométrico a cada 6 horas nos anos de 2016 e 2017 nas estações e postos dentro da Zona Urbana de São Luís.

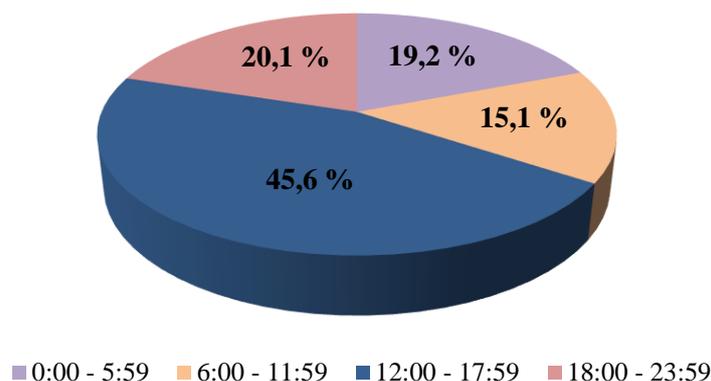


Fonte: CEMADEN, EMBRAPA E INMET; Org.: Autor

O gráfico identifica que, tanto no ano de 2016 quanto no ano de 2017, o horário de maior frequência das chuvas na cidade de São Luís ocorre na faixa horária de 12h até às 17h59min e a de menor frequência das chuvas na cidade no ano de 2016 ocorreu na faixa horária das 0h até às 5h59min. No ano de 2017 a menor frequência de chuvas ocorreu na faixa horária das 6h até às 11h59min.

Para uma melhor compreensão da distribuição horária das chuvas na cidade de São Luís, produziu-se o gráfico 30, com a porcentagem de pluviosidade registrada nos dois anos de coleta de dados em sua distribuição por faixas horárias.

Gráfico 30 - Porcentagem da distribuição pluviométrica dos anos de 2016 e 2017 a cada 6 horas nas estações dentro da Zona Urbana de São Luís



Fonte: CEMADEN, EMBRAPA e INMET; Org.: Autor

O gráfico 30 identifica que as maiores porcentagens de frequência das chuvas na cidade de São Luís ocorrem na faixa horária das 12h até às 17h59min, com uma porcentagem de 45,6% das chuvas, enquanto as outras faixas horárias possuem distribuição equivalente de chuvas.

Os valores de 45,6% das chuvas que ocorrerem no horário das 12h até às 17h59min são significativos, pois representam quase a metade das chuvas que caem sobre a cidade. Avaliamos como hipótese para os valores encontrados que a influência do maior calor latente da cidade, neste horário, conjugado com a brisa marítima diária associada aos Ventos Alísios regionais, ventos estes saturados de umidade, promovem assim significativa quantidade de chuvas nesta faixa horária.

Para a caracterização da intensidade horária da pluviosidade dentro da Zona Urbana de São Luís, utilizamos os parâmetros oficiais da Defesa Civil (2009) que classificam a intensidade das chuvas horárias da seguinte forma:

Quadro 3 - Classificação do volume de chuvas horária

<b>Volume de Chuvas</b>	<b>Classificação</b>
de 1,1 mm/h a 5 mm/h	Chuva fraca
de 5,1 a 25 mm/h	Chuva moderada
de 25,1 a 50 mm/h	Chuva forte

acima de 50 mm	Chuva muito forte
----------------	-------------------

Fonte: Defesa Civil

Com os registros horários da intensidade dos volumes pluviométricos ocorridos no intervalo de uma hora, gerados pelas estações e postos dentro da Zona Urbana de São Luís, produzimos a tabela 15 para o ano de 2016 e a tabela 16 para o ano de 2017, nas quais são identificados os maiores volumes pluviométricos ocorridos dentro de uma hora em cada mês dos anos estudados.

Tabela 15 - Maiores volumes horários de intensidade pluviométrica registrada pelas estações e postos dentro da Zona Urbana de São Luís no ano de 2016.

<b>Zona Urbana de São Luís - 2016</b>				
<b>Mês</b>	<b>Estação</b>	<b>Dia</b>	<b>Horário da ocorrência</b>	<b>Volume total registrado</b>
<b>Janeiro</b>	INMET	01/01/2016	06h00 – 06h59	23,4 mm/h
<b>Fevereiro</b>	UEB Roseno de Jesus	19/02/2016	15h00 – 15h59	19,2 mm/h
<b>Março</b>	INMET	04/03/2016	16h00 – 16h59	33,0 mm/h
<b>Abril</b>	INMET	02/04/2016	15h00 – 15h59	26,4 mm/h
<b>Mai</b>	INMET	04/05/2016	15h00 – 15h59	32,8 mm/h
<b>Junho</b>	UFMA/UEB Roseno de Jesus	16/06/2016	16h00 – 15h00	20,8 mm/h
<b>Julho</b>	Eletronorte1	01/07/2016	15h00 – 15h59	15,2 mm/h
<b>Agosto</b>	FIEMA	23/08/2016	11h00 – 11h59	9,8 mm/h
<b>Setembro</b>	UFMA	13/09/2016	11h00 – 11h59	1,4 mm/h
<b>Outubro</b>	AEROPORTO	21/10/2016	14h00 - 14h59	9,8 mm/h
<b>Novembro</b>	FIEMA	11/11/2016	09h00 – 09h59	0,2 mm/h
<b>Dezembro</b>	UEB Roseno de Jesus	18/12/2016	17h00 – 17h59	10,2 mm/h

Tabela 16 - Maiores volumes horários de intensidade pluviométrica registrada pelas estações e postos dentro da Zona Urbana de São Luís no ano de 2017.

<b>Zona Urbana de São Luís - 2017</b>				
<b>Mês</b>	<b>Estação</b>	<b>Dia</b>	<b>Horário da ocorrência</b>	<b>Volume total registrado</b>
<b>Janeiro</b>	INMET	19/01/2017	00h00 – 00h59	69,8 mm/h
<b>Fevereiro</b>	INMET	17/02/2017	09h00 – 09h59	26,4 mm/h
<b>Março</b>	INMET	17/03/2017	01h00 – 01h59	22,8 mm/h
<b>Abril</b>	INMET	04/04/2017	23h00 – 23h59	45,2 mm/h

<b>Maio</b>	INMET	30/05/2017	19h00 – 19h59	28,8 mm/h
<b>Junho</b>	INMET	18/06/2017	18h00 – 18h59	40,4 mm/h
<b>Julho</b>	INMET	02/07/2017	20h00 – 20h59	19,0 mm/h
<b>Agosto</b>	SEMUSC	06/08/2017	14h00 – 14h59	8,2 mm/h
<b>Setembro</b>	Seminário Evangélico	23/09/2017	09h00 – 09h59	0,6 mm/h
<b>Outubro</b>	INMET	28/10/2017	16h00 – 16h59	3,6 mm/h
<b>Novembro</b>	INMET	01/11/2017	03h00 – 03h59	0,8 mm/h
<b>Dezembro</b>	Seminário Evangélico	14/12/2017	04h00 – 04h59	17,4 mm/h

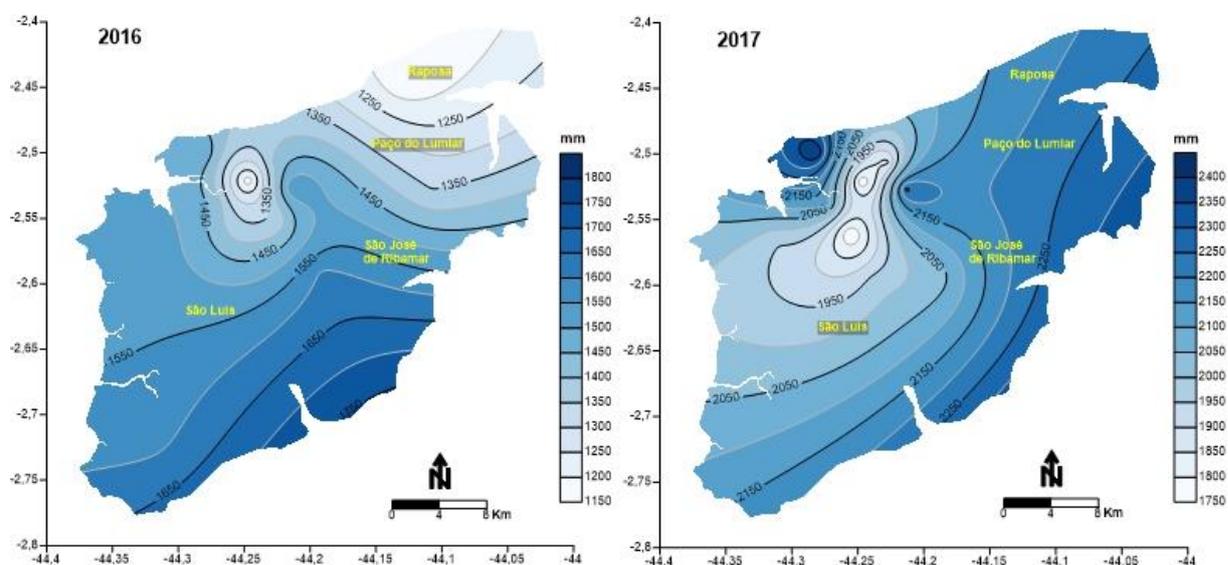
Com as tabelas, identificamos, nos dois anos estudados, o maior volume de chuvas registrou 69,8mm ocorrido no horário entre 0h e 0h59min no dia 19/01/2017. Destaca-se que não foram registrados, por nenhum outro posto ou estação valores pluviométricos acima de 50mm de chuvas neste dia.

A ocorrência de chuvas muito fortes é sempre muito preocupante, porém a sua ocorrência se deu na estação INMET que é uma estação que apesar de estar dentro da Zona Urbana de São Luís, localiza-se dentro de uma Área de Proteção Ambiental, a APA do Itapiracó, pouco habitada com área total de 322 hectares. Destaca-se também nas tabelas produzidas que, nos vinte e quatro meses estudados, a estação INMET apresentou os maiores registros de intensidade pluviométrica horária, em 13 (treze) meses.

### **5.3.4 Distribuição pluviométrica na Ilha do Maranhão**

Para a caracterização da distribuição espacial das chuvas na cidade de São Luís optamos por também identificar a distribuição pluviométrica de toda a Ilha do Maranhão (Mapa 11). Desta forma, foi possível obter melhor compreensão de como as chuvas se distribuem entre todos os municípios da ilha e comparar, também, como ocorre a distribuição das chuvas por áreas de maior urbanização, em processo de urbanização e espaços naturais pouco alterados ou protegidos. Os valores pluviométricos representados foram os totais de chuvas registrados nas estações e postos nos anos de 2016 e 2017.

Mapa 11 - Distribuição pluviométrica total ocorrida nos anos de 2016 e 2017 na Ilha do Maranhão

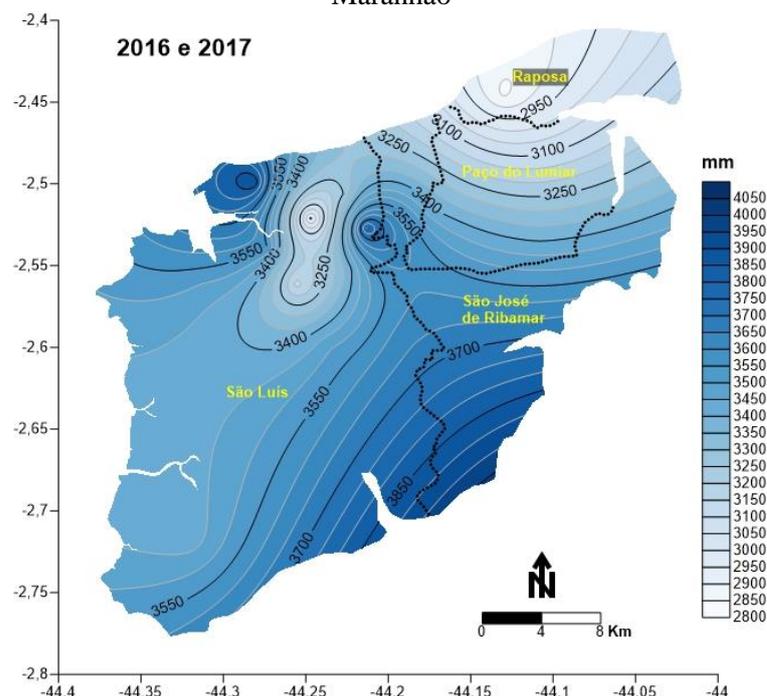


Fonte: CEMADEN, EMBRAPA e INMET; Org.: Autor

Os mapas de distribuição espacial pluviométrica na Ilha do Maranhão (2016 e 2017) indicaram distribuição de chuvas diferenciadas entre os dois anos estudados. Enquanto no ano de 2016 os menores volumes pluviométricos ocorreram no município de Raposa e na área urbana de São Luís, no ano de 2017 os menores volumes pluviométricos registrados ocorreram apenas na área urbana de São Luís. Já para os maiores volumes de chuvas na ilha, os mapas de distribuição indicaram que ocorreu no ano de 2016 o maior predomínio de chuvas, à sudeste da ilha, na divisa dos municípios de São Luís e São José de Ribamar. Enquanto que no ano de 2017, duas áreas se destacaram como as áreas com os maiores volumes de chuvas, um a noroeste da ilha, na área litorânea da cidade de São Luís e a outra área, repetindo o ocorrido no ano anterior, a sudeste da ilha, na divisa dos municípios de São Luís e São José de Ribamar.

No mapa 12 é representada a totalidade acumulada das chuvas (2016-2017), registradas pelos 14 (catorze) postos pluviométricos, localizadas dentro da Ilha do Maranhão.

Mapa 12 - Distribuição da totalidade pluviométrica ocorrida nos anos de 2016 e 2017 na Ilha do Maranhão



Fonte: CEMADEN, EMBRAPA e INMET; Org.: Autor

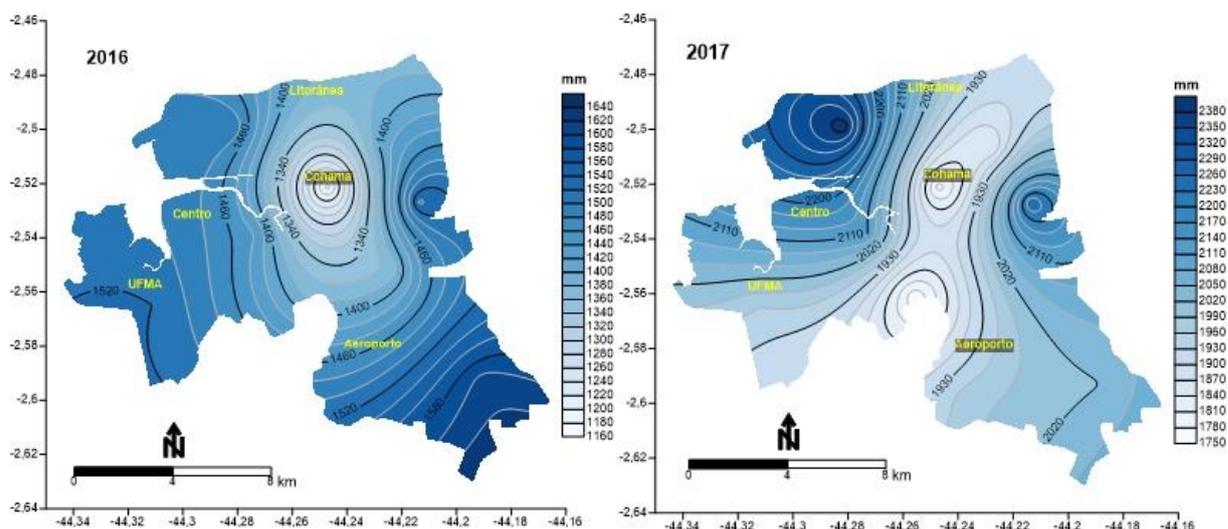
O mapa de distribuição pluviométrica dos dois anos de coleta de dados destaca que os menores volumes pluviométricos ocorrem a nordeste da ilha por todo o município de Raposa. Outro destaque observado ocorre na área compreendida da Zona Urbana de São Luís que apresenta também volumes pluviométricos menores do que seu entorno.

Quanto aos maiores valores pluviométricos, ficou demarcado como sendo a sul/sudeste da Ilha do Maranhão na divisa entre os municípios de São Luís e São José de Ribamar, como também a noroeste da ilha, dentro da Zona Urbana de São Luís no bairro Calhau. A diferença pluviométrica entre o local de maior ocorrência pluviométrica e a de menor pluviometria foi de 37,1%, em 24 meses de dados coletados dentro da Ilha do Maranhão.

### 5.3.5 Distribuição pluviométrica na Zona Urbana de São Luís

Para uma análise mais detalhada de como se distribuem espacialmente as chuvas dentro da Zona Urbana de São Luís, produzimos o mapa 13, nos qual representamos a distribuição pluviométrica urbana nos anos de 2016 e 2017.

Mapa 13 - Distribuição pluviométrica total ocorrida nos anos de 2016 e 2017 na Zona Urbana de São Luís.



Fonte: CEMADEN, EMBRAPA e INMET; Org.: Autor

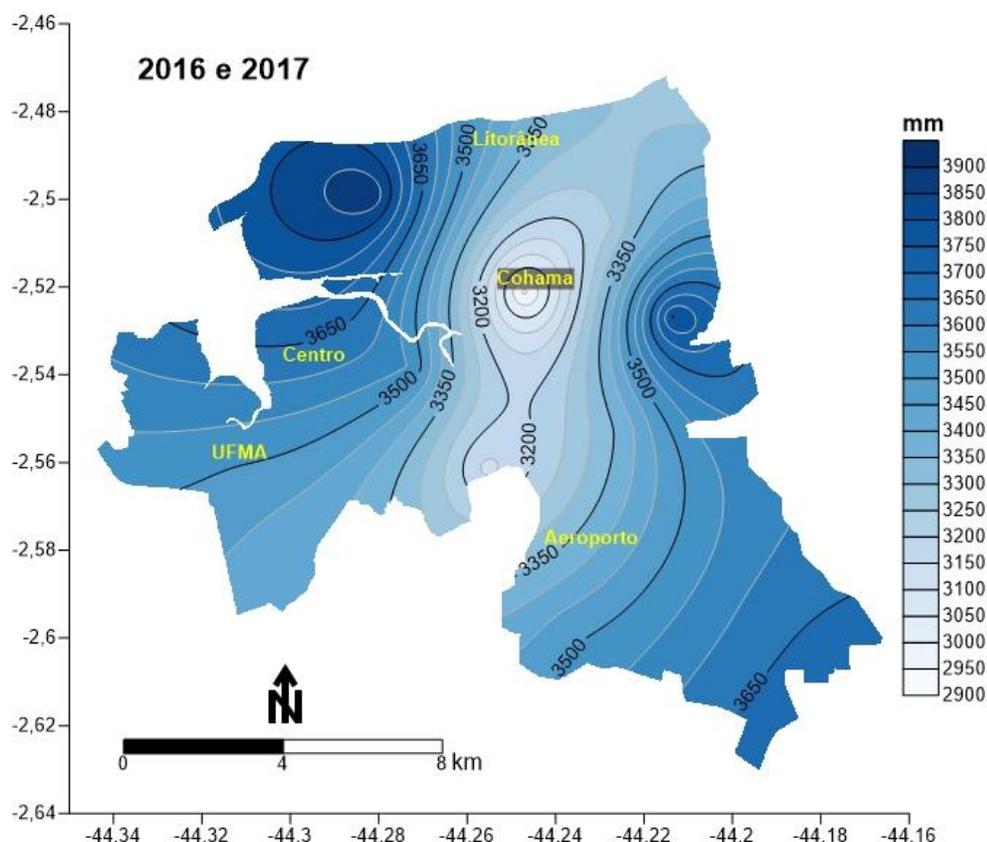
A pluviosidade dentro da Zona Urbana de São Luís apresentou variabilidade significativa tanto no ano de 2016 quanto de 2017. No ano de 2016, o que se destacou foi o menor volume registrado na estação FIEMA<sup>2</sup>, localizada no bairro Cohama, com 1.171,8mm de chuvas anuais, em comparação com a estação UEB Roseno de Jesus, localizada no bairro Vila Janaina, que registrou o maior volume, no ano de 2016, com 1.609,8mm de chuvas, representando, portanto, uma diferença de 37,4%.

No ano de 2017, o destaque foi o maior volume registrado na estação Academia de Polícia, no bairro Calhau, com 2.397,8mm de chuvas anuais. Este valor representou o maior volume de chuvas registrado em todas as estações e postos tanto dentro da Zona Urbana de São Luís quanto da Ilha do Maranhão. A estação que registrou os menores volumes pluviométricos no ano de 2017 dentro da Zona Urbana foi a estação Eletronorte1 com 1.754,3mm de chuvas. Uma diferença de 36,7% do total de chuvas.

Para que também fosse identificada a configuração da distribuição pluviométrica, dentro da Zona Urbana de São Luís, produzimos o mapa 14, no qual está representado cartograficamente o total pluviométrico dos 24 meses estudados.

<sup>2</sup> A estação FIEMA e a estação UEB Roseno de Jesus pertencem a CEMADEN, são equipamentos novos e tiveram o seu funcionamento iniciado em dezembro de 2015.

Mapa 14 - Distribuição da totalidade pluviométrica ocorrida nos anos de 2016 e 2017 na Zona Urbana de São Luís.



Fonte: CEMADEN, EMBRAPA e INMET; Org.: Autor

Identificamos que a variabilidade pluviométrica apresentou-se significativa dentro da Zona Urbana de São Luís. A estação Academia de Polícia, no bairro Calhau, registrou o maior volume com um total, nos dois anos registrados, de 3.893,8mm de chuvas, enquanto a estação FIEMA, no bairro Cohama, registrou um total de 2.938,7mm de chuvas. Valores que representam uma diferença de 32,5% entre menor e maior volume de chuvas.

Santos et al, (2017) em estudos sobre a distribuição das chuvas na mesorregião metropolitana de Belém-PA, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, também identificou diferenciação significativa da distribuição das chuvas em áreas urbanizadas de cidades localizadas em latitudes baixas.

Revelou-se também com os mapas, a existência de uma faixa de norte a sul, dentro da Zona Urbana de São Luís que apresenta volumes pluviométricos menores que seu entorno. Esta faixa representa bairros com função essencialmente residencial, como os bairros Cohajap, Turu, Cohama, Maranhão Novo, Ivar Saldanha e Sacavém. Os bairros que apresentaram os maiores volumes pluviométricos também possuem função urbana de

característica residencial, porém com a particularidade de serem bairros de moradores com maior poder aquisitivo, como os bairros do Calhau, Renascença, Jaracaty, São Francisco, Ponta D'Areia e São Marcos.

A análise dos impactos hidrometeorológicos na cidade de São Luís a partir de sua frequência, intensidade e espacialidade indicaram que, em São Luís, a pluviosidade possui dinâmica particular e o conhecimento de como as chuvas se apresentam representa importante instrumento de ação para os gestores públicos de gestão do território no desenvolvimento de ações mitigadoras. Foi significativo identificar que as chuvas ocorrem em maior frequência entre o horário das 12h às 17h59min e estas representam 45,6% do total diário, como também a indicação da ocorrência de chuvas excepcionais muito fortes, em apenas 24 meses de registro, que podem atingir até 69,8 mm em apenas uma hora, ocorrido entre 0h e 0h59min no dia 19/01/2017. Outra constatação foi de que o município de Raposa é o local em que ocorrem os menores valores de volumes pluviométricos em toda a Ilha do Maranhão. Assim como se evidenciou, que a distribuição das chuvas dentro da Zona Urbana de São Luís é maior nos bairros litorâneos da cidade enquanto que os bairros localizados na faixa central, no eixo norte-sul da cidade, apresentam valores pluviométricos menores.

Estudos de distribuição espaço-temporal, frequência e intensidade das chuvas especificamente em áreas urbanas apresentam certa carência bibliográfica de estudos mais detalhados no Brasil e são fundamentais para o planejamento de qualquer cidade. O surgimento de instituições como a CEMADEN, fundada em 2011, com o objetivo direto de monitoramento de desastres naturais com foco na pluviosidade das chuvas, com a instalação de numerosos pluviômetros automatizados em diversas cidades brasileiras e acesso público a todos aos dados gerados, foi o que permitiu o desenvolvimento desta investigação com foco na pluviosidade urbana.

No caso de São Luís, o estudo dos padrões hidrometeorológicos representa apenas o início das pesquisas, isto porque serão necessários mais anos de coleta de dados com uma rede de postos e estações, se possível, maior, para se chegar a um padrão realmente representativo da ocorrência pluvial na Ilha do Maranhão e na cidade de São Luís. O que foi desenvolvido representa indicativos consideráveis de sua condição hidrodinâmica.

#### 5.4 SUBSISTEMA TERMODINÂMICO

O mapeamento térmico da cidade de São Luís teve como embasamento teórico o subsistema termodinâmico do Sistema Clima Urbano (SCU) desenvolvido por Monteiro (1975). Enfatiza o pesquisador que o canal termodinâmico atravessa toda a estrutura de sua proposta teórica, o qual é considerado o insumo básico. Afirma também que a temperatura transformada na cidade é determinante na produção do balanço de energia líquida atuante por todo o seu sistema.

Por ser a temperatura o canal de maior destaque na proposta de seu SCU, identifica que são os valores térmicos em associação aos outros canais que dinamizam e determinam o clima urbano de uma cidade. Monteiro (2009) esclarece:

É impossível desvincular a componente térmica das barométricas, de ventilação, condensação e precipitações restritas ao núcleo do SCU. A geração da ilha de calor é suficiente para desencadear uma ventilação urbana, que se alterna com aquela local do quadro geocológico e aquela mais ampla da circulação regional. (p.44)

Evidencia assim o pesquisador a importância que a temperatura tem para os estudos do clima urbano nas cidades. Destaca ainda que o uso do solo, a morfologia urbana e suas funções estão intimamente implicados no processo de transformação e de produção térmica. Complementa suas argumentações sinalizando que o surgimento de novas tecnologias, como o sensoriamento remoto, pode subsidiar os estudos de mapeamento térmico das cidades e toda a sua proposta de SCU.

No estudo da caracterização termodinâmica da cidade de São Luís foram abordados além do campo térmico da cidade também a umidade relativa do ar intraurbano. Os objetivos propostos nesta análise do subsistema estarão focalizados nas condições diurnas da temperatura e da umidade relativa do ar por entendermos que a área de estudo, estando localizada geograficamente muito próxima da linha do equador, a identificação das condições de térmicas diurnas são mais significativas para a população em suas relações de fluxos urbanos que envolvem principalmente as atividades laborais e de bem-estar. Como observa Sant'Anna Neto e Rampazzo (2016), a importância do conforto térmico relaciona-se não só à sensação de conforto das pessoas, como também ao seu desempenho no trabalho e à saúde.

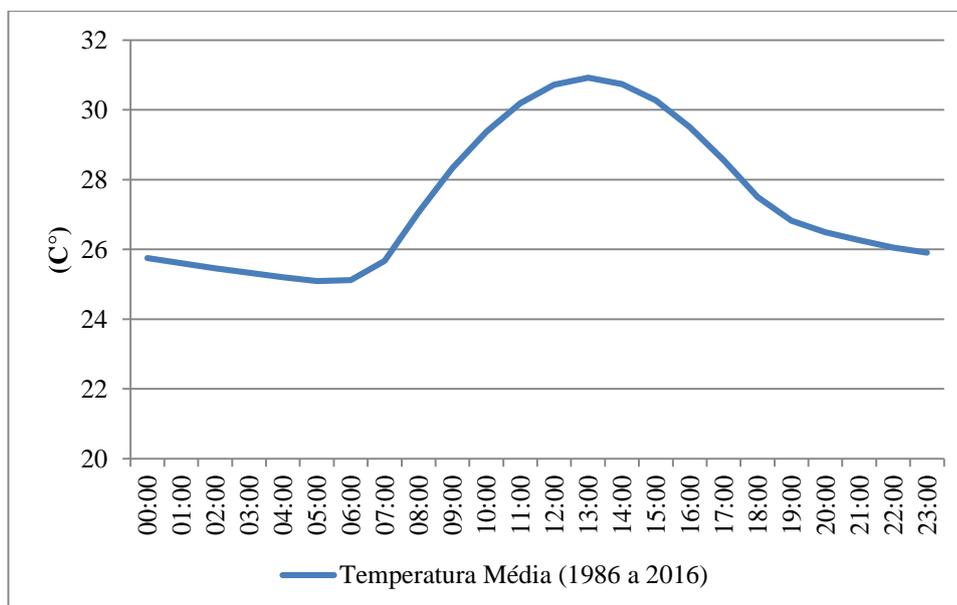
Foram utilizadas três técnicas de coleta de dados para os estudos de temperatura e umidade relativa do ar na cidade São Luís: sensoriamento remoto, transectos móveis e estações fixas. Os dados foram coletados ao longo dos anos de 2015, 2016 e 2017.

#### 5.4.1 Caracterização histórica da temperatura

São Luís apresenta média térmica elevada e com pouca variabilidade anual. A Normal Climatológica (1981-2010), produzida pelo INMET para São Luís, revela uma temperatura média anual de 26,7°C, indicando também que as menores temperaturas médias registradas ocorrem no mês de março com 26,1 °C e as de maiores temperaturas médias no mês de novembro com 27,5°C, portanto uma variabilidade anual histórica de apenas 1,4°C. Destacamos ainda, que a temperatura média da cidade de São Luís está aumentando com o passar dos anos. Os valores de temperatura média da Normal Climatológica de 1981-2010 apontaram para um aumento de 0,6°C em relação a Normal Climatológica de 1961-1990.

Também com dados históricos (1986 a 2016) de temperatura do ar coletados na estação Aeroporto (Gráfico 31), administrada pela Aeronáutica, é possível observar como a temperatura se distribui ao longo das 24 horas do dia.

Gráfico 31 - Temperatura média horária no intervalo dos anos de 1986 a 2016 na estação Aeroporto.



Fonte: Banco de Dados Climatológicos da Aeronáutica - REDEMET

A temperatura média ao longo do dia possui uma variabilidade média histórica de 5,8 °C. As maiores temperaturas médias, foram registradas no horário das 13h com 30,9°C e a de menor temperatura média no horário das 5h com 25,1°C. Os valores coletados indicaram

que o intervalo de horário em que são registradas as maiores temperaturas na cidade de São Luís ocorre entre às 11h e 15h, sempre com valores médios superiores a 30°C.

Revela também o gráfico 31 que a radiação solar na amplitude diária de seu ciclo diuturno, possui amplitude de cerca de 6°C, superior a amplitude anual registrada na Normal Climatológica de 1,4°C.

#### **5.4.2 Sensoriamento remoto na investigação termodinâmica**

O Mapa termal por sensoriamento remoto, apesar de retratar a temperatura da superfície (dos alvos), representa um bom indicativo de como se evidencia a temperatura do ar na estrutura intra-urbana da cidade com suas variações espaciais.

O sensoriamento remoto tem proporcionado conhecimento cada vez mais detalhado da superfície terrestre e tem sido utilizado nos estudos de clima urbano como uma ferramenta para diagnosticar a temperatura dos alvos urbanos e rurais. (AMORIM, 2016, p.33).

A técnica representa avanço tecnológico significativo nos estudos de clima urbano com objetivo de análise térmica, e se constitui em instrumento de otimização e redução de custos significativos para as pesquisas.

No caso de São Luís optamos por produzir três imagens termais da área em estudos: a primeira, de 25 de julho de 2015 às 10h, a segunda do dia 22 de agosto de 2016 às 10h e a terceira do dia 30 de julho de 2017, também às 10h. Através da interpretação visual, a proposta teve como objetivos conhecer com as imagens como se distribui o campo térmico da cidade, identificar espacialmente como se apresentam as temperaturas entre áreas rurais e urbanas e seus valores de variabilidade, verificar a ocorrência e distribuição espacial dos microclimas existentes, além de auxiliar na escolha do melhor traçado para os transectos de coleta de dados da temperatura do ar.

Os métodos utilizados para a obtenção da imagem termal seguiu os seguintes procedimentos: realizamos a aquisição de imagem orbital digital gratuita, banda 10, correspondente à faixa do infravermelho termal (10,6 – 11,19  $\mu\text{m}$  - micrômetro), com resolução espacial de 30 metros do satélite Landsat-8 no Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS, 2013), sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor), órbita 220, ponto 062, com data de passagem nos dias 25/07/2015 – 22/08/2016 – 30/07/2017 e horário local das 10h.

Já, quanto a organização e tratamento do dado raster, iniciamos com, o recorte da imagem infravermelha termal (banda 10) do município de São Luís, seguido do uso dos parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, inicialmente transformado em temperatura Kelvin, fundamentado nas equações 1 e 2 (Tabelas 17 e 18) e disponibilizadas pelo Serviço Geológico Americano.

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (1)$$

Tabela 17 - Elementos e valores da formula de conversão para radiância extraídos do metadados da imagem do Landsat-8, banda 10

<b><i>Lλ</i></b>	Radiância espectral do sensor de abertura em Watts (m <sup>2</sup> sr μm)
<b><i>ML</i></b>	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3,3420E-04
<b><i>Qcal</i></b>	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10
<b><i>AL</i></b>	Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0,10000

Conforme exposto, após a transformação dos valores em radiância, aplicamos a equação 2 com a finalidade de transformar os valores obtidos na primeira, em temperatura de valor em Kelvin:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

Tabela 18 - Elementos e valores da constante de calibração extraídos do metadados da imagem Landsat-8, banda 10

<b><i>T</i></b>	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)
<b><i>K2</i></b>	Constante de calibração 2 = 1.321,08 (K)
<b><i>K1</i></b>	Constante de calibração 1 = 774,89 (K)
<b><i>Lλ</i></b>	Radiância espectral em Watts / (m <sup>2</sup> sr μm)

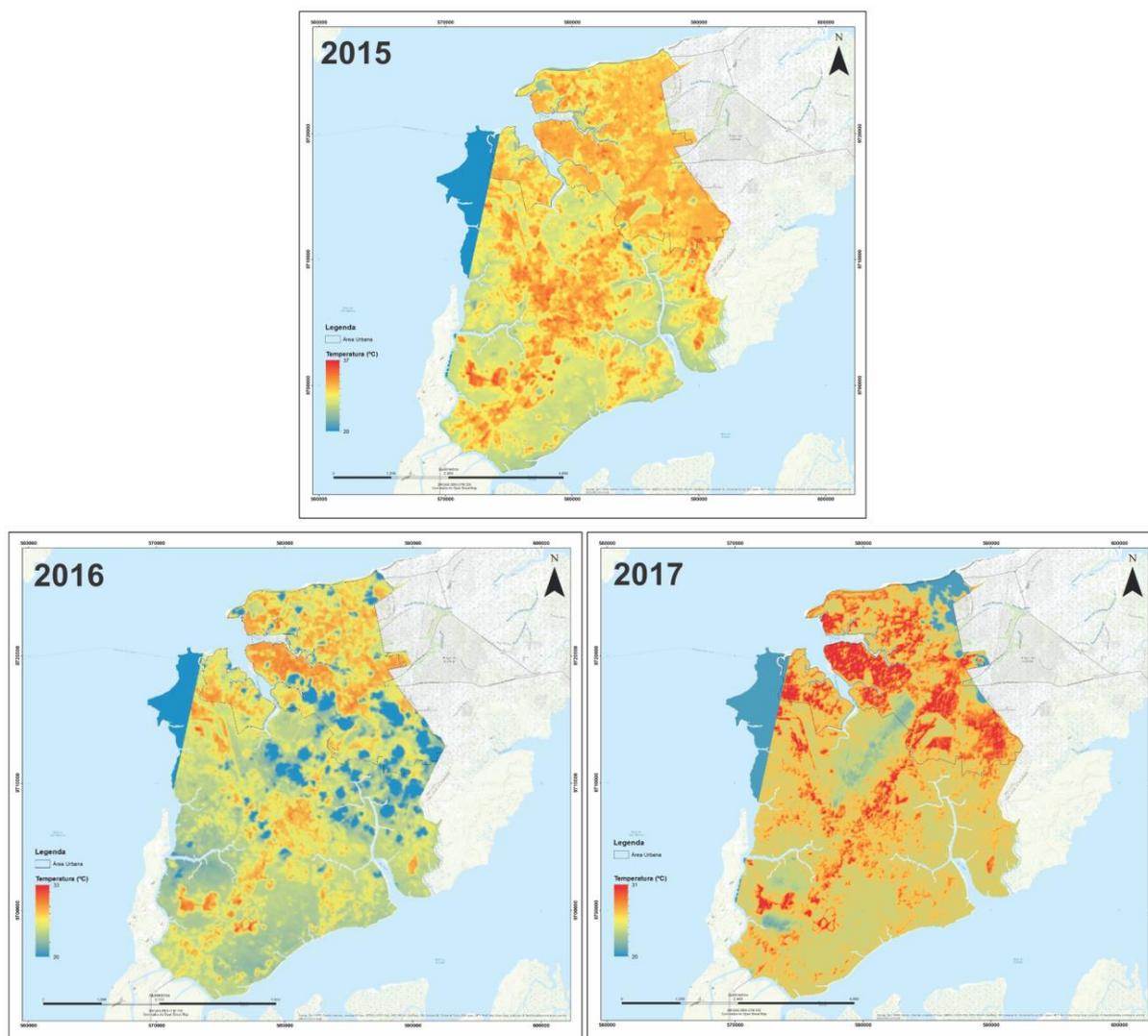
Após estes procedimentos, os valores de temperatura Kelvin foram subtraídos pelo seu valor absoluto (273,15), gerando o raster de temperatura de superfície em graus Celsius (°C). Todos os algoritmos (equação 1 e 2) foram incluídos na calculadora *raster* do Arcgis 10.1 produzindo a espacialização cartográfica da temperatura dos alvos.

#### **5.4.2.1 Mapas de temperatura da superfície**

Como já dito anteriormente, a temperatura da área em estudo fornecida pela técnica do sensoriamento remoto é a temperatura da superfície ou dos alvos e seu valor revela uma aproximação de como se evidencia a temperatura do ar. O sensoriamento remoto promove a identificação termal dos alvos e tem a função de proporcionar um retrato visível da temperatura superficial. Observa Coltri (2006) que a superfície terrestre (alvos) recebe radiação eletromagnética proveniente do sol e, dependendo da sua composição, cor, forma e propriedade, parte desta energia será refletida e absorvida. O sensoriamento remoto retrata a temperatura dos alvos na superfície, e até o atual momento de desenvolvimento técnico, as imagens termais por sensoriamento remoto apresentam temperaturas diferentes da temperatura do ar. Porém, ressaltamos, sua utilização auxilia em análises diferenciadas do clima urbano que se somam no desenvolvimento da pesquisa.

Primeiramente, foi possível visualmente a identificação de como se distribui a temperatura em todo o município em seus padrões mais gerais ao longo dos anos, conforme ilustra o mapa 15. Destacamos também que uma pequena parte na zona oeste do município, área em azul, em todas as três imagens, ocorreram problemas técnicos que inviabilizaram a sua representação termal.

Mapa 15 - Imagens termais do município de São Luís para os anos de 2015, 2016 e 2017

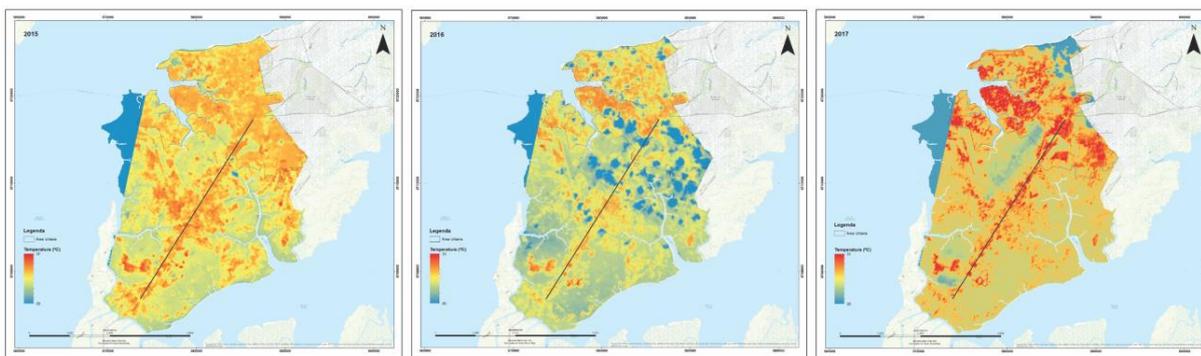


Fonte: USGS - US Geological Survey. Org.: Rangel, M.E.S.

Os resultados possibilitaram a confirmação de que as unidades homogêneas de temperatura, ao nível da UCL, são menores nas proximidades da orla litorânea, enquanto que as unidades homogêneas localizadas nos bairros mais centrais da Ilha e suas áreas vizinhas, apresentam os valores mais elevados de temperatura.

Sobressaem, também, as temperaturas mais elevadas nas áreas que margeiam a rodovia BR135 que corta o município de São Luís de direção sul-sudoeste (SSO) / nor-nordeste (NNE), em todas as três imagens, conforme ilustrações do mapa 16 com o traçado em destaque.

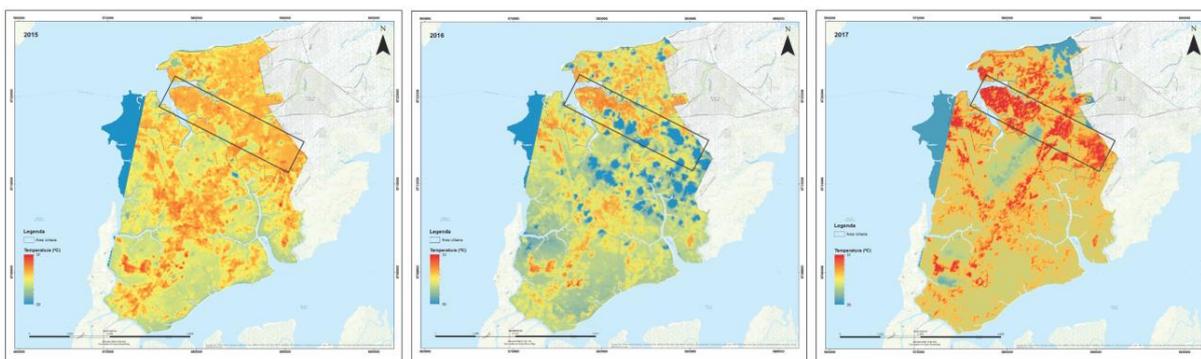
Mapa 16 - Imagens termais do município de São Luís nos anos de 2015, 2016 e 2017 com destaque o eixo por onde passa a rodovia BR135.



Fonte: USGS - US Geological Survey. Org.: Rangel, M.E.S. e Autor

Outro destaque possível de ser identificado pela interpretação visual em todas as imagens termais, principalmente na de 2017, é que estas apresentam uma convergência de micro-climas de temperatura mais elevada dentro da zona urbana do município em um eixo de alinhamento sudeste-noroeste. Conforme está destacado nos mapas a seguir.

Mapa 17 - Imagens termais do município de São Luís nos anos de 2015, 2016 e 2017 com destaque do eixo de identificado de maior temperatura dentro da zona urbana.



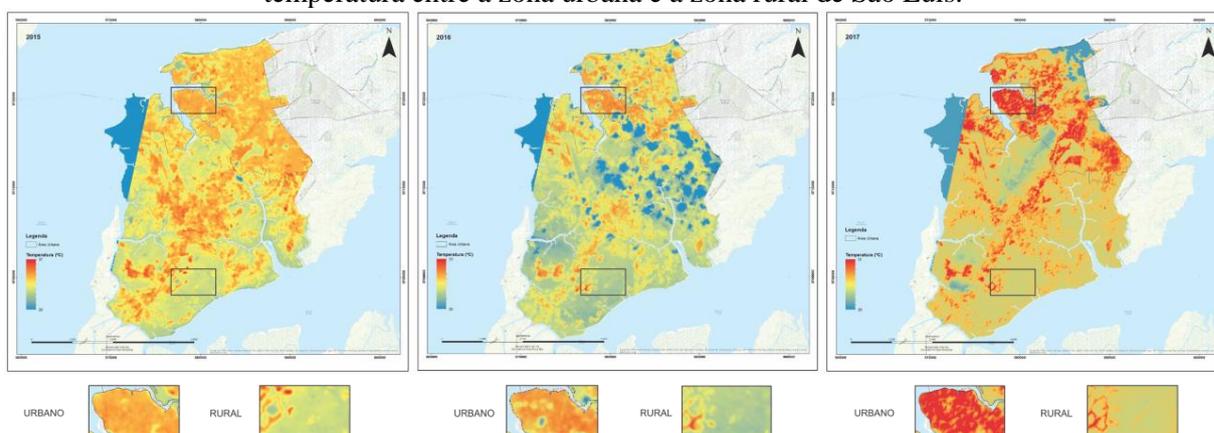
Fonte: USGS - US Geological Survey. Org.: Rangel, M.E.S. e Autor

A composição sequencial das imagens revelou que ocorre no eixo em destaque as maiores temperaturas de superfície, capazes de promover os maiores desconfortos térmicos da urbe. A faixa em destaque nas imagens corresponde a localização dos bairros de ocupação mais antiga da cidade.

Com as imagens termais também foi possível a observação mais detalhada de como está configurada a temperatura da superfície entre a zona urbana e rural de São Luís,

para isto foram escolhidos dois recortes em todas as imagens, de um local que enquadrou o bairro Centro e áreas vizinhas, e outro abrangendo a zona rural do município. (Mapa 18)

Mapa 18 - Imagens termais do município de São Luís nos anos de 2015, 2016 e 2017 com recortes da temperatura entre a zona urbana e a zona rural de São Luís.



Fonte: USGS - US Geological Survey. Org.: Rangel, M.E.S. e Autor

Através de interpretações visuais constatamos que as temperaturas da superfície entre os recortes da zona urbana e a zona rural apresentaram uma diferença que variou no ano em 2015 com  $7^{\circ}\text{C}$ , no ano de 2016 com  $7^{\circ}\text{C}$  e no ano de 2017 com  $8^{\circ}\text{C}$ . Estas variações entre  $7^{\circ}$  e  $8^{\circ}\text{C}$  indicaram certa uniformização de temperatura que demarcam as diferenças térmicas entre o urbano e o rural no município de São Luís.

As imagens termais confirmaram a importância da técnica de sensoriamento remoto como mais um instrumento auxiliar na compreensão da dinâmica térmica para os estudos de clima urbano. Mesmo compreendendo que a temperatura dos alvos não representa a temperatura do ar, a aproximação dos valores permite uma qualidade de informação que agrega conhecimento ao desenvolvimento dos estudos que tem como foco o clima urbano. Este ensaio de estudos da temperatura da superfície por sensoriamento remoto soma-se a outras pesquisas desenvolvidas recentemente como de Polizel (2009), Ugeda Júnior (2012), Barros (2016), Rodrigues (2017) e outros que utilizaram desta técnica para estudos de clima urbano.

#### 5.4.3 Transectos móveis e estações fixas na investigação termodinâmica urbana

A escolha dos transectos apoiou-se a partir da geração da imagem termal de 2015 da Zona Urbana de São Luís, inspirados nas concepções monterianas de “ar dentro da cidade” que ressalta a necessidade de se tomar a temperatura da cidade para o desenvolvimento de estudos de clima urbano (Monteiro, 1990). A opção do traçado obedeceu às diretrizes de

percorrer os principais pontos de variabilidade térmica em sua relação com a superfície urbanizada como também de identificar como a temperatura e a umidade relativa do ar se caracteriza na faixa litorânea em comparação ao Centro da cidade e aos bairros localizados mais ao centro da ilha, identificados no mapa termal como a região da cidade com as maiores temperaturas de superfície (dos alvos).

A escolha do horário de realização dos transectos teve como principal objetivo identificar, espacialmente, como se apresentam as maiores temperaturas da cidade que podem gerar níveis de desconforto térmico. Por este motivo, a coleta de dados dos transectos iniciaram-se sempre às 12h e seu término sempre ocorreu antes de 15h, portanto, dentro do horário que historicamente são registrados as maiores temperaturas médias na cidade.

A realização dos transectos ocorreu em 6 (seis) datas distribuídas ao longo dos meses de 2016 e 2017, conforme identificadas na tabela 19.

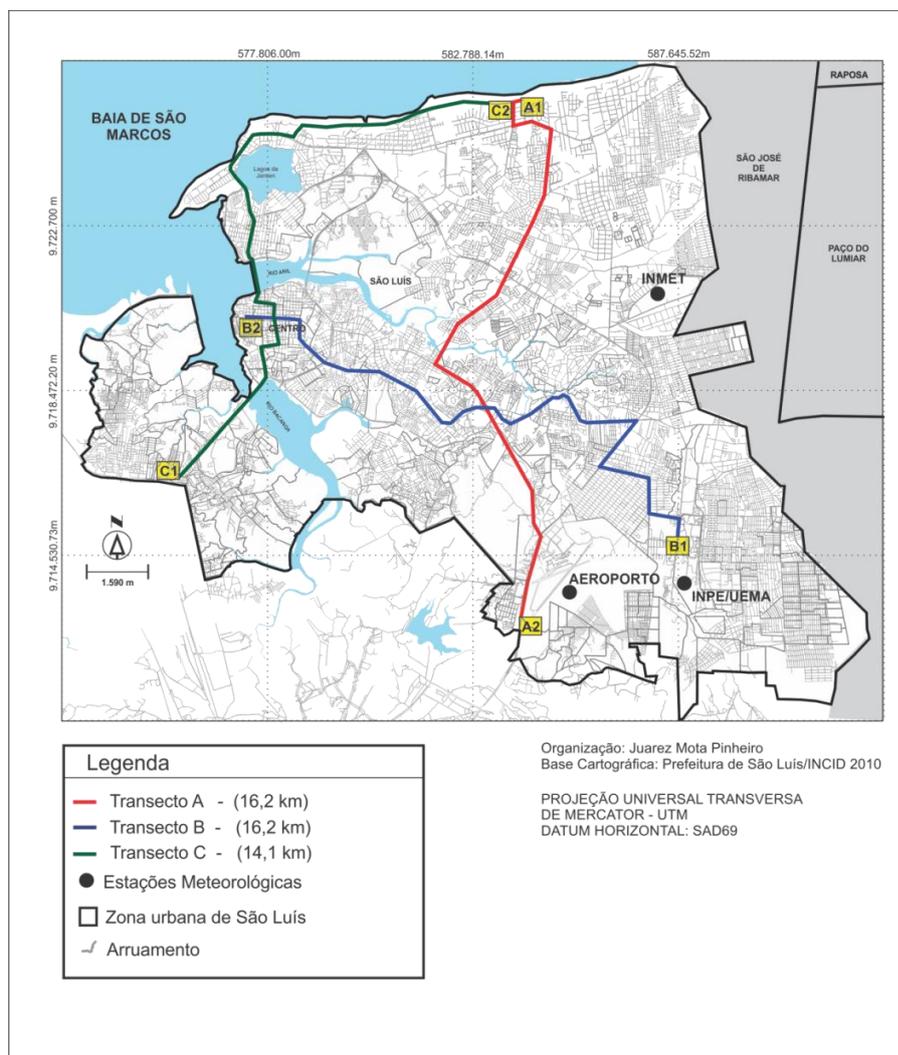
Tabela 19 - Datas e horários de realização das campanhas de coleta de dados

<b>Campanhas</b>	<b>Datas</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
1	18/02/2016	12h	14h:50
2	26/06/2016	12h	14h:51
3	25/09/2016	12h	14h:35
4	08/12/2016	12h	14h:57
5	02/11/2017	12h	14h:33
6	03/12/2017	12h	14h:35

Fonte: Autor

Foram escolhidos três traçados distintos e de distâncias parecidas denominados a partir de agora de transectos A, B e C. Também são identificadas no mapa 19, as estações meteorológicas fixas que forneceram dados no mesmo horário de ocorrência dos transectos. A escolha dos percursos, como dito anteriormente, objetivou coletar dados de variações térmicas da temperatura do ar em superfícies urbanas dessemelhantes em sua forma, estrutura e cobertura vegetal dentro da zona urbana de São Luís. Seguindo a mesma estratégia desenvolvida nos trabalhos de clima urbano de Mendonça (1995), Brandão (1996), Amorim (2000), Fialho (2009) com a utilização de transectos móveis.

Mapa 19 - Traçado dos transectos móveis e localização das estações meteorológicas fixas dentro da zona urbana de São Luís - MA



Fonte: Autor

No traçado A (vermelho), a coleta de dados iniciou-se na Avenida Litorânea, no ponto A1, alcançou a Avenida dos Holandeses, seguiu pela Avenida Daniel de La Touche, passou pela Ponte do Caratatiua, seguiu pela Avenida dos Franceses até alcançar o Aeroporto e seguiu pela BR-135 até o quilometro 3 na Academia de Praças da Polícia Militar do Maranhão, representado pelo ponto A2. O transecto A percorre um total de 16,2 quilômetros em um tempo médio de 40 minutos à velocidade de 30km/h.

O transecto B (azul) iniciou-se no portão principal da UEMA (Universidade Estadual do Maranhão) no ponto B1, seguiu em direção ao Centro pela Avenida Lourenço Vieira da Silva depois pela Avenida Guajajaras até a rotatória da Forquilha, seguiu pela Estrada de Ribamar e Casimiro Junior até alcançar a Avenida dos Franceses, depois pela Avenida Getúlio Vargas já no bairro Centro, passando pelo Liceu Maranhense, Praça

Deodoro, seguiu pela Rua do Sol e encerrou a coleta de dados ao lado da Praça João Lisboa no ponto B2 representado no mapa. Percorreu um total de 16,2 quilômetros em um tempo médio de 50 minutos na velocidade de 30km/h.

O traçado do perfil transecto C (verde) iniciou-se no ponto C1, na Avenida dos Portugueses, bairro Anjo da Guarda em frente ao setor administrativo da Companhia Vale S.A percorreu toda sua extensão em direção ao Centro da cidade, passou em frente a UFMA (Universidade Federal do Maranhão), seguiu pela barragem do Bacanga seguiu em direção ao Anel Viário pela Avenida Sen. Vitorino Freire, passou pelas Ruas das Cajazeiras, Rua São Pantaleão, Rua do Sol e Rua do Egito em direção ao bairro São Francisco, atravessou a Ponte do São Francisco, passou pela Av. Castelo Branco seguiu pela Praia da Ponta da Areia e acessou a Avenida Litorânea em toda a sua extensão até o ponto C2. Percorreu um total de 14,2 quilômetros em um tempo médio de 40 minutos à velocidade de 30km/h.

Também são identificadas a localização das estações meteorológicas fixas do INMET – UEMA/INPE – AEROPORTO na cidade de São Luís. O destaque é que as três estações se encontram dentro do perímetro urbano da cidade, o que favoreceu com dados, informações meteorológicas de temperatura e umidade do ar nos horários em que os transectos estavam passando.

Na coleta de dados dos transectos móveis foram utilizados um termo-higrômetro protegido por solar shield (miniabrigo) da marca ONSET, conectado a um datalogger, exposto ao tempo a uma altura de dois metros do solo em veículo automotivo. Foram montados estrutura de canos em PVC - Policloreto de polivinila (ou policloreto de vinil) para dar suporte de sustentação e fixação do equipamento ao carro, conforme se pode verificar nas fotos abaixo (Foto 10).

Foto 10 - Fotos do equipamento instalado no veículo automotivo para a realização dos transectos



Fonte: Autor

A fixação do equipamento se comportou muito bem durante a realização das campanhas de coletas de dados nos três perfis transectos realizados. Foram percorridos aproximadamente 50 km de avenidas e ruas e a instalação permaneceu em perfeita fixação durante todo o trajeto. Ao final do experimento, ressaltamos a facilidade de desmontagem de toda a estrutura para sua utilização futura, confirmando que foi correta a utilização de canos de PVC para a fixação do termohigrômetro no veículo.

A coleta de dados das campanhas deu-se nos transectos pré-determinados pelo mapa 15, tendo obtido média de 78 medições no transecto A, 92 medições no transecto B e 102 medições no transecto C, coletados a cada 30 segundos. Todas as medições foram georreferenciadas. A velocidade máxima atingida foi de 30 Km/h, sendo que ocorreram momentos em que a velocidade foi menor em função do fluxo de automóveis na via ou de parada ocasionada pela sinalização semafórica. Os dados coletados de temperatura e umidade do ar foram transformados em representação gráfica para melhor compreensão de sua espacialidade, como também a inclusão do perfil topográfico na representação intercalada com locais de destaque de suas características urbanas. Optamos por representar graficamente todos os dados de cada perfil transecto conjuntamente e depois com a média encontrada.

#### **5.4.3.1 Condições sinóticas nos dias de realização das campanhas**

Conforme esclarece Monteiro (2015) sobre o clima urbano na relação com a dinâmica climática regional:

O espaço urbanizado, que se identifica a partir do sítio, constitui o núcleo do sistema que mantém relações íntimas com o ambiente regional imediato em que se insere. (p.94)

São identificados no quadro 4 as condições sinóticas regionais presentes nos dias de realização das campanhas de coleta de dados dos transectos.

Quadro 4 - Condições atmosféricas nos dias de realização das campanhas de coleta de dados

Dias	Condição Sinótica	Imagem
18/02/2016	<p>A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscilava entre 03°N e 06°N sobre o Oceano Pacífico e entre 01°S e 03°N sobre o Oceano Atlântico. Sobre o Maranhão o volume de nuvens foi pequeno e ao norte do Maranhão sobre a cidade de São Luís as condições do tempo favoreceram a realização da coleta de dados em campo. No horário de realização do trabalho observamos apenas nuvens esparsas.</p>	
26/06/2016	<p>O mês de junho marca, em termos climatológicos, o período de transição entre a estação chuvosa e a estação seca do setor centro-norte do Maranhão. A imagem mostra, que neste dia, a atuação da Zona de Convergência Intertropical ocorreu em torno de sua posição climatológica de ~7°N. No horário em que foi realizado a coleta de dados em campo o tempo apresentava-se com sol e poucas nuvens.</p>	
25/09/2016	<p>De modo geral, setembro por ser um mês de poucas chuvas no Maranhão favorecem as condições ambientais de aumento do número de queimadas por todo o estado. A Zona de Convergência Intertropical encontrava-se em sua posição climatológica normal para esta época do ano, porém favorecendo a formação de nuvens convectivas. A coleta de dados ocorreu com o céu parcialmente nublado e ausência de chuvas.</p>	

08/12/2016	As condições atmosféricas observadas identificaram que ocorreram os padrões comumente associados a anos de seca sobre a porção norte do Nordeste. A ZCIT manteve a sua posição padrão para o mês, em torno de $\sim 5^{\circ}\text{N}$ , indicando ausência de chuvas ao norte do Maranhão e sobre a cidade de São Luís. No horário de realização do trabalho de campo verificamos pouquíssimas nuvens no céu.	
02/11/2017	Nessa época do ano, o Maranhão já se encontrava com sua parte meridional em pleno início da estação chuvosa, enquanto sua parte setentrional ainda permanecia com poucas nuvens. A imagem mostra que a ZCIT situava-se no Atlântico Norte em latitude próxima de $9^{\circ}\text{N}$ determinando condições de estabilidade atmosférica por toda a Ilha do Maranhão. No horário em que foi realizada a coleta de dados, o tempo apresentava-se com sol e poucas nuvens.	
03/12/2017	O mês de dezembro representa, para boa parte do Maranhão, período de chuvas, porém na sua porção norte, o volume pluviométrico apresentava-se ainda muito baixo. A imagem revela que a ZCIT encontrava-se estabilizada no Atlântico Norte, determinando poucas nuvens na Ilha. Durante a coleta de dados, observamos o tempo estável com sol e quase ausência de nuvens no céu.	

Fonte: INPE/CPTEC; Org.: Autor

De modo geral as condições atmosféricas nos dias das campanhas de coleta de dados dos transectos apresentaram-se uniformes, favorecendo com que os dados coletados representassem cenários atmosféricos similares, mesmo para meses e anos diferentes. Proporcionando, assim, homogeneidade nos dados coletados na identificação das variabilidades de temperatura do ar no meio urbano de São Luís.

## 5.4.4 TRANSECTO A

### 5.4.4.1 Características urbanas e fitogeográficas

Na proposta SCU, em mais um de seus enunciados que norteiam a aplicação de sua metodologia, Monteiro (2015, p93) afirma: “O clima urbano é um sistema que abrange o clima de dado espaço terrestre e sua urbanização”. Torna-se, portanto, patente a necessidade de se conhecer quais são as características urbanas presentes na pesquisa e ressalta a interação existente entre a superfície urbanizada e seu clima urbano. Deste modo, foram identificados, dentro do transecto, locais significativos da caracterização tanto de sua urbanização quanto das condições vegetativas existentes. Observamos também que os locais escolhidos também são representados no perfil topográfico produzido mais adiante (Quadro 5).

Quadro 5 - Características de urbanização e cobertura vegetal do transecto A

Imagem aérea	Urbanização	Vegetação
<p>Início A1 – Av. Litorânea – Bairro Parque Atlântico</p> 	<p>Quase ausência de edificações</p>	<p>Densidade média de vegetação arbórea margeando o rio Paciência, presença de vegetação herbácea nas dunas.</p>
<p>Av. Daniel de La Touche - Shopping da Ilha – Bairro Cohama</p> 	<p>Compartilhamento de função urbana residencial e comercial com intensa movimentação de pessoas e veículos.</p>	<p>Esparsa vegetação arbustiva e arbórea margeando a Avenida</p>

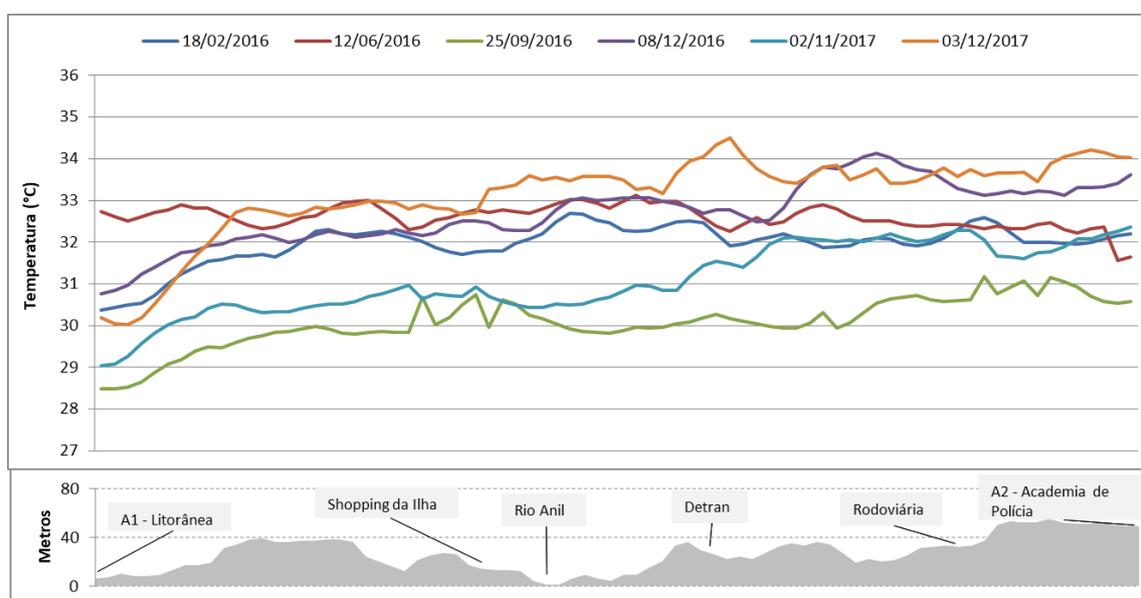
<p>Ponte do Caratatiua - Rio Anil</p> 	<p>Função residencial com características de casas populares ocupando as duas margens do rio Anil.</p>	<p>Presença de vegetação arbustiva de mangue.</p>
<p>Av. dos Franceses – Detran/MA – Bairro Vila Palmeira</p> 	<p>Ocupação residencial de baixa altura intercalada na avenida por lojas comerciais.</p>	<p>Densidade baixa de vegetação</p>
<p>Av. dos Franceses – Rodoviária – Bairro Tirirical</p> 	<p>A avenida divide a leste ocupação urbana comercial e residencial enquanto a oeste o Parque Estadual do Bacanga.</p>	<p>Vegetação com características arbustivas e arbóreas por todo setor oeste.</p>
<p>Final A2 - Academia de Polícia - BR 135</p> 	<p>Final do perímetro urbano de São Luís com características de ocupação por comércio e serviços.</p>	<p>Vegetação arbórea e arbustiva distribuída em compartimentos homogêneos.</p>

O transecto se distingue por apresentar características gerais de prédios de baixa altura com um ou dois pavimentos, possui algumas exceções com a presença de prédios mais elevados com função comercial. Quanto à cobertura vegetal apresenta-se, em alguns trechos, com vegetação arbustiva e arbórea em maior quantidade.

#### 5.4.4.2 Valores térmicos e higrométricos registrados

Os valores coletados através do experimento de campo de temperatura do ar foram representativos, permitindo identificar variáveis importantes das condições atmosféricas intraurbana da cidade através dos transectos.

Gráfico 32 - Valores de temperatura do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no transecto A, de todas as campanhas.



Fonte: Autor

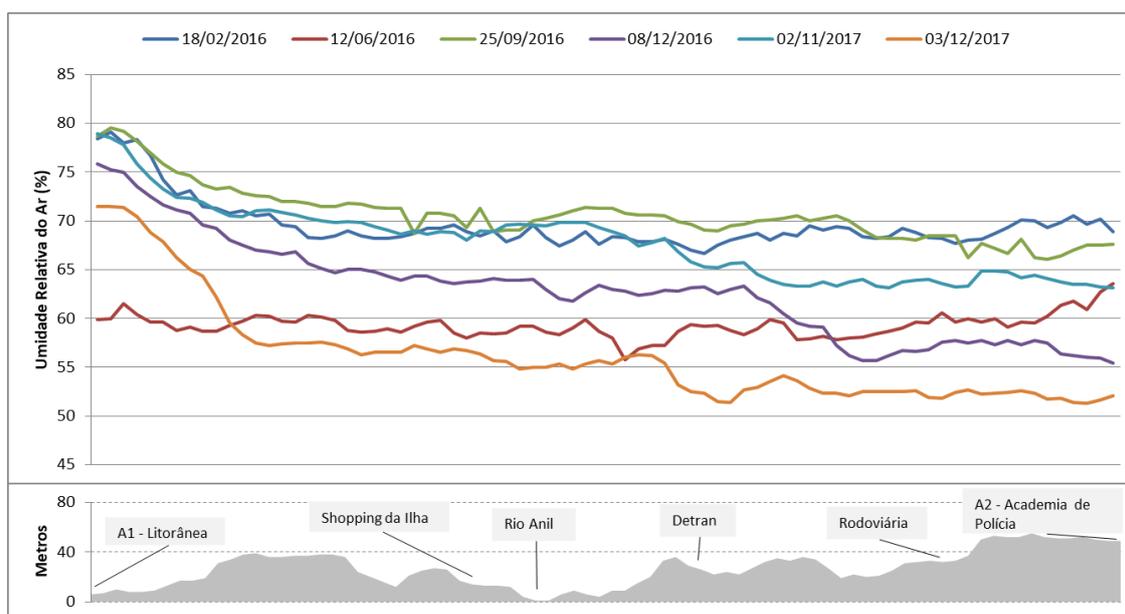
A maior temperatura registrada, entre todas as campanhas de coleta de dados no transecto A, ocorreu na campanha do dia 03/12/2017, na área do entorno do DETRAN, registrando 34,5°C, e a menor temperatura de todas as campanhas ocorreu na Av. Litorânea como 28,5°C no dia 25/09/2016. Ao se extrair a média de temperatura registrada em todas as campanhas, a área no entorno da Rodoviária apresentou as maiores temperaturas com 32,5°C e a área na Litorânea os menores valores médios de temperatura com 30,3°C.

Foi possível comprovar que, de acordo com as características da superfície urbana, os valores de temperatura e umidade relativa do ar variaram dentro malha urbana, indicando que quanto maior a densidade urbana e menor superfície vegetativa maior a

temperatura. Outra importante confirmação foi de que a proximidade com a área Litorânea da cidade, sob influência permanente da brisa marítima, a temperatura é normalmente menor e maior a umidade relativa do ar.

A seguir, no Gráfico 33, os valores registrados no transecto A para a umidade do ar na cidade de São Luís.

Gráfico 33 - Valores de umidade relativa do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no perfil transecto A, em todas as campanhas.



Fonte: Autor

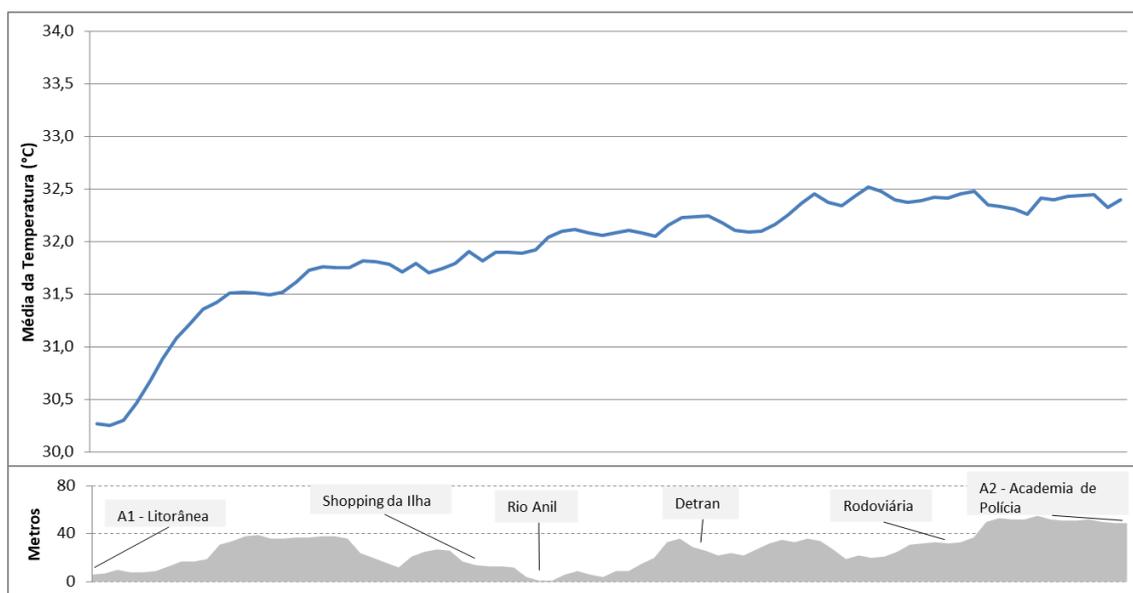
A área no entorno da Litorânea apresentou os maiores valores médios de umidade relativa do ar com 73,9% e a área do entorno da Rodoviária com os menores valores registrados com 61,3% de umidade relativa do ar de todas as campanhas realizadas. Os valores de umidade relativa do ar reafirmaram, conforme esperado, que a condição da Litorânea, por receber maior umidade da brisa marítima, apresenta-se como a área de maior umidade relativa do ar, enquanto as áreas internas da cidade, com maiores níveis de urbanização, apresentam umidade relativa do ar em níveis menores.

Destacamos no transecto do 03/12/2017 (laranja) a queda acentuada de umidade relativa do ar ocorrida durante todo o percurso em comparação com a sua parte inicial. Ao se observar também a temperatura verificamos que esta também foi se elevando ao longo do percurso. As condições atmosféricas no horário de realização da campanha foram de céu com pouquíssimas nuvens, o que favoreceu a intensidade da radiação solar direta, favorecendo assim os registros de baixa umidade relativa do ar e temperaturas mais elevadas.

### 5.4.4.3 Valores médios térmicos e higrométricos

Para a obtenção das condições médias que sintetizassem os resultados obtidos foram produzidos gráficos de temperatura do ar e umidade relativa do ar com os valores encontrados na realização das campanhas de coleta de dados.

Gráfico 34 - Média dos valores de temperatura do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no transecto A, de todas as campanhas.



Fonte: Autor

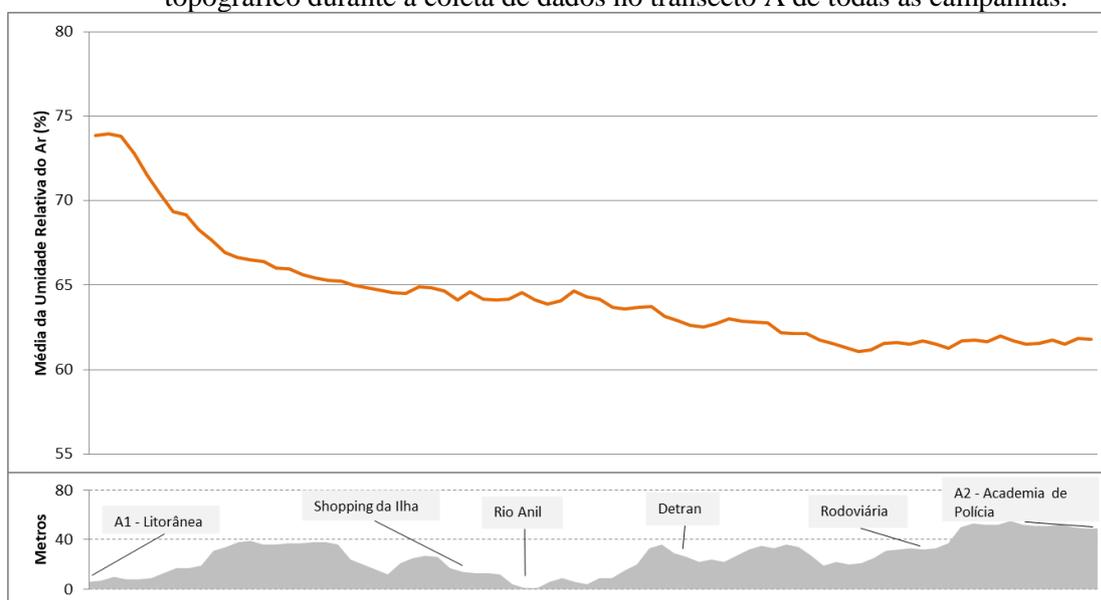
No transecto A, a média de temperatura registrada em todas as campanhas foi de 31,9 °C e a umidade relativa do ar de 63,6 %, indicando também uma atmosfera de muito calor e umidade relativa por todo o percurso.

No transecto A também foi possível constatar que as áreas de maior temperatura coincidem com as áreas de maior temperatura do mapa termal de superfície por imagem de satélite. Indicando que esta técnica de investigação permite uma visão muito aproximada de como se comporta a atmosfera superficial de uma cidade.

Outra informação constada através da coleta de dados das campanhas foi a diferença de temperatura entre o valor médio mais baixo e o mais alto registrado. A média de valor mais baixa foi de 30,3 °C, registrado no início do transecto na Avenida Litorânea, e o valor de maior temperatura, localizado na Avenida dos Franceses, próximo da rodoviária, com valores de 32,5 °C, portanto uma diferença média de 2,2 °C, revelando qual o nível de variações térmicas da temperatura do ar, neste transecto, do clima urbano de São Luís.

A seguir, no gráfico 35, estão representados os valores médios registrados de todas as campanhas da umidade relativa do ar.

Gráfico 35 - Média dos valores de umidade relativa do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no transecto A de todas as campanhas.



Fonte: Autor

Com relação à média de umidade do ar de todas as campanhas no transecto A, os maiores valores encontrados foram registrados no início dos trabalhos do transecto A, isto é, na Av. Litorânea com 73,9 % e os valores médios mais baixos de umidade relativa do ar na Avenida dos Franceses, próximo à rodoviária, com uma porcentagem de umidade relativa do ar de 61,1. A variação entre o local de maior para menor umidade do ar foi de 12,8%.

## 5.4.5 TRANSECTO B

### 5.4.5.1 Características urbanas e fitogeográficas

Quadro 6 - Características de urbanização e cobertura vegetal do transecto B

Imagem aérea	Urbanização	Vegetação
<p>Início B1 – UEMA (Universidade Estadual do Maranhão)</p> 	<p>Edificações espaçadas de baixa altura e características de uso educacional.</p>	<p>Densidade baixa de vegetação arbórea e maior cobertura de vegetação gramínea.</p>
<p>Rotatória da Forquilha</p> 	<p>Compartilhamento de função urbana residencial e comercial com intensa movimentação de pessoas e veículos.</p>	<p>Quase ausência de vegetação.</p>
<p>Faculdade Santa Tereza – Bairro Anil</p> 	<p>Função com características residencial e de serviços.</p>	<p>Presença escassa de vegetação arbustiva e arbórea.</p>

Imagem aérea	Urbanização	Vegetação
<p data-bbox="236 286 686 320">Castelão – Bairro Outeiro da Cruz</p> 	<p data-bbox="898 360 1169 465">Ocupação residencial popular e de serviços.</p>	<p data-bbox="1185 360 1433 432">Baixa densidade de vegetação</p>
<p data-bbox="236 730 762 763">Feira do João Paulo – Bairro João Paulo</p> 	<p data-bbox="898 730 1169 1059">Área urbana com característica predominante de comércio intercalado com residências. Intenso fluxo de automóveis e pessoas.</p>	<p data-bbox="1185 730 1433 801">Baixa densidade de vegetação.</p>
<p data-bbox="236 1209 743 1243">Final B2 – Centro – Praça João Lisboa</p> 	<p data-bbox="898 1209 1169 1641">Urbanização com função comercial e de serviços. Prédios de baixa altura em função de legislação de conservação arquitetônica histórica. Possui intenso fluxo de pessoas e automóveis.</p>	<p data-bbox="1185 1209 1433 1281">Quase ausência de vegetação.</p>

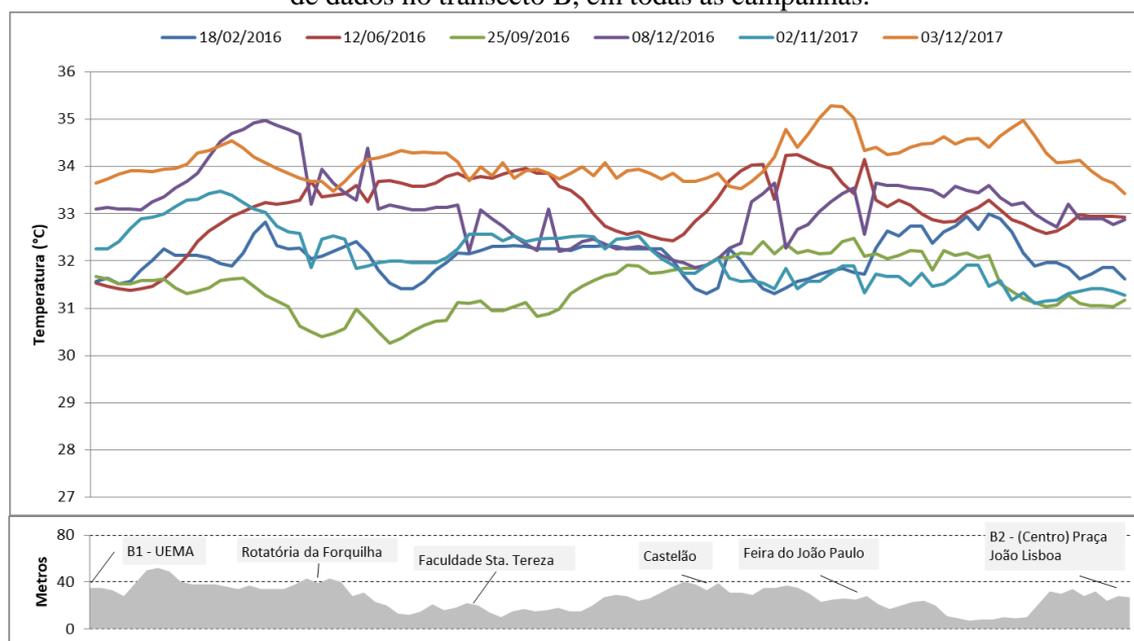
Fonte: Google Earth Pro; Org.: Autor

O destaque a ser observado neste transecto, quanto as suas características urbanas e fitogeográficas, é que este percurso apresentou as mais baixas coberturas vegetativas dentro do espaço urbano de todos os transectos.

### 5.4.5.2 Valores térmicos e higrométricos registrados

No experimento de coleta de dados do transecto B, em todas as campanhas, não ocorreu nenhum incidente que pudesse afetar os dados coletados, deste modo os valores colhidos foram considerados válidos e utilizados na pesquisa.

Gráfico 36 - Valores temperatura do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no transecto B, em todas as campanhas.

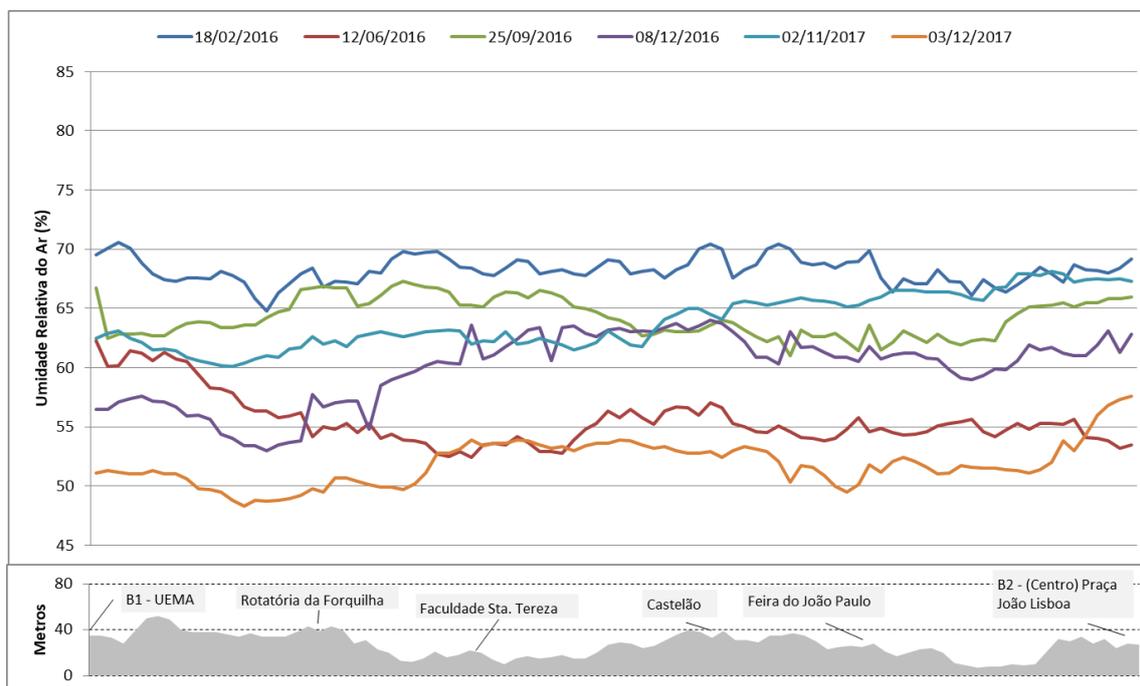


Fonte: Autor

Importante observar que foi no transecto B em que foram registrados os maiores valores de temperatura entre todos os três transectos, e que também, preliminarmente, foram indicados pelos mapas termais (figura 3). O transecto iniciou na UEMA (Universidade Estadual do Maranhão) e teve seu término no centro urbano de São Luís, percorrendo em todo o seu trajeto ambientes com uso e funções urbanas diversas, como: residencial, comercial, serviços, administrativo e histórico. Destacamos também a pouca cobertura vegetal anteriormente identificada no quadro 3.

O que mais se destacou nos valores registrados pelas campanhas no transecto B foi a ocorrência, em dois lugares, com picos de maior temperatura, uma entre o início dos trabalhos do transecto na UEMA e a Rotatória da Forquilha e o outro ponto nas proximidades da Feira do João Paulo, no bairro João Paulo. São locais que possuem características urbanas de grande circulação de pessoas e automóveis e baixa superfície vegetativa.

Gráfico 37 - Valores de umidade relativa do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no perfil transecto B, em todas as campanhas.



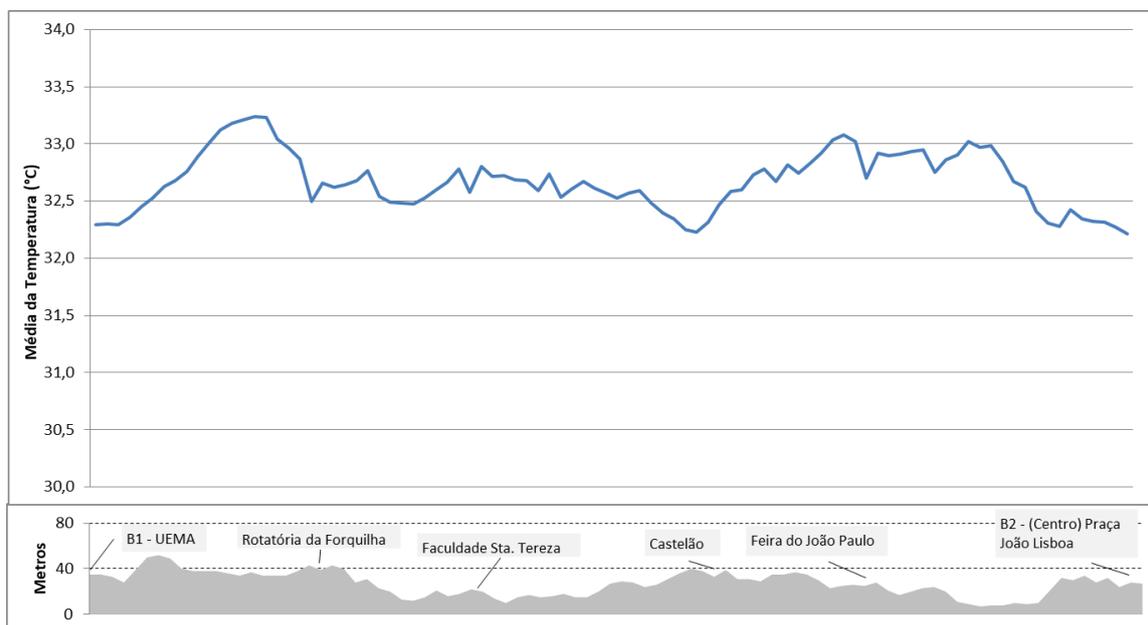
Fonte: Autor

Quanto aos valores registrados de umidade relativa do ar, observamos que não ocorreram anomalias que se diferenciassse dos valores de temperatura, indicando que quanto maior a temperatura menores os valores de umidade do ar, e quanto menor a temperatura maior a umidade relativa do ar.

#### 5.4.5.3 Valores médios térmicos e higrométricos

Nos gráficos 38 e 39 são apresentados a média registrada em todas as campanhas do transecto B de temperatura e de umidade do ar, indicando de maneira mais clara a existência de uma constatada variabilidade térmica urbana nos dois pontos observados anteriormente.

Gráfico 38 - Média dos valores de temperatura do ar e locais de destaque durante a coleta de dados no perfil transecto B, de todas as campanhas.



Fonte: Autor

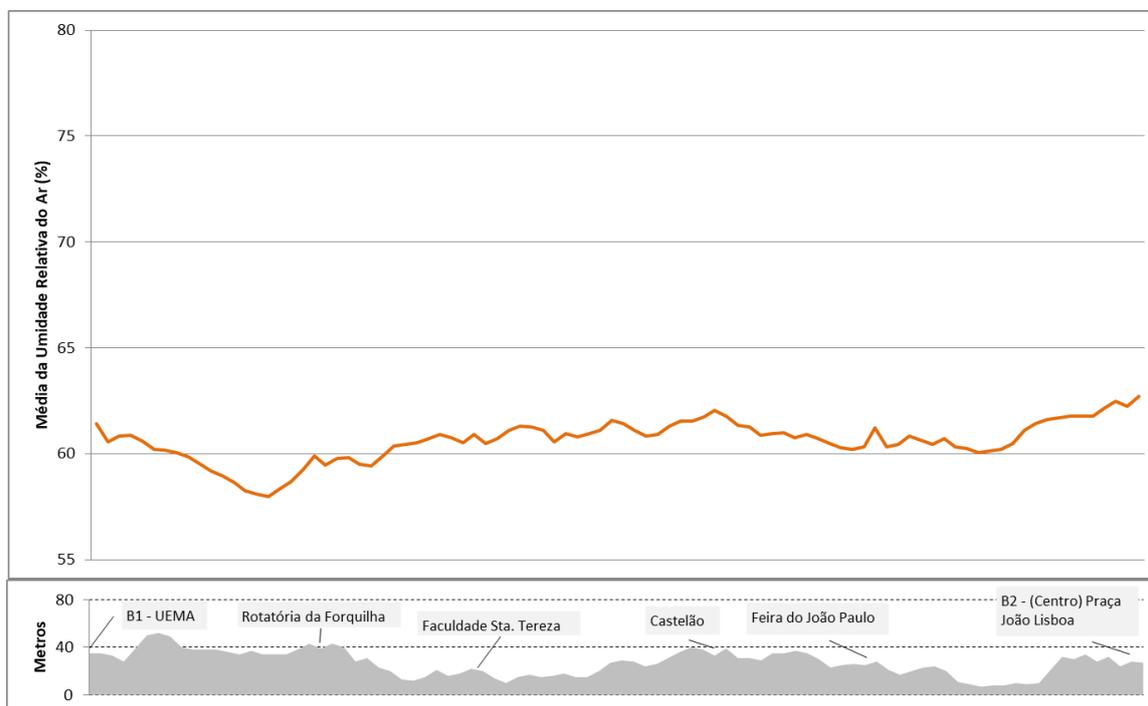
Por todo o transecto, a superfície urbanizada representa a que mais tempo foi consolidada historicamente e que demonstrou possuir os maiores valores médios de temperatura com 32,7 °C e de menores valores médios de umidade relativa do ar com 60,7 % de todos os experimentos de coleta de dados realizados nas campanhas.

Os valores de temperatura média registrados no transecto B oscilaram dentro de uma margem muito próxima, variando entre 32,2 °C para a menor temperatura média registrada e de 33,2 °C para a de maior temperatura, portanto uma variabilidade de apenas 1 °C dentro do transecto.

Ressaltamos, neste transecto, que o gabarito dos prédios não ultrapassava cinco andares. Construções, em sua maioria, de um e dois pavimentos, a exceção deu-se quando o experimento se aproximou do centro administrativo da cidade, cujos prédios de três a cinco pavimentos começaram a aparecer de maneira esporádica. Como a Lei de Zoneamento, criada em 1992, preserva os prédios históricos do centro, e são muitos, o gabarito dos prédios são relativamente baixos para um Centro de cidade, capital de Estado, com uma população de mais de um milhão de habitantes.

Para os valores médios de umidade relativa do ar, identificamos também pouca variabilidade, conforme ilustra os gráfico 39 a seguir.

Gráfico 39- Média dos valores de umidade relativa do ar e locais de destaque durante a coleta de dados no perfil transecto B, de todas as campanhas.



Fonte: Autor

A média de umidade relativa do ar em todo o trajeto foi de 60,7%, a menor média entre todos os transectos. O trecho com a menor média de umidade do ar foi de 58% e a de maior umidade do ar de 62,7%, uma variabilidade de apenas 2%. Como a temperatura do ar mais elevada, neste transecto, está determinando também um ponto de saturação mais alto, a umidade relativa do ar apresenta valores menores, o que acompanha a literatura científica:

A concentração máxima de vapor de água ou saturação aumenta com a elevação da temperatura, ou seja, com maior temperatura, logo, como maior grau de calor, o ar se torna mais quente e se expande, podendo, assim, conter mais vapor de água. Desta forma, quanto maior a temperatura, maior a capacidade do ar de reter o vapor d'água. (TORRES; MACHADO, 2011, p.38)

Os baixos valores médios de umidade relativa do ar no transecto B indicaram, acompanhando a maior temperatura que o transecto registrou em relação aos outros transectos, que a umidade relativa do ar registra os menores valores médios neste eixo da cidade.

## 5.4.6 TRANSECTO C

### 5.4.6.1 Característica urbanas e fitogeográficas

Gráfico 40 - Características de urbanização e cobertura vegetal do transecto C

Imagem aérea	Urbanização	Vegetação
<p>Início C1 – Companhia Vale S.A – Bairro Anjo da Guarda</p> 	<p>Função urbana com características predominantes residencial de baixa altura e administrativa por parte da Companhia Vale S.A.</p>	<p>Densidade alta de vegetação arbórea e arbustiva em área particular da Companhia Vale S.A.</p>
<p>Anel Viário - Bairro Centro</p> 	<p>Função urbana comercial e de serviços com intensa movimentação de pessoas e veículos.</p>	<p>Baixa densidade de vegetação.</p>
<p>Rua São Pantaleão – Bairro Centro</p> 	<p>Função urbana comercial e de serviços. Prédios de baixa altura em função de legislação de conservação arquitetônica histórica. Possui intenso fluxo de pessoas e automóveis.</p>	<p>Presença escassa de vegetação</p>

Imagem aérea	Urbanização	Vegetação
<p data-bbox="236 286 847 320">Praça do São Francisco – Bairro São Francisco</p> 	<p data-bbox="911 286 1163 465">Ocupação urbana predominante de função residencial intercalado com comércio.</p>	<p data-bbox="1179 286 1433 360">Baixa densidade de vegetação</p>
<p data-bbox="236 730 839 763">Início da Av. Litorânea – Praia de São Marcos</p> 	<p data-bbox="911 730 1163 954">Área urbana com função de lazer, presença de prédios residenciais de alto padrão.</p>	<p data-bbox="1179 730 1433 875">Vegetação com características herbáceas de praias e dunas.</p>
<p data-bbox="236 1173 890 1267">Final C2 – Término da Av. Litorânea – Bairro Olho D'água</p> 	<p data-bbox="911 1173 1163 1247">Quase ausência de edificações</p>	<p data-bbox="1179 1173 1433 1503">Densidade média de vegetação arbórea margeando o rio Paciência, presença de vegetação herbácea nas dunas.</p>

Fonte: Google Earth Pro; Org.: Autor

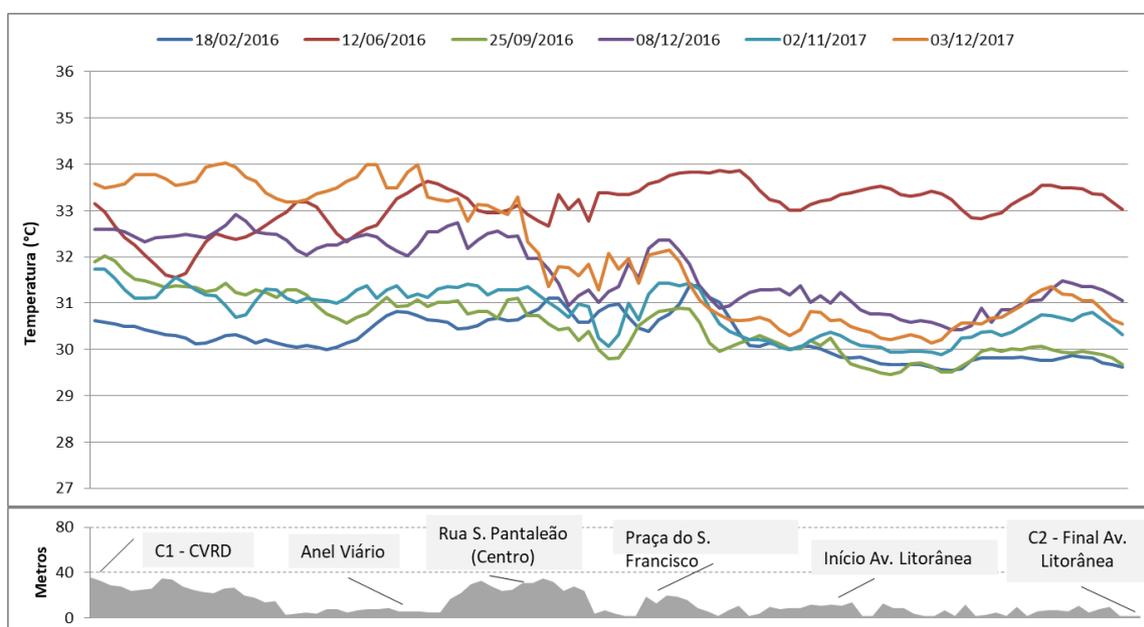
As características urbanas neste transecto são as mais dessemelhantes entre os três transectos, inicia em área residencial de baixa altura dos prédios com grande volume de cobertura vegetal arbustiva, passa pelo Centro Histórico de São Luís com quase ausência de vegetação, segue em direção ao bairro São Francisco, de urbanização recente e também pouca vegetação e atravessa toda a Avenida Litorânea que margeia a orla da praia a possui prédios

muito altos em alguns trechos com vegetação herbácea e dunas. Portanto características urbanas e vegetativas distintas que proporcionou resultados importantes para a pesquisa.

#### 5.4.6.2 Valores térmicos e higrométricos registrados

Os valores de temperatura do ar coletados através do transecto nos dias das campanhas foram considerados válidos e representativos, em função de não ter ocorrido nenhum incidente que comprometesse os registros efetuados, permitindo assim a sua utilização.

Gráfico 41 - Valores temperatura do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no transecto C, em todas as campanhas

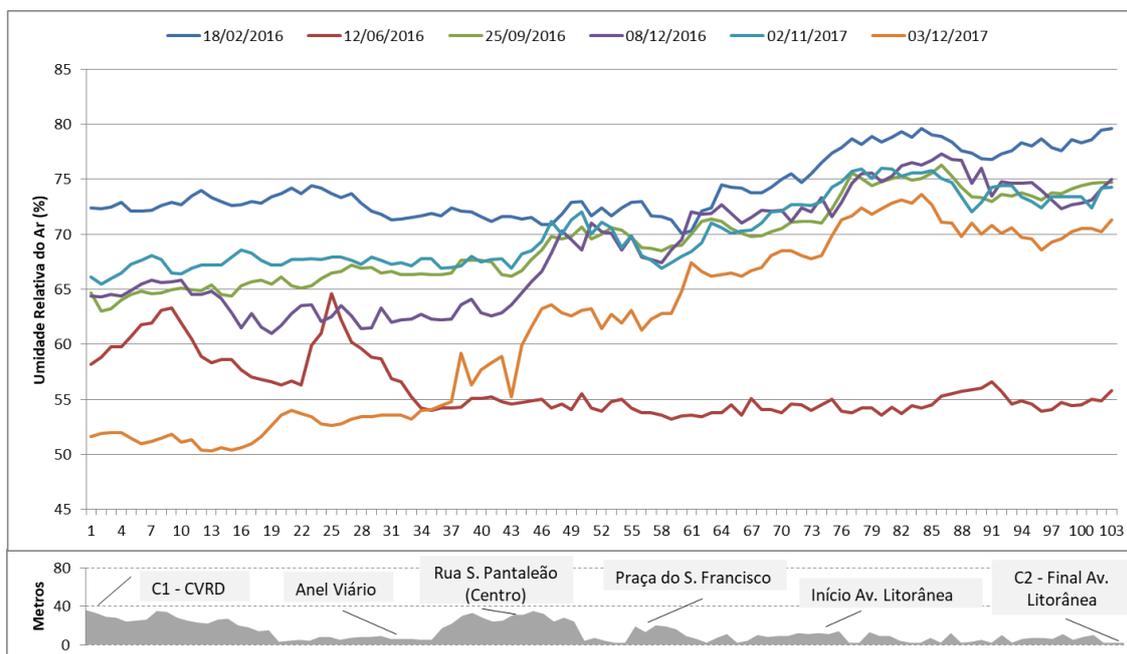


Fonte: Autor

Neste percurso, que também passou pelo centro da cidade, o destaque foi a variabilidade térmica em relação a superfície urbanizada identificada pelo trajeto. A temperatura iniciou elevada no início dos trabalhos até se chegar ao centro da cidade, quando atravessa a ponte do São Francisco ocorre uma pequena queda que volta a subir até alcançar a Avenida Litorânea que então diminui a temperatura pela proximidade com o mar e a influência da brisa marítima. A exceção ocorreu no dia 26/06/2016, quando a temperatura registrada permaneceu sempre elevada mesmo durante o percurso na Avenida Litorânea.

O comportamento da umidade do ar também acompanhou a variabilidade, com valores menores na região do centro e valores maiores na Avenida Litorânea.

Gráfico 42 - Valores de umidade relativa do ar e locais de destaque com seu perfil topográfico durante a coleta de dados no perfil transecto B, em todas as campanhas.

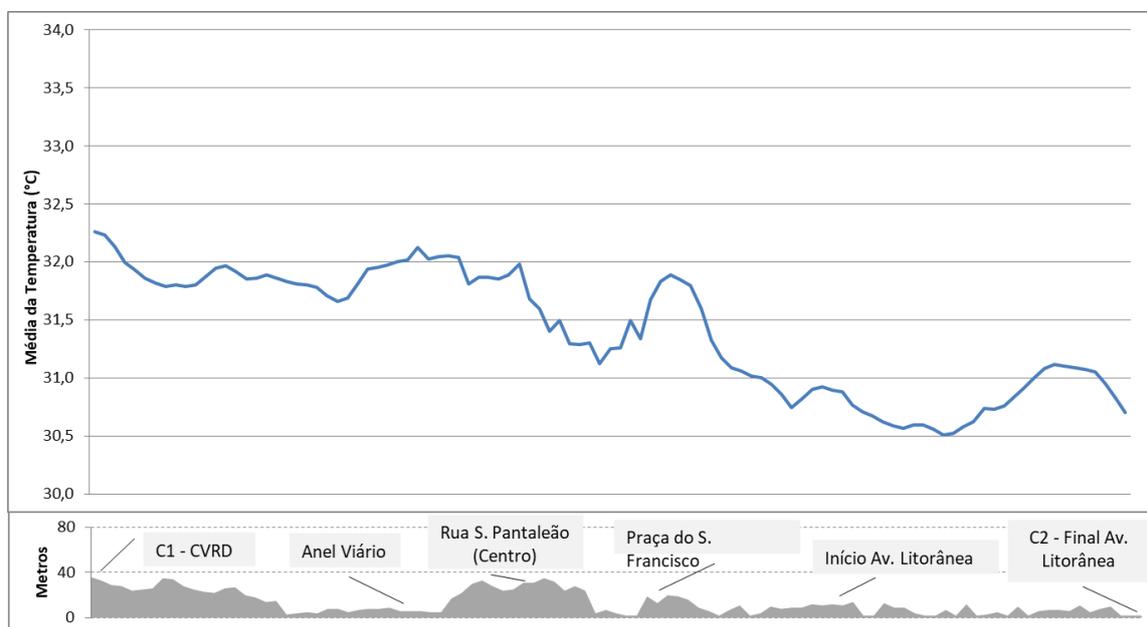


Fonte: Autor

De modo geral a umidade relativa do ar acompanhou os valores de temperatura na sua relação de maior e menor umidade relativa do ar, a exceção ocorreu no dia 26/06/2016 em que a umidade do ar foi menor na litorânea em relação aos bairros do início do transecto e o centro da cidade. Com a temperatura elevada do dia e uma possível calmaria do vento no momento em que o veículo estaria passando pela avenida litorânea, consistiria na possível explicação para os valores mais baixos registrados neste dia de umidade relativa do ar.

### 5.4.6.3 Valores médios térmicos e higrométricos

Gráfico 43 - Média dos valores de temperatura do ar e locais de destaque durante a coleta de dados no transecto C, de todas as campanhas.



Fonte: Autor

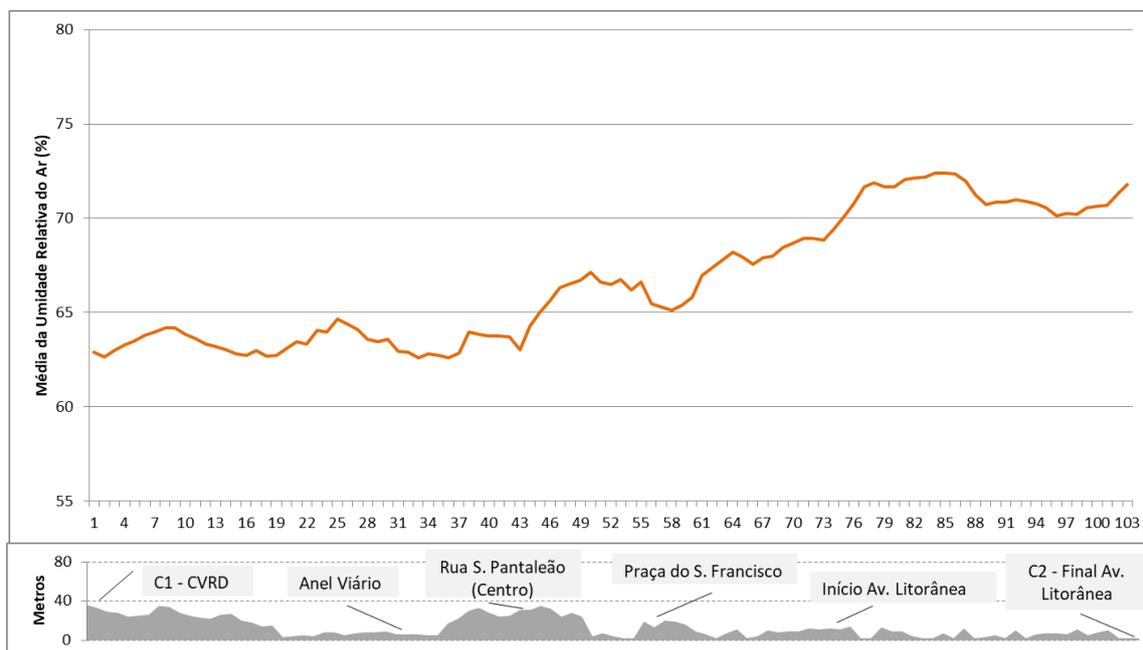
Identificamos que a média de temperatura registrada em todas as campanhas no transecto C foi de 31,4 °C, a variabilidade térmica dentro do transecto foi de 1,8 °C, e a maior temperatura média registrada foi de 32,3 °C no início dos trabalhos na CVRD, e a de menor temperatura média com 30,5 °C, ocorrida na Avenida Litorânea.

Com esta variabilidade térmica do transecto, em que registra na temperatura da Avenida Litorânea uma queda média de 1,8° C, confirma as bases teóricas de que os ventos da brisa marítima para São Luís possuem grande relevância na diminuição de sua temperatura. Em locais de clima quente e úmido, como São Luís, os ventos possuem fator preponderante na formação de ambientes térmicos menos quentes.

Destacamos também no gráfico 43, a ocorrência de um pico de temperatura na altura do bairro São Francisco, logo após a ponte do São Francisco que transpõe o Rio Anil. Avaliamos que durante a travessia da ponte, ocorreram temperaturas mais baixas geradas pelo vento e pela proximidade das águas do rio, o que é constatado quando se comparam os valores registrados antes e depois da travessia da ponte.

A seguir o gráfico de média de umidade relativa do ar, do transecto C, nos registros de todas as campanhas.

Gráfico 44 - Média dos valores de umidade relativa do ar e locais de destaque durante a coleta de dados no transecto C, de todas as campanhas.



Fonte: Autor

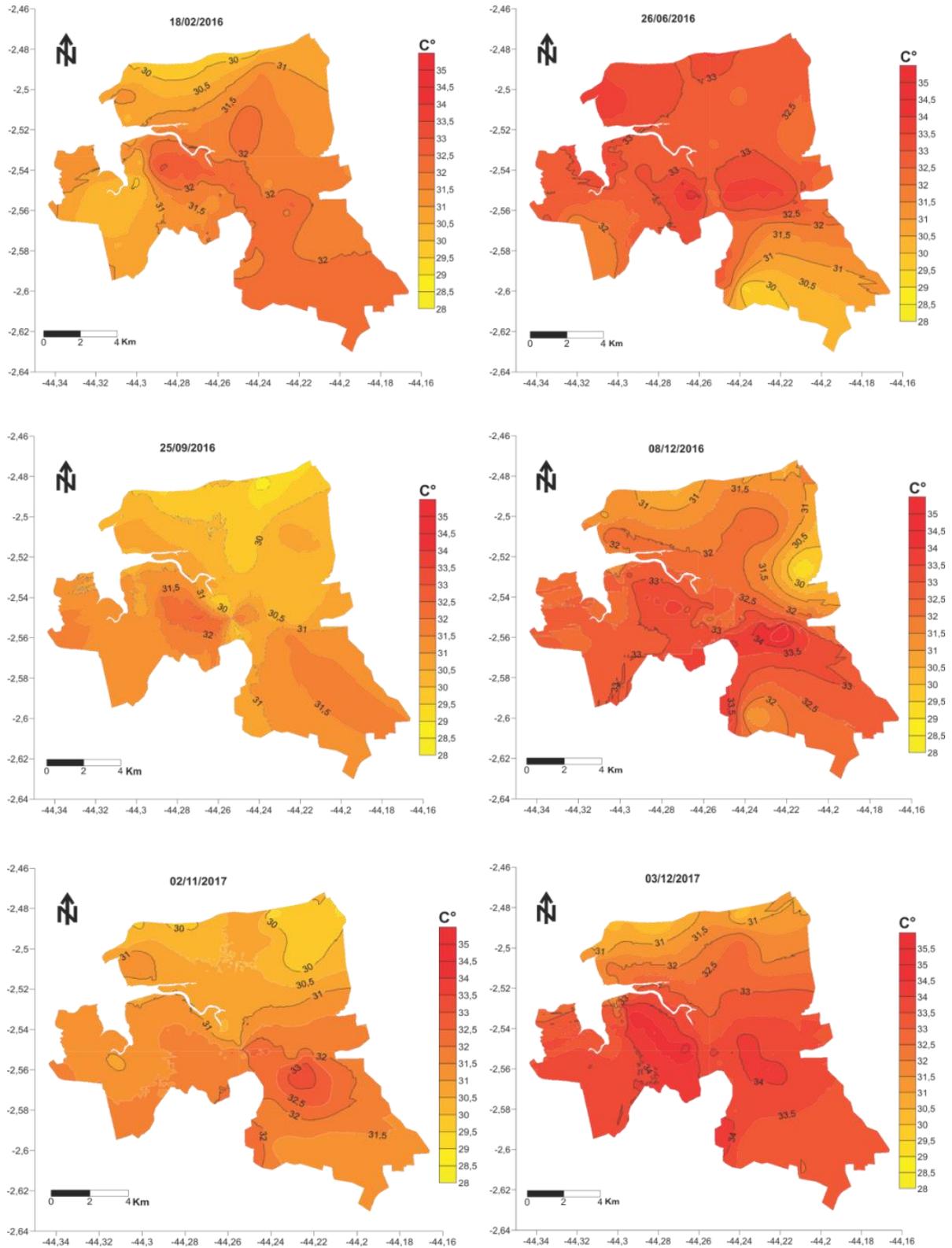
A representação gráfica da média de umidade relativa do ar no transecto C indicou que a proximidade com o mar na avenida litorânea influenciou nos valores de umidade do ar, elevando-os. A média registrada em todo o transecto foi de 66,9 %, a maior entre todos os transectos, indicando uma variabilidade de 9,8 % de umidade relativa do ar. A menor média registrada foi de 62,6 %, próximo do centro da cidade, e a maior média com 72,4 % na Avenida Litorânea.

#### 5.4.7 Representação espacial da distribuição da temperatura e umidade das campanhas

Esta representação cartográfica que sintetiza os dados coletados nos três transectos A, B e C, em todas as datas de realização das campanhas, tornou possível visualizar espacialmente como se distribui a temperatura e a umidade relativa do ar no espaço urbano de São Luís. Para a elaboração cartográfica utilizamos do software Surfer 13, empregando o método de krigagem de interpolação de dados para criar as isoterma.

São apresentados a seguir (Mapa 20), a representação cartográfica dos dias das campanhas envolvendo os dados dos três transectos e a síntese com as médias de temperatura do ar e umidade relativa do ar para a cidade de São Luís.

Mapa 20 - Distribuição espacial geográfica da temperatura na zona urbana de São Luís nos dias de realização das campanhas de coleta de dados de todos os transectos.

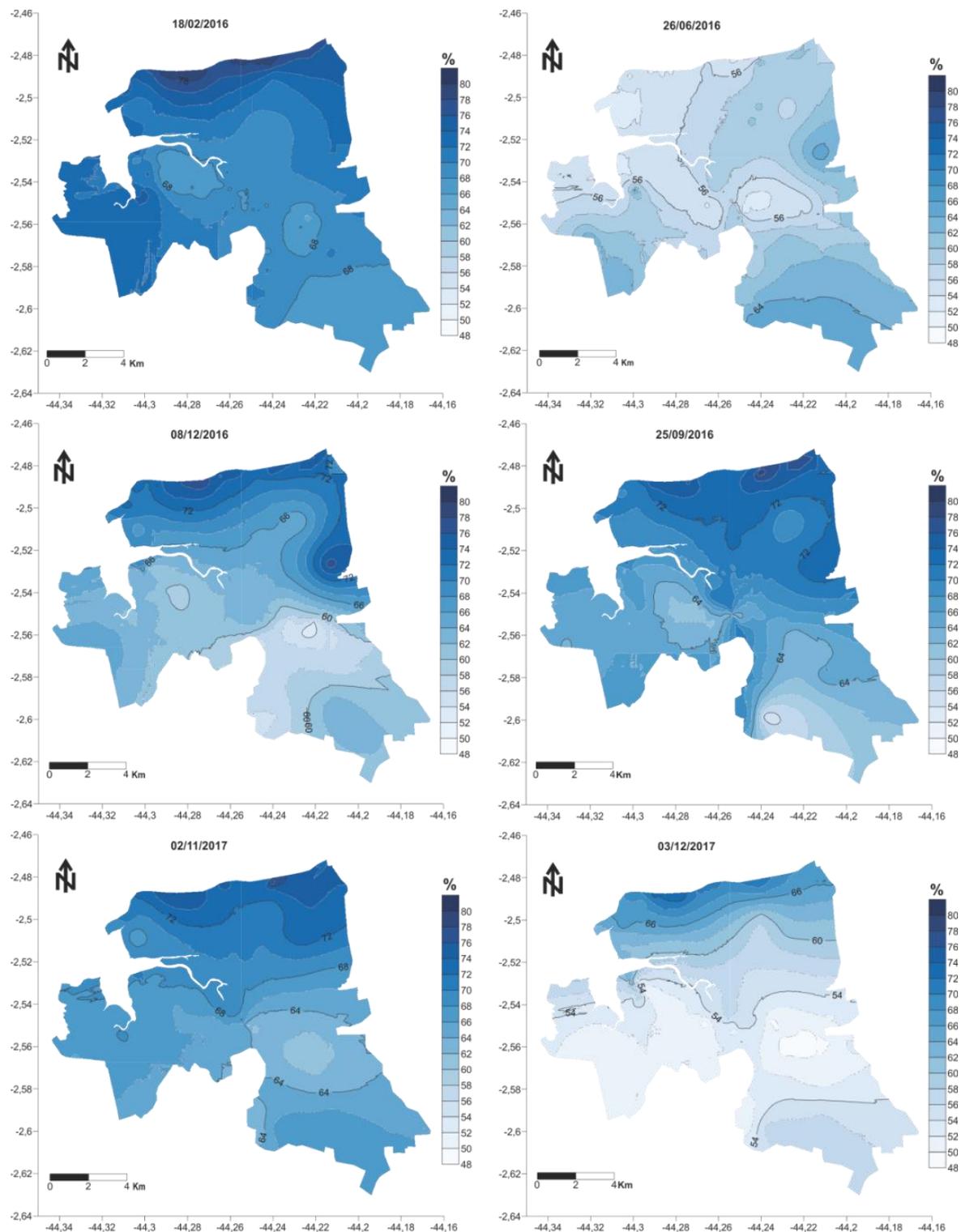


Fonte: Autor

Análises visuais indicaram que, de modo geral, as áreas em estudo nos dias das campanhas, apresentaram que os bairros mais próximos da orla litorânea são os que registram as menores temperaturas do ar enquanto as áreas localizadas mais distantes da orla, em bairros mais centrais da mancha urbana, são os que apresentam as maiores temperatura do ar. Importante também destacar que na representação do dia 26/06/2016 foi o único dia em que as temperaturas na orla litorânea não foram menores que na parte central da mancha urbana, os valores indicaram uma variabilidade de 3°C a mais na orla litorânea.

A seguir nas ilustrações do mapa 21, as representações cartográficas dos valores de umidade relativa do ar registradas nos dias de realização das campanhas de coleta de dados.

Mapa 21 - Distribuição espacial geográfica da umidade relativa do ar da zona urbana de São Luís nos dias de realização das campanhas de coleta de dados de todos os transectos.



Fonte: Autor

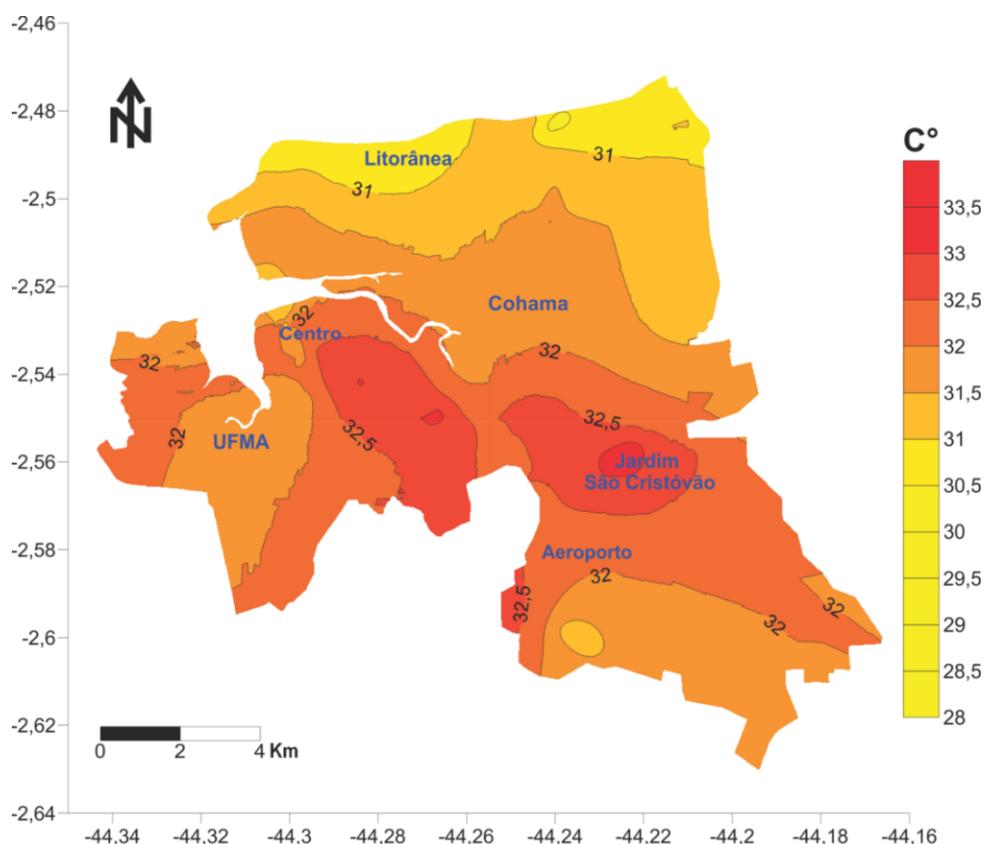
A partir de interpretações visuais foi possível constatar a grande variabilidade que ocorre na umidade relativa do ar dentro do espaço urbano entre os dias de realização das campanhas. Destacamos o dia 18/02/2016 como o de maior umidade relativa dentro da

mancha urbana e o dia 26/06/2016 como o dia que representou os menores valores de umidade relativa.

#### 5.4.8 Campo térmico e higrométrico da cidade de São Luís

Com objetivo de uma representação cartográfica que conjugasse todos os dados coletados em todas as campanhas, foram produzidos os mapas 22 e 23 que representam a síntese da temperatura média do ar e da umidade relativa do ar da cidade de São Luís.

Mapa 22 - Campo térmico da cidade de São Luís



Fonte: Autor

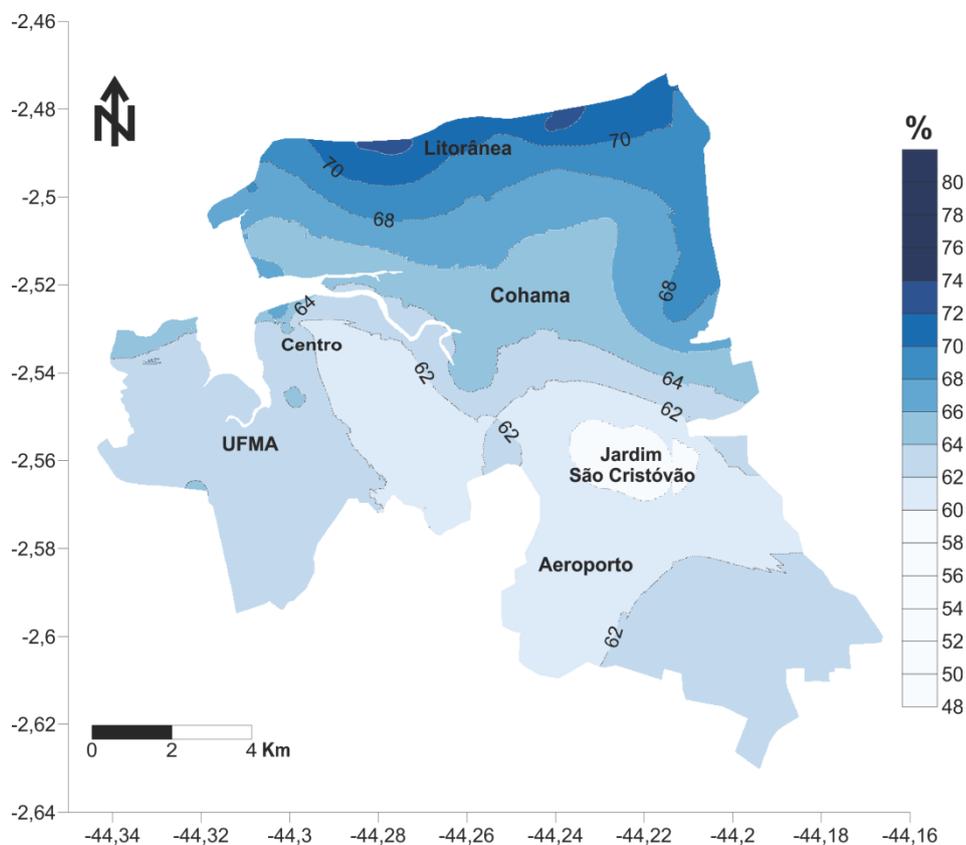
Ao se promover a comparação visual entre as imagens termais e a síntese da temperatura do ar da área em estudo, constatamos que as imagens por sensoriamento remoto apresentaram resultados bastante similares aos valores de distribuição espacial da temperatura do ar, sendo, portanto também, mais uma confirmação de que a técnica de sensoriamento remoto com seus valores de temperatura da superfície (dos alvos) representa uma técnica que auxilia nos estudos de temperatura do clima urbano de uma cidade.

Como destaque identificamos que a orla litorânea da cidade é a que apresentou as menores médias de temperatura do ar. O mapa do campo térmico da cidade também confirma que a área do centro da cidade, apesar de ser uma região de ampla superfície urbanizada e com pequena cobertura vegetativa, não é a região mais quente da cidade, ou seja, a região que apresentou as maiores temperaturas foram os bairros localizados mais na parte central da mancha urbana, com destaque para o bairro Jardim São Cristóvão, que possui superfície de grande cobertura urbanizada e de pouca vegetação, com função urbana caracterizada por residências e comércios e de intenso fluxo de automóveis e pessoas. De modo geral identificamos certo alinhamento de direção sudeste – noroeste de temperaturas mais elevadas, que são geradas no eixo que se inicia no bairro Jardim São Cristóvão em direção aos bairros do centro da cidade.

A representação espacial, com as médias de temperatura do ar da área em estudo, também indicou que não ocorrem variações acentuadas de temperatura em sua zona urbana, o local com as menores temperaturas registraram 31°C em média, enquanto as áreas de maior temperatura registram temperaturas de 33 °C em média, uma diferença de 2°C. De modo geral, a cidade como um todo é quente, e o vento da brisa marítima se torna o diferencial para gerar as pequenas particularizações de temperatura dentro do ambiente urbano.

A seguir a representação cartográfica do campo higrométrico da cidade de São Luís.

Mapa 23 - Campo higrométrico da cidade de São Luís



Fonte: Autor

Na representação cartográfica do campo higrométrico da cidade de São Luís observamos a influência significativa da brisa marítima na geração da umidade do ar para toda a orla litorânea, enquanto na parte central da zona urbana, entre os bairros do centro e o bairro Jardim São Cristóvão, é a região da cidade que apresentaram os menores valores médios de umidade relativa do ar. De modo geral, os valores de umidade relativa do ar, nos registros efetuados nas campanhas, apresentaram-se elevadas por toda a sua zona urbana, já que também a sua temperatura se mantém elevada por todo o conjunto urbano. A variabilidade dentro da zona urbana foi menor que 10% entre a área de maior umidade relativa e a de menor umidade relativa do ar, variação avaliada pequena.

## 5.5 CONFORTO TÉRMICO HUMANO EM ESPAÇOS ABERTOS

Estudos da qualidade ambiental e sua relação com a saúde e o bem estar da população sempre despertaram interesse para a sociedade desde há muito tempo. Pesquisas de Hipócrates no século I a.C., considerado uma das personalidades mais importantes da história da Medicina, propôs, segundo Ronney (2012), que o principal fator para a qualidade da saúde humana é a homeostase, isto é, a resultante do equilíbrio entre o homem e seu meio. Também confirmando a máxima do pensamento de Hipócrates, Batistella (2008) afirma que a relação com o ambiente é um traço característico do pensamento hipocrático do fenômeno saúde-doença e Rosen (1994) reitera que os grandes médicos gregos eram também filósofos naturais. Mais do que lidar com os problemas de saúde, procuravam entender as relações entre o homem e seu ambiente. Entre estas preocupações estava a explicação da saúde e da doença como resultantes de processos naturais e não sagrado. (BATISTELLA, 2008). Portanto, a atenção com a qualidade ambiental, com destaque, para as condições climáticas, sempre esteve no centro das atenções humanas para proporcionar condições de saúde equilibrada e saudável à população.

Em outro momento histórico na evolução dos estudos da relação de qualidade ambiental e saúde ocorreu com o advento da revolução industrial no século XVIII, este voltado para a qualidade da saúde no ambiente de trabalho. As minas de carvão na Inglaterra do séc. XVIII tornaram-se um exemplo clássico. A situação adversa, de morbidade do trabalhador no ambiente de trabalho, desencadeia na sociedade preocupações que acabaram por fazer surgir as primeiras leis de proteção aos trabalhadores e uma preocupação crescente com ambientes insalubres de trabalho.

No final do séc. XX e início do XXI, os estudos de conforto ambiental em espaços abertos voltaram também a ter a atenção dos pesquisadores em função, principalmente, do crescimento das cidades, o efeito direto do aumento das atividades econômicas urbanas (verticalização urbana acentuada, aumento da poluição pelas atividades industriais e automotivas, diminuição de áreas verdes e etc) teve como consequência ambiental o surgimento de muitas doenças na população urbana. Assim, os estudos climáticos urbanos ligados à qualidade da saúde, passaram a ter maiores destaques no meio científico, principalmente com estudos de conforto térmico humano em ambientes abertos e de poluição atmosférica nas cidades.

O conforto térmico humano é definido como a condição da mente de um indivíduo que expressa satisfação como o meio ambiente termal onde se encontra (ASHRAE, 2004). O ser humano é um animal homeotérmico, isto é, procura manter a temperatura corporal constante, variando entre 36°C e 37°C. Na proporção que as temperaturas corporais se afastam destes valores vão ocorrendo desconfortos, cujos limites extremos inferiores podem causar a morte por hipotermia e os limites extremos superiores de temperatura podem lhe causar a morte por hipertermia.

Nos estudos de conforto térmico humano compreendemos que há grandes variações culturais, fisiológicas e psicológicas para cada indivíduo, portanto, são relatadas grandes dificuldades de se encontrar a medida adequada para se determinar um modelo universal de conforto térmico humano. Apesar desta dificuldade, ocorreram várias tentativas que promoveram o surgimento de modelos preditivos de conforto térmico humano universal: Temperatura Efetiva (TE), de Houghten et al. (1923) / Vernon e Warner (1932); Temperatura Operativa (OT), de Winslow e Gagge (1937); Temperatura Efetiva/Índice de Desconforto (TE), de Thom e Bosen (1959); PMV / PPD de Fanger (1970); Physiological Equivalent Temperature (PET), de Hoppe (1999); Universal Thermal Climate Index (UTCI), da Commission 6 of International Society of Biometeorology (ISB); Thermal Sensation (TS) de Givoni e Noguchi (2000); New Wind Chill Temperature (NWCT) de Bluestein e Oszcewski (2002); Actual Sensation Vote (ASV) de Nikolopoulou (2004); e até uma desenvolvida por pesquisadores brasileiros chamada Temperature of Equivalent Perception (TEP), de Monteiro e Alucci (2008). São várias as tentativas de se criar um modelo capaz de representar com maior qualidade preditiva as sensações de conforto humano.

### **5.5.1 Escolha do índice de conforto térmico humano para espaços abertos**

Inicialmente é preciso compreender que ambientes fechados e ambientes abertos demandam metodologias diferentes em estudos de conforto térmico humano, e as características de cada um exigem que se adote o modelo preditivo mais adequado. As características do ambiente aberto em espaços urbano (geometria urbana, composição dos materiais, características da atividade econômica, presença de água, vegetação, altitude, vento) influenciam positiva ou negativamente nos microclimas na geração do conforto térmico dos pedestres. Modelos que não possuem nas suas variáveis de cálculo esta realidade tendem a apresentar resultados insuficientes.

A escolha de um modelo preditivo de índice de conforto térmico humano para ambientes externos deve, além de conter nas suas variáveis de modelagem, as características ambientais, urbanas e climáticas, e conter também os fatores fisiológicos mais significativos das pessoas. Assim, compreendemos que o estado de conforto humano é fortemente influenciado pela satisfação dos indivíduos em interação com o ambiente, aspecto que torna complexa a escolha dos limites de conforto térmico nesses ambientes, daí a importância de se encontrar um índice de conforto que leve em conta tanto os aspectos ambientais do lugar quanto das condições fisiológicas do indivíduo, pois envolve o entendimento da interação entre numerosos e diferentes parâmetros.

Nesta perspectiva, o índice que vem sendo adotado com mais eficácia para identificar as condições de conforto térmico humano em espaços abertos, dentro das várias opções de modelos preditivos, é o modelo Physiological Equivalent Temperature (PET) de Hoppe (1999). Exatamente por possibilitar a conjugação dos vários componentes ambientais do meio ambiente quanto dos fatores fisiológicos do indivíduo na determinação dos níveis de conforto humano em espaços abertos.

Segundo Andrade et al (2016), o modelo PET é o mais efetivo em realizar o efeito integrado dos parâmetros meteorológicos mais relevantes na troca de calor entre o corpo humano e o meio ambiente, levando em conta as variáveis individuais. O modelo incorpora a importante relação entre balanço de energia do corpo humano e a radiação de ondas curtas do ambiente, que são fundamentais para a determinação do conforto térmico humano. O índice PET é definido como a temperatura equivalente fisiológica para qualquer dado lugar e é equivalente à temperatura do ar na qual, num cenário típico, o balanço térmico do corpo humano é mantido com as temperaturas centrais e as da pele iguais para aquelas condições que estão sendo avaliadas, sendo o resultado apresentado na escala Celsius (NINCE et al, 2013).

Observa Hoppe (1999) que o índice PET de conforto térmico humano utiliza uma condição ambiental integral, e o balanço térmico do corpo humano é mantido com sua temperatura corporal (interna) e superficial (pele) iguais àquelas às submetidas em condições do ambiente-referência, sendo denominado de Ambiente Padrão (P). Segundo Andrade et al (2016), o Ambiente Padrão (P) é estabelecido a partir da temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) em °C, que é igual à temperatura do ar ( $T_a$ ) em °C, da velocidade do ar ( $V$ ) é igual a 0,1m/s, e

da pressão de vapor d'água ( $P_v$ ) igual a 12hPa. Para se encontrar a Temperatura Radiante Média ( $T_{rm}$ ) para os cálculos do índice PET foi utilizada a seguinte equação:

$$T_{rm} = \left[ (T_g + 273)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times V^{0,6}}{\epsilon \times D^{0,4}} \times (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273$$

Onde:

$T_{rm}$  = Temperatura radiante média (°C)

$T_g$  = Temperatura de globo (°C)

$T_a$  = Temperatura do ar (°C)

$V$  = Velocidade do vento (m/s)

$\epsilon$  = Emissividade do globo, adotando-se 0,9 (OKE, 1978).

$D$  = Diâmetro do globo (m)

Fator também importante para a escolha do modelo PET de contorto térmico foi a possibilidade de adaptação e ajustamento dos parâmetros das faixas categorizadas dos índices de conforto às condições ambientais e fisiológicas do lugar. Existe, no caso específico do modelo PET (C°), uma faixa de índice universal desenvolvida por Matzarakis e Mayer (1999) em que os pesquisadores elaboraram nove faixas de categorias relacionadas a percepção térmica e ao estresse fisiológico (Quadro 7).

Quadro 7 - Faixas do Índice PET Universal para diferentes níveis de percepção térmica.

<b>Categorias</b>	<b>PET (°C)</b>	<b>Percepção Térmica</b>	<b>Estresse Fisiológico</b>
1	Abaixo de 4	Muito frio	Extremo estresse negativo
2	4 – 8	Frio	Forte estresse negativo
3	8 – 13	Pouco frio	Moderado estresse negativo
4	13 – 18	Ligeiramente frio	Leve estresse negativo
5	18 – 23	Confortável	Não há estresse térmico
6	23 – 29	Ligeiramente quente	Leve estresse positivo
7	29 – 35	Pouco quente	Moderado estresse positivo
8	35 – 41	Quente	Forte estresse positivo
9	Acima de 41	Muito quente	Extremo estresse positivo

Fonte: Adaptado de Matzarakis e Mayer (1999).

Entendemos que as condições ambientais e climáticas de cada lugar ou região são distintas e, no caso do Brasil, mais ainda se levarmos em conta a sua dimensão territorial. A partir desta constatação e necessidade de um índice adaptado às condições do Brasil do modelo PET ( $C^\circ$ ), alguns pesquisadores brasileiros desenvolveram índices de faixas calibrados para as condições climáticas e fisiológicas da população para algumas cidades brasileiras como: São Paulo – SP por Monteiro (1999), Belo Horizonte - MG por Hirashima, et al (2011) e Salvador - BA por Andrade, et al (2016).

A utilização de um modelo de conforto térmico humano calibrado para as condições climatológicas do Brasil e fisiológicas do brasileiro, representa um grande avanço para o modelo PET em comparação a outros modelos que se utilizam de uma matriz de faixas de índices de conforto térmico humano adaptado para as condições Europeias ou Norte Americanas.

Para as faixas do índice PET, utilizadas na pesquisa e aplicadas nos estudos de conforto térmico humano para a cidade de São Luís, utilizamos como parâmetro os desenvolvidos para a cidade de Salvador - BA por Andrade et al (2016). Avaliamos que a interpolação das condições de conforto humano de São Luís do Maranhão com Salvador na Bahia é possível por além de serem cidades litorâneas e estarem dentro de uma mesma região geográfica de clima tropical, quente e úmido, possuírem condições de organização urbana e social similares.

Para se chegar às categorias identificadas no índice PET para a cidade de Salvador – BA, Andrade et al (2016) aplicou 1.435 questionários em quatro campanhas distribuídas, ao longo de um ano, para abranger as quatro estações, em duas Praças da cidade: a Praça Piedade e a Praça Cairu, com a instalação simultânea de duas estações meteorológicas portáteis. Com os dados coletados aplicaram-se cálculos estatísticos através do modelo Árvore de Decisão – AD onde segundo Andrade et al (2016) estabeleceu-se uma primeira partição, a qual não foi suficiente para discriminar as nove categorias de percepção térmica existente no índice PET universal, ou seja, as categorias de muito frio, frio, pouco frio, ligeiramente frio, não foram definidas.

Com a adoção do critério de 30% de variância máxima de AD, obteve o limite inferior para o Índice PET ( $^\circ C$ )  $\geq 34,1^\circ C$  para Muito Calor, e foi possível definir os intervalos do Índice PET ( $^\circ C$ ) de 29,4 a 34,1 $^\circ C$  e de 26,8 a 29,4 $^\circ C$ , respectivamente, para Calor e Pouco

Calor. Quanto à categoria Conforto Térmico, a AD de 30% estabeleceu como limite superior para o Índice PET ( $^{\circ}\text{C}$ )  $\leq 26,8^{\circ}\text{C}$ , sendo que o limite inferior não foi estabelecido (ANDRADE. et al, 2016). Ao final da pesquisa chegou-se a geração da seguinte tabela de calibração dos índices de conforto térmico humano em espaços abertos para a cidade de Salvador – BA (Quadro 8).

Quadro 8 - Calibração do índice PET ( $^{\circ}\text{C}$ ) para a cidade de Salvador - BA

<b>Parâmetros do Índice PET</b>	
$\geq 34,1^{\circ}\text{C}$	Muito Calor
29,4 - 34,1 $^{\circ}\text{C}$	Calor
26,8 - 29,4 $^{\circ}\text{C}$	Pouco Calor
$\leq 26,8^{\circ}\text{C}$	Conforto

Fonte: Andrade, et al (2016)

O índice PET ( $^{\circ}\text{C}$ ) de conforto térmico humano para espaços abertos vem obtendo, por parte de diversos pesquisadores no exterior e no Brasil, maior aceitação em suas pesquisas, isto ocorre, como dito anteriormente, em função do índice obter uma melhor resposta que expressa os vínculos entre as condições ambientais de um lugar com o estado fisiológico das pessoas. Do exterior, destacamos alguns trabalhos em países que adotaram o índice de conforto térmico PET ( $^{\circ}\text{C}$ ) para estudos de conforto térmico humano em espaços abertos: Chirag e Ramachandraiah (2010) na Índia; Katschner (2010) na Alemanha; Krüger et al (2013) na Holanda; Li e Chi (2014), na China; Taleghani et al (2015), na Inglaterra, entre outros.

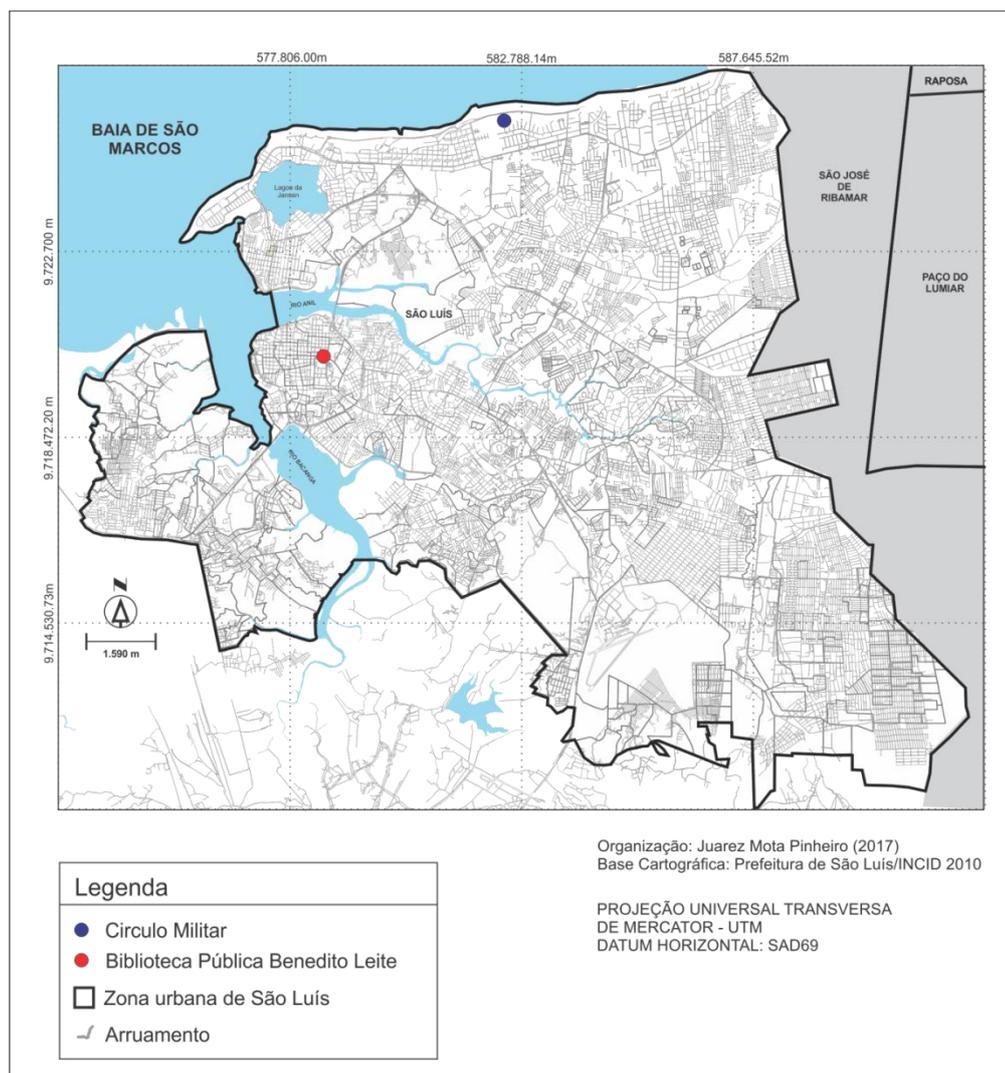
No Brasil, o índice PET, após as adaptações de calibragem do modelo às condições climáticas brasileiras, passou a se destacar em trabalhos produzidos de conforto térmico em ambientes abertos, nos quais obtive resultados satisfatórios: Shimakawa e Bueno-Bartholomei (2009) para a cidade de Presidente Prudente – SP; Dacanal et al. (2009), para a cidade de Campinas – SP; Brusantin e Fontes (2009), para a cidade de Bauru-SP; Fontes et al. (2010), em parques da cidade de São Paulo - SP, Souza (2010) na cidade de Salvador - BA; Nince et al (2013), para o campus da UFMT em Cuiabá-MT e Labaki et al (2012), em ruas no estado de São Paulo.

### 5.5.2 Localização dos pontos de coleta de dados e equipamentos utilizados

Na produção dos estudos de conforto térmico humano da cidade de São Luís foram escolhidos dois locais significativos para a pesquisa. A opção de escolha desses dois lugares ocorreu em função de dois fatores: em primeiro, pela segurança do equipamento, e segundo, pela localização estratégica para se constatar e comparar as condições de conforto térmico humano em ambientes distintos e significativos. O primeiro local escolhido foi o Centro da cidade, na Biblioteca Pública Benedito Leite, chamado de Ponto 1, e o segundo local escolhido foi na Avenida Litorânea no Círculo Militar, chamado Ponto 2. Os dois pontos encontravam-se a uma distância em linha reta de 6.250 metros.

A seguir são apresentados a localização espacial e cartográfica onde foram instalados os equipamentos dentro da zona urbana de São Luís. (Mapa 24 e Quadro 9).

Mapa 24 - Localização dos pontos de coleta de dados da estação meteorológica portátil



Fonte: Autor

Quadro 9 - Coordenadas UTM dos pontos de coleta de dados

Ponto	Local	Coordenadas UTM	
1	Biblioteca Pública Benedito Leite - Centro	9720407,37 m S	578345,51 m E
2	Círculo Militar – Av. Litorânea	9725387,69 m S	582122,11 m E

Fonte: Autor

O ponto 1 (vermelho), localizou-se no estacionamento da Biblioteca Pública Benedito Leite (Foto 11), no centro da cidade, local aberto e cercado por grades, com segurança privada do prédio, muito próximo da principal praça do centro da cidade, a Praça Deodoro.

Foto 11 - Fotos e imagem aérea da Biblioteca Pública Benedito Leite, São Luís – MA



Fonte: Autor e Google Earth Pro

O Ponto 2 (azul) localizou-se no Círculo Militar (Foto 12), na Av. Litorânea, pertencente ao 24º Batalhão de Infantaria Leve, local amplo e aberto a cerca de 20 metros da linha de praia, poucas construções no local, guardado por soldados do Exército.

Foto 12 - Fotos e imagem aérea do Círculo Militar de São Luís – MA



Fonte: Autor e Google Earth Pro

Destaque também sobre a localização dos pontos de coleta de dados, está em relação a direção dos ventos, como em São Luís a predominância é de ventos de nordeste a posição dos equipamentos permitiu uma aprimorada análise investigativa de como chega o vento na sua condição de intensidade e direção no centro da cidade.

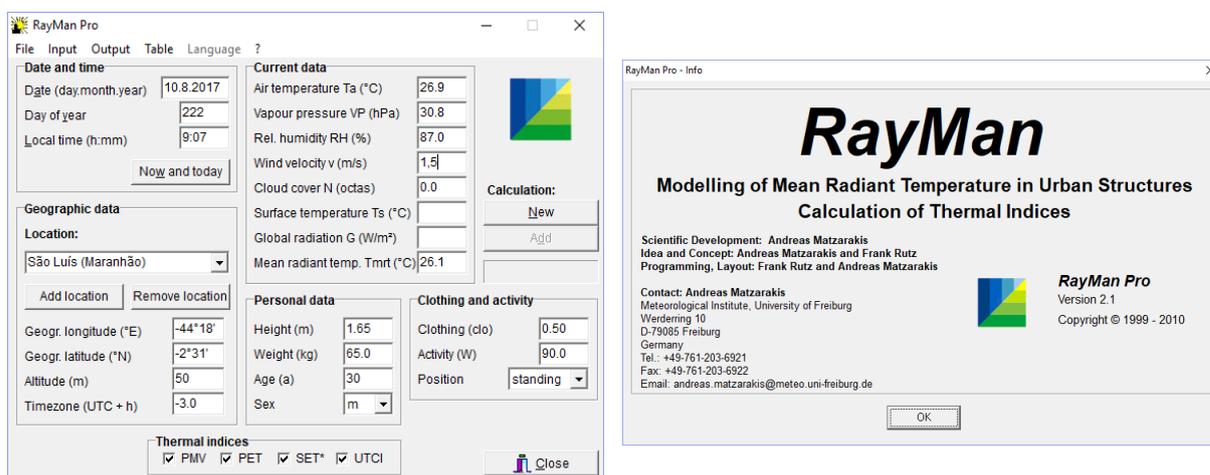
Para a coleta de dados atmosféricos nas campanhas, utilizamos da estação meteorológica portátil, anteriormente identificada, com os seguintes equipamentos: um termohigrômetro digital, um termômetro de globo digital na cor cinza (15 cm de diâmetro) utilizado para os cálculos de TRM e um anemômetro digital que mediu a velocidade e direção do vento, todos acoplados a um datalogger (Foto 4, pág. 78).

#### 5.5.2.1 Software RayMan Pro V2.1

Outro recurso utilizado para a caracterização do conforto térmico humano em São Luís foi o software RayMan Pro V.2.1, desenvolvido por Matzarakis e Rutz (2010) (Figura 31). Este programa permitiu realizar os cálculos e determinar os valores preditivos do modelo PET. Nele foram inseridos os dados de coordenadas geográficas, altitude (m), hora UTC Brasil/MA (-3), temperatura do ar ( $T_a$ ) °C, umidade relativa do ar (UR) %, velocidade do

vento ( $v$ ) m/s, temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) em  $^{\circ}\text{C}$  já calculada, o índice vestuário (CLO), atividade metabólica ( $W$ ) e atividade corporal.

Figura 31 - Software RayMan Pro Version 2.1.



Fonte: Autor

### 5.5.3 Condições atmosféricas nos dias das campanhas

Em função da pesquisa dispor de apenas uma estação meteorológica portátil, os dados atmosféricos coletados dos pontos nos dias das campanhas, somente foram utilizados na pesquisa por apresentarem as mesmas condições atmosféricas diárias de padrões atmosféricos pariformes durante os dois dias seguidos da campanha. Deste modo, o principal critério de escolha, dos dias de campanha de coleta de dados pretendeu, sobretudo, as condições de estabilidade atmosférica.

A estação portátil permaneceu, em cada ponto de coleta de dados, por 24 horas completas, sem que ocorressem interferências. As cinco campanhas consideradas aceitas para a pesquisa ocorreram nos seguintes dias:

Quadro 10 - Datas das campanhas de coleta de dados

Campanhas	Biblioteca Benedito Leite (Ponto 1)	Circulo Militar (Ponto 2)
1	21/03/2016	22/03/2016
2	29/06/2016	30/06/2016

3	20/09/2016	21/09/2016
4	24/08/2017	25/08/2017
5	25/10/2017	26/10/2017

Fonte: Autor

Para a constatação das condições atmosféricas do tempo nos dias das campanhas, reproduzimos os dados atmosféricos mais significativos gerados pela estação meteorológica do INMET de São Luís (Quadro 11).

Quadro 11 - Estados atmosféricos nos dias das campanhas para São Luís

Campa-nha	Data	Chuvas (mm)	Temp. Máx. (°C)	Variabilidade (°C)	Temp. Mín. (°C)	Variabilidade (°C)	Vel. Média do Vento (m/s)	Variabilidade (m/s)
1	21/03/2016	0	32,5	1,2	24,1	1,1	2,5	0,6
	22/03/2016	0	31,3		25,2		1,9	
2	29/06/2016	0	33,3	0,6	24,0	0,4	2,2	0,3
	30/06/2016	0	32,7		23,6		1,9	
3	20/09/2016	0	33,2	0,2	24,9	0,7	2,6	0,1
	20/09/2016	0	33,4		24,2		2,7	
4	24/08/2017	0	32,8	0,8	24,7	1,0	2,7	0,5
	25/08/2017	0	33,6		23,7		2,2	
5	25/10/2017	0	34,8	0,4	25,8	0,4	2,4	0,4
	26/10/2017	0	34,4		26,2		2,8	

Fonte: BDMEP/INMET

Ao se comparar os pares de dias de realização das campanhas com os parâmetros atmosféricos registrados pela estação do INMET, constatamos que em nenhum dos dias das campanhas ocorreu pluviosidade, e que a maior variabilidade de temperatura máxima ocorreu na campanha 1 e foi de 1,2°C. Quanto a maior variabilidade de temperatura mínima, esta ocorreu também na campanha 1 apresentando valor de 1,1°C. Quanto à velocidade média do vento, não ocorreu em nenhum dos pares de dias das campanhas, variabilidade que chegasse a 1 m/s de velocidade. Concluimos, portanto, que a variabilidade dos elementos atmosféricos durante os dias de campanhas foram de valores relativamente baixos, indicando a ocorrência de padrões atmosféricos de estabilidade e confirmando a validade dos dados coletados pela pesquisa.

### 5.5.4 Parâmetros de resistência térmica das vestes e das atividades comportamentais

Nos dados de entrada do software para a geração dos valores de PET, utilizaram-se os seguintes padrões para vestimentas (Tabela 20):

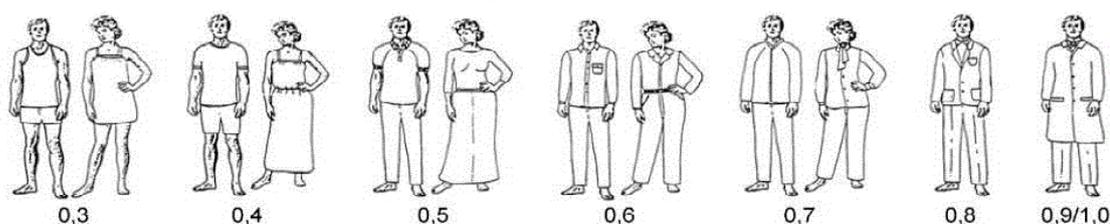
Tabela 20 - Índices de resistência térmica para vestimentas utilizadas na pesquisa

Ponto	Localização	Índice de resistência (CLO)
1	Centro	0,5
2	Litorânea	0,4

Fonte: Autor

Para a escolha dos valores de índice CLO para os pontos 1 e 2, baseamo-nos na identificação visual observada quando da instalação dos equipamentos. No ponto 1, por ser o centro da cidade, as pessoas foram caracterizadas por vestimentas leves, ou seja, cuecas ou calcinhas, calças longas leves, camisas abertas no pescoço com mangas curtas, meias e calçados leves. No ponto 2, por ser na orla litorânea, muito próximo à praia, as pessoas foram caracterizadas com vestimenta leve de verão, cuecas ou calcinhas, short, bermuda ou saia, camisa leve sem manga ou camiseta, chinelo ou tênis (Figura 32).

Figura 32 - Índice de resistência térmica para vestimentas - CLO: Unidade de medição da resistência térmica da roupa. (1 clo = 0.155m<sup>2</sup> C°/W)



Fonte: ISO 9920 (1995)

Quanto aos parâmetros físicos e de atividades corporais, foram utilizados os padrões expressos na tabela 21.

Tabela 21 - Parâmetros fisiológicos utilizados no cálculo do índice PET para São Luís - MA

Parâmetros	Ponto 1 - Centro (Biblioteca Benedito Leite)	Ponto 2 - Av. Litorânea (Circulo Militar)
Atividade Metabólica (W)	90 w (andando)	90 w (andando)
Condição de atividade física	em pé	em pé
Altura	1,65 m	1,65 m
Peso	65 kg	65 kg
Idade média	30 anos	30 anos

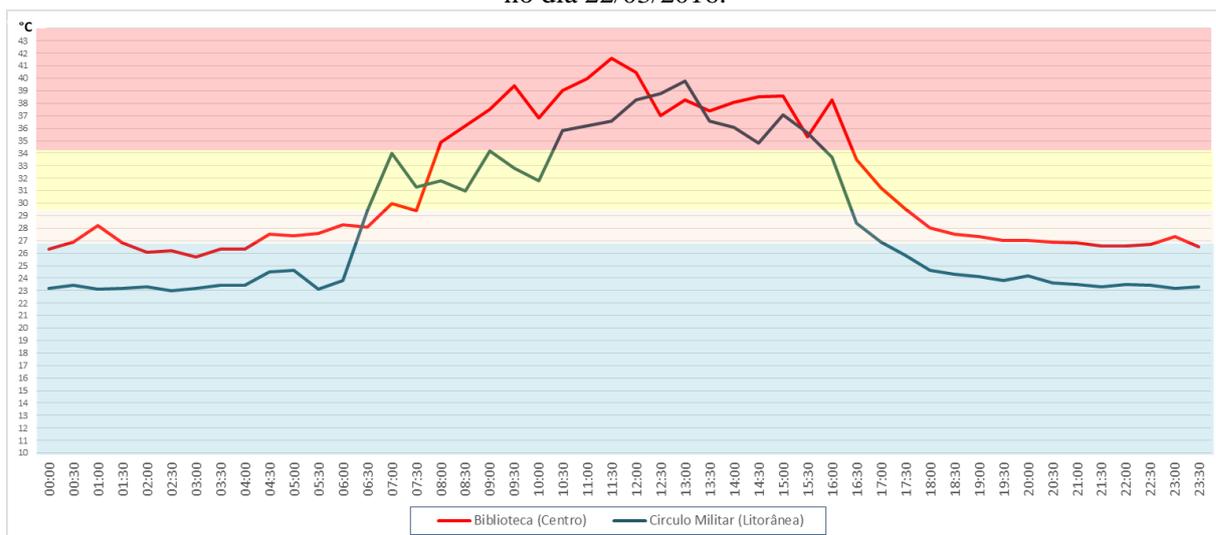
Fonte: Autor

### 5.5.5 Análise das condições de conforto térmico na cidade de São Luís

Após a coleta de dados atmosféricos nos pontos determinados, ocorridos a cada 30 minutos, para permitirem um acompanhamento contínuo e sequencial das condições de conforto térmico, efetuamos os cálculos de TRM e logo após os cálculos de PET através software. A apresentação dos resultados ocorreu na forma gráfica com a opção de cores por faixas para uma melhor representação. Também foram gerados gráficos de velocidade do vento coletados nos dias dos experimentos pelas estações, que também auxiliaram nas análises das condições de conforto térmico.

#### 5.5.5.1 Campanha 1 - Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 21/03/2016 e Litorânea (Círculo Militar) no dia 22/03/2016.

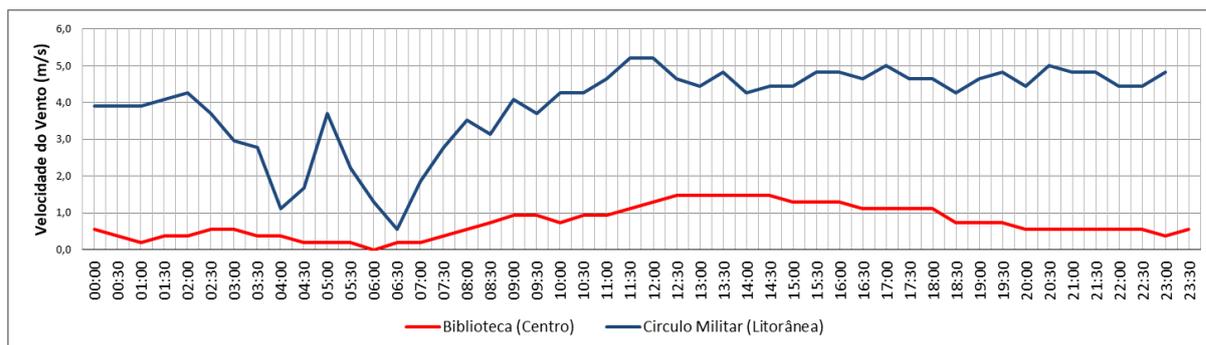
Gráfico 45 - Gráfico de distribuição das faixas de conforto térmico do índice PET (C°) identificados para os bairros do Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 21/03/2016 e Litorânea (Círculo Militar) no dia 22/03/2016.



Faixas do Índice PET	
$\geq 34,1^{\circ}\text{C}$	Muito Calor
$29,4 - 34,1^{\circ}\text{C}$	Calor
$26,8 - 29,4^{\circ}\text{C}$	Pouco Calor
$\leq 26,8$	Conforto

Fonte: Autor

Gráfico 46 - Gráfico de Velocidade do vento registrado nos dias dos experimentos da campanha 1



Fonte: Autor

Uma das primeiras constatações verificadas nesta campanha foi de que no centro da cidade é onde as ocorrências de valores de conforto térmico (muito calor, calor), apresentam as condições de maior permanência nestas faixas ao longo do dia, em comparação com a Litorânea. Outro dado constatado nesta campanha é de que, mesmo no período noturno, no horário das 18h00min às 6h00min, o centro da cidade apresenta condições sempre piores de conforto térmico em relação a Litorânea. A campanha 1 também revelou que os maiores registros nos índices de condições de muito calor, dos parâmetros do PET, ocorreram no centro da cidade, chegando a um limite máximo de 41,6°C às 11h:30min, enquanto na Litorânea o seu maior valor de conforto térmico foi de 39,8°C às 13h:00min. A Litorânea apresentou os menores valores com 23,0°C às 2h:30min enquanto no centro da cidade o menor valor foi de 25,7°C às 3h:00min. Apesar de ocorrer em horários diferentes, os dados registrados indicaram uma variabilidade significativa de 18,6°C entre o índice de maior valor para o de menor valor. É também no centro da cidade, que registramos os maiores valores de média de vinte e quatro horas de coleta de dados com 31,3°C de índice de conforto térmico, enquanto na Litorânea foram registrados o valor médio, em vinte e quatro horas, de 28,5°C, uma diferença de 2,8°C PET.

Outro indicador apresentado na campanha está relacionado ao valor de velocidade média do vento dentro das vinte e quatro horas de coleta de dados. O centro teve uma velocidade média registrada de 0,7 m/s, enquanto na Litorânea apresentou uma velocidade média de 3,9 m/s. Este registro corrobora com a literatura científica que reconhece a importante relação existente entre o vento e a geração maior de conforto térmico em cidades de clima tropical quente e úmido. O vento registrado durante a campanha 1, revelou indicativo de que a sua presença ou ausência influencia diretamente os valores de conforto térmico nos espaços abertos da cidade de São Luís.

Com objetivo de apoiar ainda mais nas análises, foi produzido a quadro 12, no qual é identificada a distribuição das horas e minutos de permanência das condições de conforto térmico humano em cada uma das faixas do índice PET na campanha 1.

Quadro 12 - Número de horas em cada faixa de condições de conforto identificados na campanha 1.

	Biblioteca (Centro)	Circulo Militar (Litorânea)	Diferença em horas
<b>Muito Calor</b>	08h30min	05h30min	+03h00min
<b>Calor</b>	02h30min	04h00min	-01h30min
<b>Pouco Calor</b>	06h00min	01h30min	+4h30min
<b>Conforto</b>	07h00min	13h00min	-7h00min

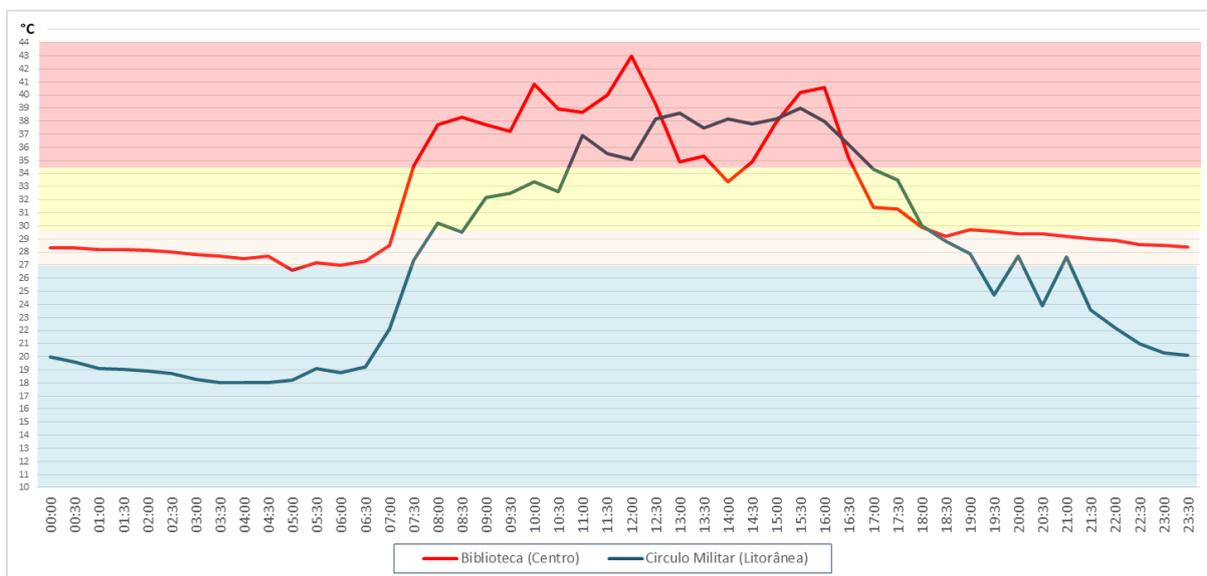
Fonte: Autor

Com a tabela foi possível verificar que o Centro da cidade de São Luís apresentou um total de 11h00min (8h30min + 2h30min) de índice de conforto térmico de muito calor e calor, enquanto na Litorânea expôs um total de 9h30min (5h30min + 4h00min) de conforto térmico de muito calor e calor. Para as faixas de conforto e pouco calor, no centro, registraram um total de 13h00min (7h00min + 6h00min), enquanto na Litorânea apresentou um total de 14h30min (13h00min + 1h30min). Nesta campanha, foi possível determinar que o Centro da cidade, apresentou menor valor médio de velocidade do vento e uma maior quantidade de horas de condições de conforto térmico de calor e muito calor em relação a Litorânea com uma diferença de 1h30min a mais, enquanto as faixas de pouco calor e conforto a Litorânea apresentou 1h30min a mais nesta condição.

Destacamos também que ocorreram em apenas em dois momentos, às 7h00min e às 13h00min, picos de aumento de valores de conforto térmico por parte da Av. Litorânea em relação ao Centro da cidade, observando que ainda assim permaneceram os dois lugares dentro da mesma faixa térmica de Conforto. É possível correlacionar com o gráfico de velocidade do vento e verificar que na Av. Litorânea o vento diminuiu muito a sua velocidade no intervalo da hora das 7h00min e ocorreu um aumento de velocidade no intervalo das 13h00min no centro da cidade.

### 5.5.5.2 Campanha 2 - Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 29/06/2016 e Litorânea (Círculo Militar) no dia 30/06/2016.

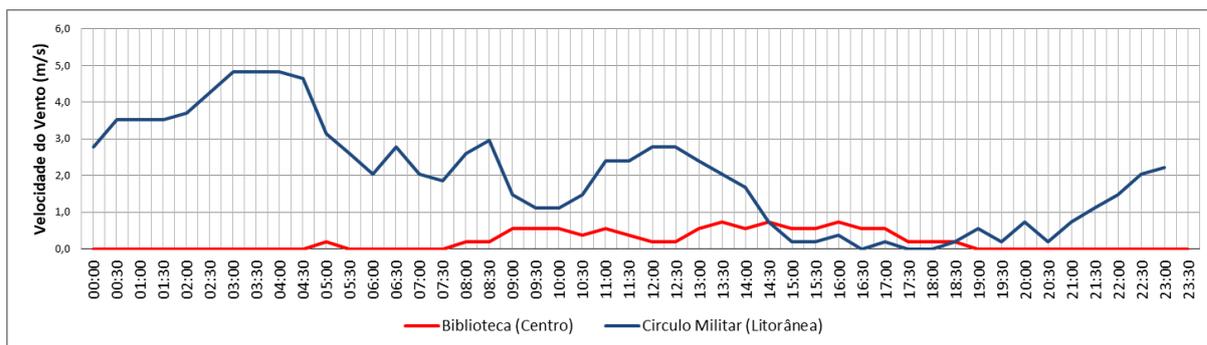
Gráfico 47 - Gráfico de distribuição das faixas de conforto térmico do índice PET (C°) identificados para os bairros do Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 29/06/2016 e Litorânea (Círculo Militar) no dia 30/06/2016.



Parâmetros do Índice PET	
$\geq 34,1^{\circ}\text{C}$	Muito Calor
$29,4 - 34,1^{\circ}\text{C}$	Calor
$26,8 - 29,4^{\circ}\text{C}$	Pouco Calor
$\leq 26,8$	Conforto

Fonte: Autor

Gráfico 48 - Gráfico de Velocidade do vento registrado nos dias dos experimentos da campanha 2



Fonte: Autor

A campanha 2 indicou que o Centro da cidade permanece com os maiores valores de índice de conforto térmico humano em comparação com a Litorânea, sua média dentro das vinte e quatro horas de registro apresentou valores de  $32,2^{\circ}\text{C}$  de PET, enquanto na Litorânea

apresentou valores médios de 27,5°C de PET, uma diferença de 4,7°C de PET. Foi também no Centro que foi registrado o maior valor de conforto térmico com 43°C de PET às 12h00min e o menor valor registrado na campanha foi na Litorânea com 18°C de PET das 3h30min às 4h30min, apresentando uma variabilidade de expressiva de 25°C de PET.

Com relação ao vento, os registros da campanha indicaram também menor velocidade média no Centro em comparação com a Litorânea com 0,2 m/s e 2,0 m/s respectivamente. O registro interessante de se observar é que entre às 14h30min e 18h30min, o vento na Litorânea teve uma redução significativa de velocidade, chegando mesmo a ser menor que no centro da cidade, o que se refletiu também nos valores de conforto térmico, determinando que havia, nestes horários, condições melhores de conforto térmico no Centro em relação a Litorânea.

Com o quadro 13, identificamos a distribuição das horas e minutos de permanência das condições de conforto térmico humano em cada uma das faixas do índice PET na campanha 2.

Quadro 13 - Número de horas em cada faixa das condições de conforto identificados na campanha 2.

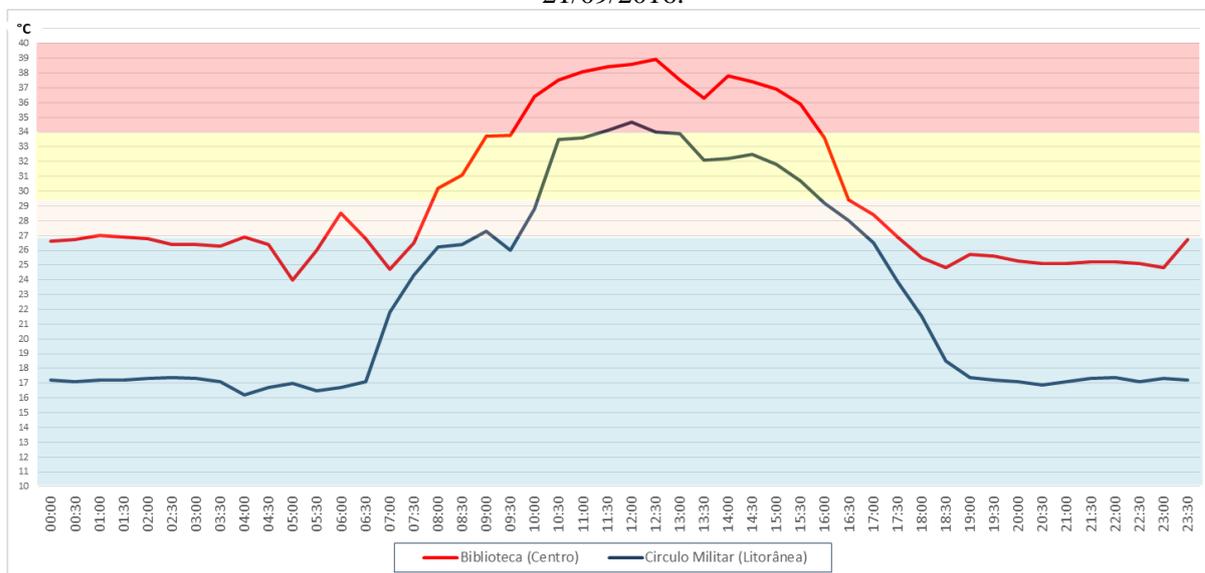
	Biblioteca (Centro)	Círculo Militar (Litorânea)	Diferença em horas
<b>Muito Calor</b>	09h00min	06h30min	+02h30min
<b>Calor</b>	04h00min	04h00min	0min
<b>Pouco Calor</b>	10h30min	02h30min	+8h00min
<b>Conforto</b>	00h30min	11h00min	-1h30min

Fonte: Autor

Na tabela é possível verificar que o Centro da cidade de São Luís apresentou um total de 13h00min (9h00min + 4h00min) de índice de conforto térmico de Muito Calor e Calor, enquanto na Litorânea permaneceu um total de 10h30min (6h30min + 4h00min) de conforto térmico de Muito Calor e Calor. Para as faixas de Conforto de Pouco Calor, no Centro, registraram um total de 11h00min (10h30min + 0h30min), enquanto na Litorânea apresentou um total de 13h30min (11h00min + 2h30min). Os valores identificados reafirmam a condição de mais horas de índices de Muito Calor e Calor para o Centro da cidade e de condições mais agradáveis de conforto térmico na Litorânea.

### 5.5.5.3 Campanha 3 - Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 20/09/2016 e na Litorânea (Círculo Militar) no dia 21/09/2016.

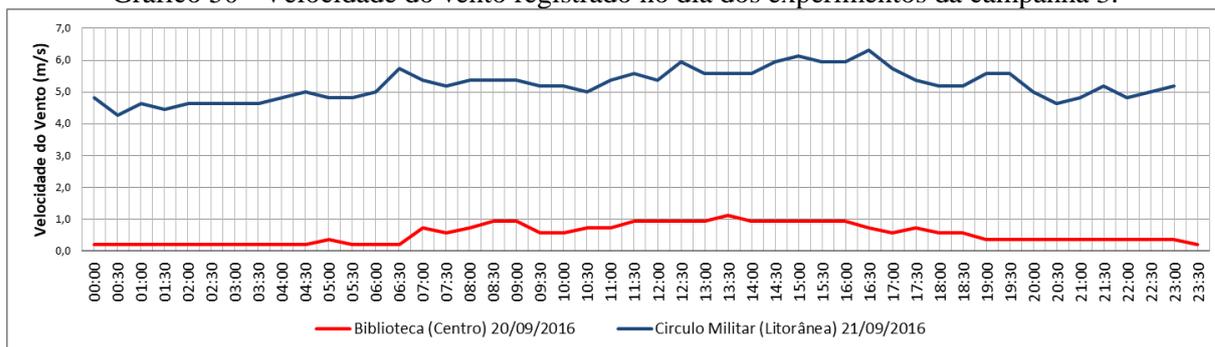
Gráfico 49 - Valores de conforto térmico encontrados utilizando-se índice PET para os bairros do Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 20/09/2017 e na Litorânea (Círculo Militar) no dia 21/09/2016.



Parâmetros do Índice PET	
$\geq 34,1^{\circ}\text{C}$	Muito Calor
$29,4 - 34,1^{\circ}\text{C}$	Calor
$26,8 - 29,4^{\circ}\text{C}$	Pouco Calor
$\leq 26,8$	Conforto

Fonte: Autor

Gráfico 50 - Velocidade do vento registrado no dia dos experimentos da campanha 3.



Fonte: Autor

Nesta campanha, os dados coletados demonstram que o Centro da cidade permanece com valores de índices de conforto térmico sempre maior que a Litorânea. Dentro das vinte e quatro horas, não ocorreu em nenhum momento a Litorânea apresentar valores de conforto térmico maior que o Centro. Também é possível correlacionar com a velocidade do vento nos dias de coleta de dados, que apresentou a Litorânea sempre com ventos em maior

velocidade que o Centro. É possível também destacar que nesta campanha, somente entre os horários de 11h30min e 12h00min é que os valores de conforto térmico na Litorânea atingiram a escala de Muito Calor.

A média de índice de conforto térmico para o Centro foi de 29,7° C de PET e a Litorânea de 22,9° C de PET, uma diferença média de 6,8°C de PET. O Centro também apresentou o maior valor de índice PET com 38,9° no horário das 12h30min e o menor valor registrado foi encontrado na Litorânea com 16,2°C de PET no horário das 4h00min, apresentando uma variabilidade de 22,7°C de PET.

Com relação ao vento, os valores registrados indicaram certa homogeneidade de velocidade, tanto na Litorânea quanto no Centro; a Litorânea com ventos sempre em maior velocidade que o Centro. A média registrada na Litorânea foi de 5,2 m/s e no Centro de 0,5 m/s.

Quadro 14 - Número de horas em cada faixa das condições de conforto identificados na campanha 3.

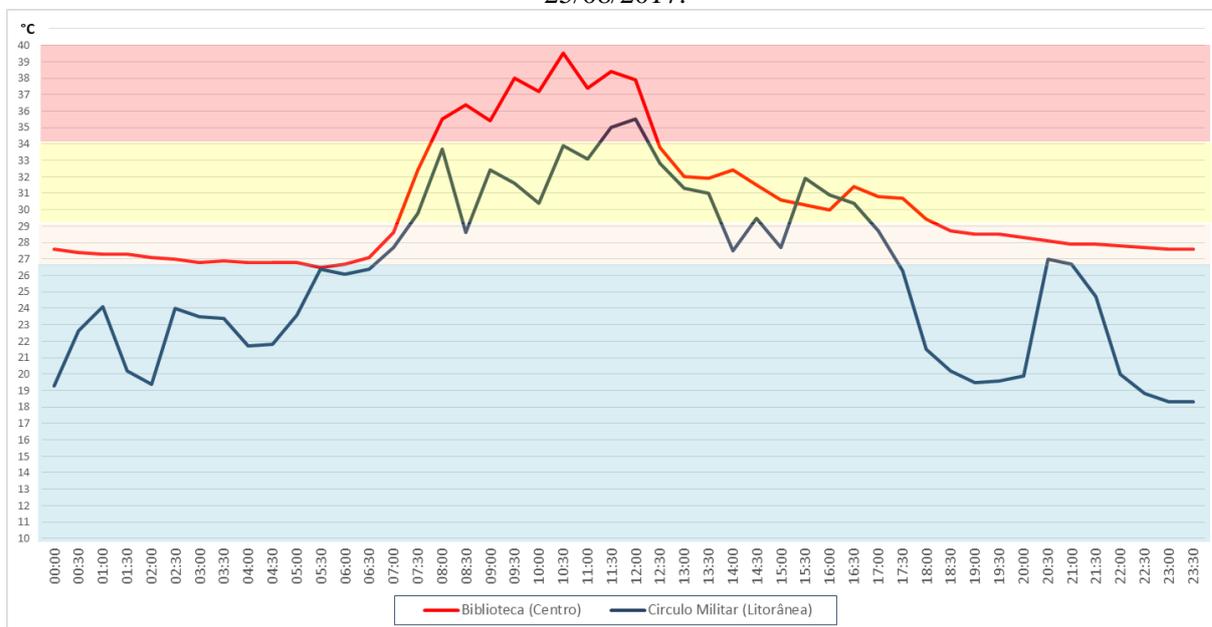
	Biblioteca (Centro)	Circulo Militar (Litorânea)	Diferença em horas
<b>Muito Calor</b>	06h00min	01h00min	+05h00min
<b>Calor</b>	03h00min	04h30min	-01h30min
<b>Pouco Calor</b>	04h00min	02h00min	+2h00min
<b>Conforto</b>	11h00min	16h30min	-5h30min

Fonte: Autor

Com a Tabela 5 foi possível constatar que na campanha 3 o Centro da cidade de São Luís apresentou um total de 09h00min (6h00min + 3h00min) de índice de conforto térmico de Muito Calor e Calor, enquanto na Litorânea registrou um total de 5h30min (1h00min + 4h30min) de conforto térmico de Muito Calor e Calor, apresentando, portanto, uma diferença de 3:30 horas. Para as faixas de Conforto e Pouco Calor, no Centro, registraram um total de 15h00min (04h00min + 11h00min), enquanto na Litorânea apresentou um total de 18h30min (02h00min + 16h30min). Os valores identificados reafirmam a condição de mais horas de índices de Muito Calor e Calor para o Centro da cidade e de condições mais horas agradáveis de conforto térmico na Litorânea.

### 5.5.5.4 Campanha 4 - Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 24/08/2017 e na Litorânea (Círculo Militar) no dia 25/08/2017.

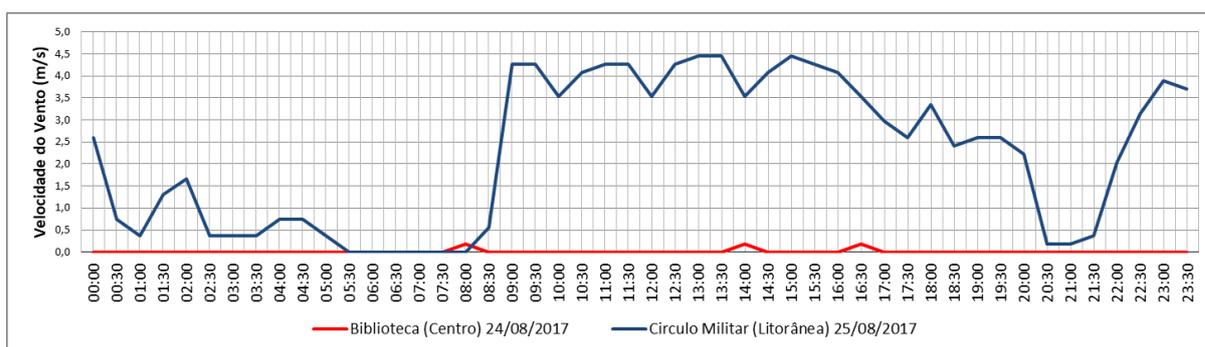
Gráfico 51 - Valores de conforto térmico encontrados utilizando-se índice PET para os bairros do Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 24/08/2017 e na Litorânea (Círculo Militar) no dia 25/08/2017.



<b>Parâmetros do Índice PET</b>	
$\geq 34,1^{\circ}\text{C}$	<b>Muito Calor</b>
$29,4 - 34,1^{\circ}\text{C}$	<b>Calor</b>
$26,8 - 29,4^{\circ}\text{C}$	<b>Pouco Calor</b>
$\leq 26,8$	<b>Conforto</b>

Fonte: Autor

Gráfico 52 - Velocidade do vento registrado no dia dos experimentos da campanha 4.



Fonte: Autor

Esta campanha reafirma a condição de maior permanência de tempo na condição de Calor e Muito Calor no Centro da cidade em comparação a Litorânea, e ocorre em apenas um momento, das 15h30min às 16h00min, em que a Litorânea apresentou condições de índices de conforto térmico maior que o Centro, porém, dentro da mesma faixa de calor.

Destacamos também que no período noturno, os valores identificados, apresentaram o Centro da cidade com número de horas muito baixo dentro da faixa de conforto.

Nesta campanha registramos também os piores índices de conforto térmico no Centro da cidade, chegando a um limite máximo de 39,5°C PET às 10h30min, enquanto na Litorânea o pior valor de conforto térmico foi de 35,5°C PET às 12h00min. A Litorânea apresentou os menores valores nos índices de PET com um valor de 18,3°C às 23h00min, enquanto no Centro da cidade o menor valor de índice PET foi de 26,5°C às 5h30min. A diferença entre o maior e o menor índice registrado foi de 21,2°C de PET, maior no Centro e menor na Litorânea respectivamente. A média de valores registrados na campanha 4 também indicaram que o Centro apresenta valores maiores de índice, com 30,4° C de PET e a Litorânea com valores médios de 26,2°C de PET em vinte quatro horas de dados, apresentando, portanto, uma diferença de 4,2°C de PET.

Quando analisamos a Gráfico 52, que registrou a velocidade do vento nos dias da campanha 4, podemos também constatar que no Centro da cidade o vento teve uma média muito baixa de velocidade, enquanto na Litorânea ocorreram variações de velocidade ao longo das vinte quatro horas. É possível também identificar que é proporcional a variabilidade do vento, com os valores de conforto térmico, isto é, quando ocorre uma velocidade menor do vento os índices de conforto térmico passam a ser piores, e quando ocorre um aumento da velocidade do vento os índices de conforto térmico melhoram. O Centro teve uma velocidade média registrada em vinte quatro horas de 0,01 m/s, enquanto na Litorânea apresentou uma velocidade média de 2,2 m/s.

Quadro 15 - Número de horas em cada faixa das condições de conforto identificados na campanha 4.

	Biblioteca (Centro)	Circulo Militar (Litorânea)	Diferença em horas
<b>Muito Calor</b>	04h30min	01h00min	+03h30min
<b>Calor</b>	06h30min	07h00min	-00h30min
<b>Pouco Calor</b>	10h00min	03h00min	+7h00min
<b>Conforto</b>	03h00min	13h00min	-10h30min

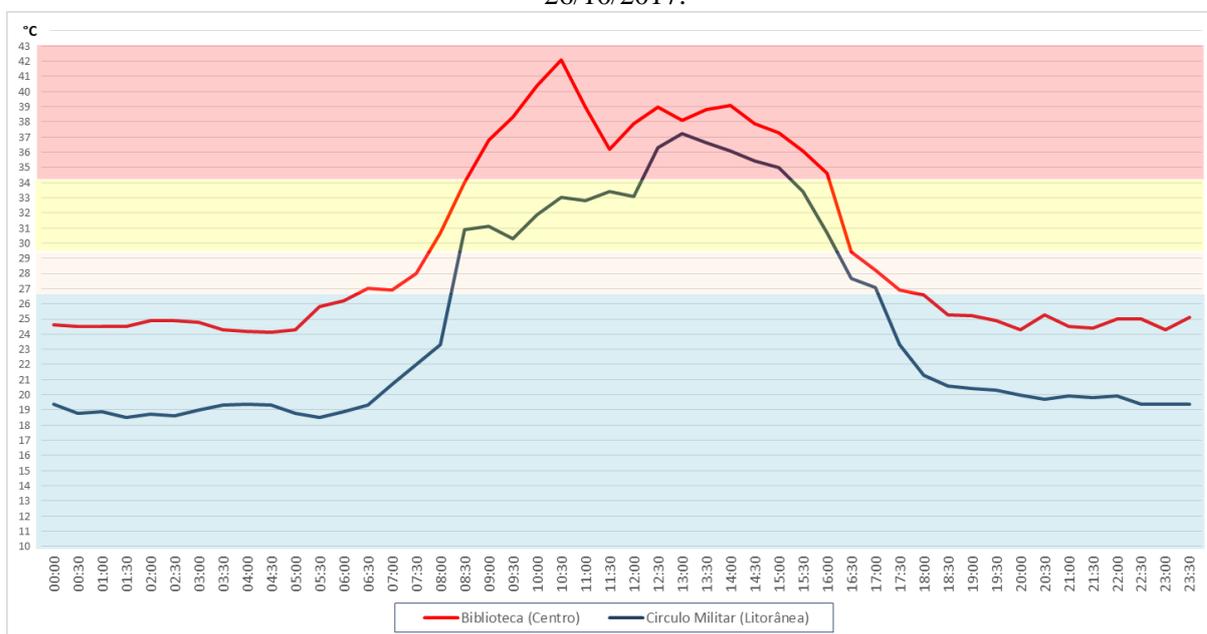
Fonte: Autor

Com o quadro 15 podemos verificar que o Centro da cidade de São Luís apresentou um total de 11h00min (4h30min + 6h30min) de índice de conforto térmico de Muito Calor e Calor, enquanto que a Litorânea registrou um total de 8h00min (1h00min + 7h00min) de conforto térmico de muito calor e calor. Para as faixas de Conforto e Pouco

Calor, no Centro, registraram um total de 13h00min (10h00min + 3h00min) enquanto na Litorânea apresentou um total de 16h00min (3h00min + 13h00min). Também nesta campanha, foi possível determinar que o Centro da cidade, por ter apresentado menores velocidade do vento, teve em função desta condição, uma maior quantidade de horas de índices de conforto térmico humano na faixa de Calor e Muito Calor.

#### 5.5.5.5 Campanha 5 - Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 25/10/2017 e na Litorânea (Círculo Militar) no dia 26/10/2017.

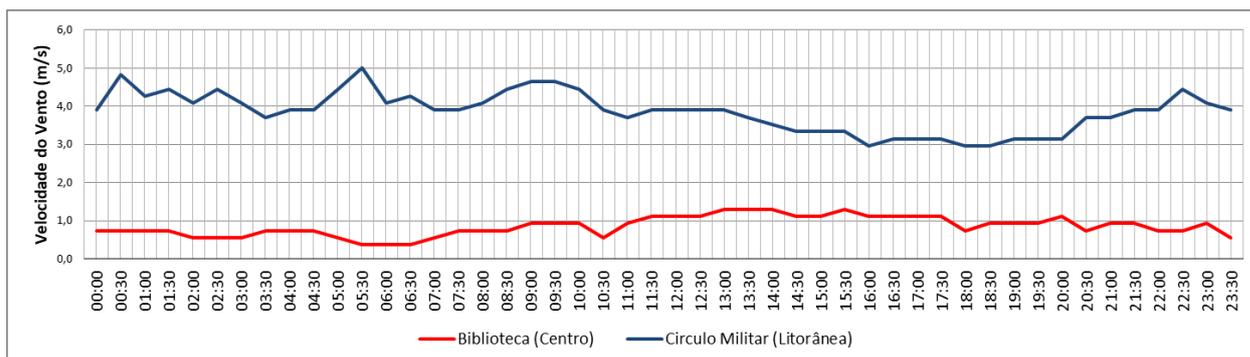
Gráfico 53 - Valores de conforto térmico encontrados utilizando-se índice PET para os bairros do Centro (Biblioteca Benedito Leite) no dia 25/10/2017 e na Litorânea (Círculo Militar) no dia 26/10/2017.



Parâmetros do Índice PET	
$\geq 34,1^{\circ}\text{C}$	Muito Calor
$29,4 - 34,1^{\circ}\text{C}$	Calor
$26,8 - 29,4^{\circ}\text{C}$	Pouco Calor
$\leq 26,8$	Conforto

Fonte: Autor

Gráfico 54 - Velocidade do vento registrado no dia dos experimentos da campanha 5.



Fonte: Autor

Ao se analisar o gráfico 53 da campanha 5, novamente constatamos que o Centro da cidade permanece com os piores valores de índices de conforto térmico humano em comparação com a Litorânea, destacando que o Centro permaneceu por todo o horário das vinte e quatro horas sempre com índices maiores que a Litorânea. Ao se observar a média registrada dentro das vinte e quatro horas, o Centro da cidade apresentou valores de 29,7°C de PET, enquanto que na Litorânea apresentou valores médios de 24,7°C de PET, uma diferença de 5°C de PET. Registramos também que foi no Centro da cidade que apresentou o maior valor de índice de conforto térmico humano, com 39,1°C de PET às 14h00min na faixa de Muito Calor enquanto na Litorânea o maior valor registrado de índice PET foi de 37,2°C no horário das 13h00min. O menor valor registrado na campanha foi na Litorânea com 18,5°C de PET, ocorrido às 1h30min e às 5h30min, enquanto no Centro da cidade o menor valor registrado foi de 24,1°C de PET às 4h30min.

No registro do gráfico 54, os valores de velocidade do vento no local dos experimentos levaram a constatação de que a velocidade do vento na Litorânea sempre permaneceu maior do que no Centro da cidade. O valor médio registrado nas vinte e quatro horas identificou que o Centro da cidade teve uma velocidade do vento de 0,9 m/s, enquanto na Litorânea registrou um valor médio de 3,9 m/s.

Quadro 16 - Número de horas em cada faixa das condições de conforto identificados na campanha 4.

	Biblioteca (Centro)	Círculo Militar (Litorânea)	Diferença em horas
<b>Muito Calor</b>	07h30min	03h00min	+04h30min
<b>Calor</b>	01h30min	05h00min	-03h30min
<b>Pouco Calor</b>	02h30min	01h00min	+1h30min
<b>Conforto</b>	12h30min	15h00min	-2h30min

Fonte: Autor

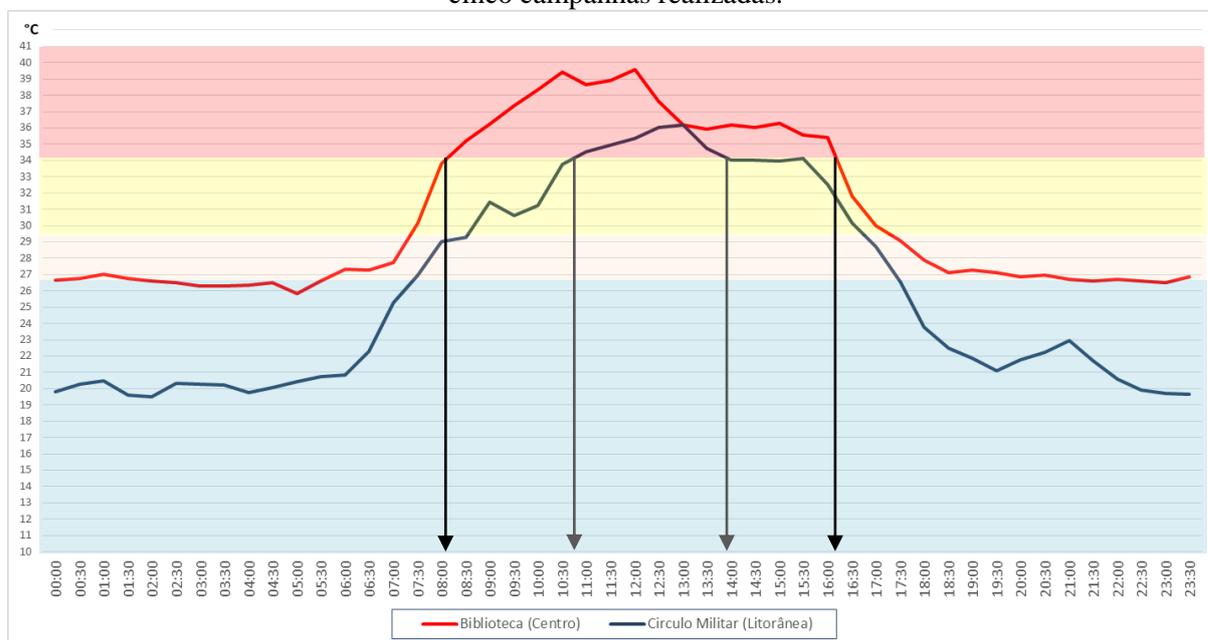
Com o quadro 16 constatamos que, durante a campanha 5, o Centro da cidade de São Luís apresentou um total de 09h00min (7h30min + 1h30min) de índice de conforto térmico de Muito Calor e Calor, enquanto na Litorânea registrou um total de 8h00min (3h00min + 5h00min) de conforto térmico de Muito Calor e Calor, a diferença registrada foi de 1:00 horas, a menor diferença entre todas as campanhas. Para as faixas de Conforto e Pouco Calor, no Centro, registraram um total de 15h00min (02h30min + 12h30min), enquanto na Litorânea apresentou um total de 18h00min (01h00min + 15h00min). O Centro da cidade continuou a apresentar piores condições de conforto térmico humano em relação a

Litorânea, e a condição de velocidade do vento nos locais dos experimentos também reafirma, com os dados coletados, que a sua intensidade influencia a qualidade do conforto térmico em São Luís.

### 5.5.6 Síntese dos resultados de todas as campanhas

Com o objetivo de síntese de todos os experimentos realizados nas cinco campanhas, foi produzida uma representação gráfica e de tabela, nas quais são identificados o padrão médio das condições de conforto térmico humano registrados.

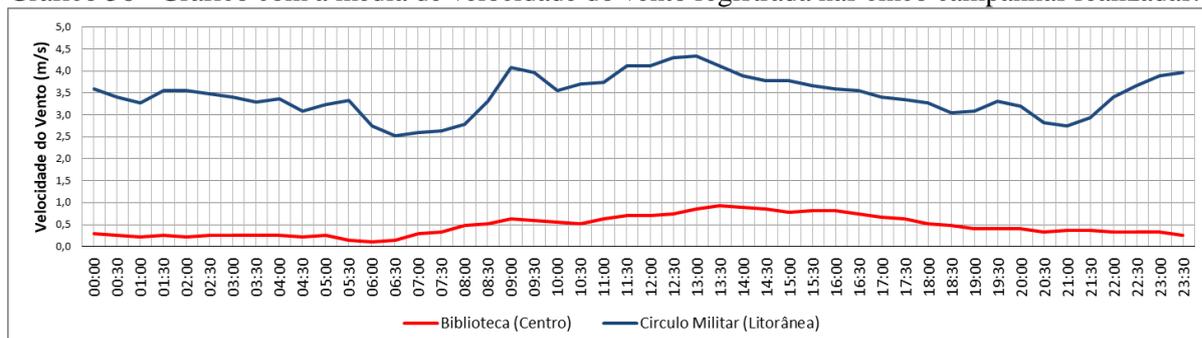
Gráfico 55 - Síntese com as médias das condições de conforto térmico humano pelo índice PET °C das cinco campanhas realizadas.



Parâmetros do Índice PET	
$\geq 34,1^{\circ}\text{C}$	Muito Calor
$29,4 - 34,1^{\circ}\text{C}$	Calor
$26,8 - 29,4^{\circ}\text{C}$	Pouco Calor
$\leq 26,8$	Conforto

Fonte: Autor

Gráfico 56 - Gráfico com a média de velocidade do vento registrada nas cinco campanhas realizadas.



Fonte: Autor

A média dos dados registrados nas cinco campanhas realizadas apresentou que o Centro da cidade possui mais horas do dia em condições de conforto térmico humano de Muito Calor e que a Litorânea apresenta menor quantidade de horas nesta condição. Somente no horário das 13h00min ocorre uma confluência de valores, registrando 36,2°C de PET nos dois locais. A média das vinte quatro horas registrada para o Centro da cidade foi de 30,7°C de PET, enquanto na Litorânea apresentou uma média de 26,0°C de PET, portanto uma diferença de 4,7°C de PET. O maior valor de índice PET °C identificado foi no Centro da cidade com 39,6°C de PET às 12h00min, enquanto na Litorânea foi identificado o maior valor no horário da média das cinco campanhas, com 36,2° C de PET às 13h00min. Também foi possível identificar o menor valor médio no Centro da cidade com 26,3°C de PET no horário entre às 3h00min e 4h00min, enquanto na Litorânea foi identificado o menor valor médio de 19,7°C de PET no horário entre às 23h00min e 23h30min.

Destacamos que a condição de conforto térmico de Muito Calor inicia-se primeiro no Centro, próximo das 8h da manhã e seu término entre 6h e 6h30min, indicando que esta condição permanece quase que o dia inteiro para o Centro da cidade.

Com relação a velocidade do vento nos dias das campanhas, também foram identificados que, na média aritmética dos dados coletados, o vento sempre se apresenta em maior velocidade na Litorânea do que no Centro da cidade. A média identificada foi de 0,5 m/s no Centro e na Litorânea de 3,5 m/s.

Quadro 17 - Síntese com o número de horas em cada faixa das condições de conforto identificados nas cinco campanhas realizadas.

	Biblioteca (Centro)	Circulo Militar (Litorânea)	Diferença em horas
<b>Muito Calor</b>	08h00min	03h30min	+04h30min
<b>Calor</b>	02h00min	04h30min	-02h30min
<b>Pouco Calor</b>	06h00min	02h00min	+4h00min
<b>Conforto</b>	08h00min	14h00min	-6h00min

Fonte: Autor

As horas identificadas em cada índice de conforto térmico humano constata que o Centro da cidade apresenta uma quantidade de horas a mais de Muito Calor e Calor 10h00min (8h00min + 2h00min) do que a Litorânea com 8h00min (3h30min + 4h30min). Observando que no índice de muito calor a diferença entre o Centro e a Litorânea chega a 4h30min em

média de horas em condições de pior conforto térmico. Quanto à média do índice de maior conforto térmico Pouco Calor e Conforto, no Centro registrou-se uma média de 14h00min (6h00min + 8h00min) na Litorânea registrou valores de 16h00min (02h00min + 14h00min). Observando que a maior quantidade de horas na Litorânea, 14h00min, permaneceu no índice de Conforto.

A realização das campanhas e a produção das informações a partir dos dados coletados corroboraram para confirmar que o bairro Centro possui as piores condições de conforto térmico humano em comparação com a orla Litorânea. A Lei de Zoneamento do município de São Luís, que data de 1992, está atualmente em processo de revisão na Câmara Municipal. Segundo a nova proposta disponível no site da Prefeitura, a orla litorânea se mantém nas Zonas Residencial 1 e 2 (ZR1 e ZR2), e o gestor municipal está propondo a permissão de construções de prédios com gabaritos máximos de até 19 andares para a ZR1, que, antes na legislação vigente, determina o máximo de 8 gabaritos; e de 3 gabaritos máximos para a ZR2, que atualmente permite até 8 gabaritos. Avaliamos como muito positivo esta redução de gabaritos na ZR2, nesta nova proposta, o que irá proporcionar um corredor de ventos para os bairros mais centrais da cidade.

A pesquisa sobre o conforto térmico humano em São Luís permitiu quantificar e comparar a diferença existente entre dois ambientes distintos de urbanização e significativos dentro da cidade, além de confirmar a importância que o vento exerce como fator preponderante para a geração de melhores condições de conforto térmico humano para a cidade de São Luís, e por analogia, a todas as cidades localizadas na faixa tropical quente e úmida.

## 6 CONCLUSÕES

A escolha inicial de se utilizar da proposta metodológica Sistema Clima Urbano (SCU) desenvolvido por Monteiro (1976), como base estrutural para o desenvolvido da tese apresentou-se assertiva e eficaz. A aplicação completa do método, utilizando dos três subsistemas, permitiu a pesquisa identificar toda a dimensão dos principais aspectos da configuração do clima urbano de São Luís. Como cada cidade apresenta condições particulares de localização, forma, função, estrutura e processos, no caso específico de São Luís, com a incorporação de mais um componente climático, que foi o vento, amplificado por uma análise das condições de conforto térmico humano, a pesquisa obteve uma compreensão abrangente de sua dinâmica climática, atingindo, assim, aos seus objetivos iniciais propostos.

As condições técnicas atuais, com a presença de instituições públicas e privadas, com seus equipamentos de coleta de dados atmosféricos, foi o que efetivamente permitiu a realização da pesquisa nas proporções alcançadas, principalmente nos estudos de poluição atmosférica do subsistema físico-químico, como também a rede de postos pluviométricos automáticos de medição horária das chuvas no subsistema hidrometeorológico.

É importante também ressaltar que os resultados alcançados não esgotam de forma conclusiva as discussões sobre o Clima Urbano de São Luís, como por exemplo, pode-se progredir para um estudo amplo e atualizado das ilhas de calor na cidade. No entanto, os resultados alcançados permitem extrair algumas conclusões quanto a configuração do seu Clima Urbano.

Nas análises sobre o modo como o vento se configura na cidade de São Luís foi possível chegar as seguintes conclusões: os ventos que sopram sobre a cidade de São Luís são predominantemente de NE – ENE (nordeste – lés-nordeste) em suas condições anuais, sazonais e de cíclicos diários (diurno e noturno), variações de direção ocorrem somente dentro do quadrante norte – leste; a variabilidade de intensidade do vento é baixa, permanecendo com grande regularidade e constância anuais, quanto sazonais ou diárias. Sua velocidade média é de baixa intensidade prevalecendo ventos de velocidade dentro da faixa entre 0,3 a 5,5 m/s, considerados brisas fracas, segundo a Escala Beaufort. O destaque a ser observado é que, na área em estudo, o fenômeno de inversão barométrica nas condições cíclicas diurnas e noturnas não é capaz de modificar a direção dos ventos, isto é, os ventos com direção do mar para a terra são constantes e perenes durante o dia e a noite. Os Ventos Alísios influenciam fortemente as condições de direção e velocidade dos ventos. Quando da instalação da estação

meteorológica no Centro da cidade e na Orla litorânea para os experimentos de conforto térmico humano, foi também possível comprovar que os ventos que chegam no Centro da cidade são em menor velocidade, o que leva a inferir que as barreiras orográficas urbanas estão influenciando a intensidade do vento na cidade de São Luís.

As análises físico-químicas do clima urbano da área em estudo indicaram que as condições de poluição atmosférica por Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Partículas Inaláveis (PI) apresentam-se em condições aceitáveis. A inflexão negativa registrada nos parâmetros de poluição para Partículas Inaláveis ( $<10\mu\text{m}^3$ ), em todos os anos estudados, foi a RAMQA - Estação EMAP que excedeu os limites de poluição estabelecidos pela Resolução 3/90 - CONAMA. Destacamos também que, entre os meses de julho a dezembro, na estação seca ou de estiagem, registra-se aumento dos índices de poluição atmosférica por materiais particulados (PTS - PI) e nos meses de janeiro a junho, período chuvoso, ocorre uma diminuição dos índices da poluição por materiais particulados (PTS - PI).

Quanto à configuração identificada do subsistema hidrodinâmico, especificamente quanto à frequência, intensidade, espacialidade e temporalidade dos impactos pluviais, foi possível a identificação de que as chuvas ocorrem em sua maior frequência entre o horário das 12h às 17h59min, e estas representam 45,6% do total diário, como também a indicação da ocorrência de chuvas excepcionais muito fortes, em apenas 24 meses de registro, e que estas atingiram o volume de intensidade de 69,8 mm em apenas uma hora. Identificamos também que a distribuição das chuvas dentro da Zona Urbana de São Luís é maior nos bairros litorâneos da cidade, enquanto os bairros localizados na faixa central, no eixo norte-sul da cidade, apresentam valores pluviométricos menores.

No eixo termodinâmico, a pesquisa constatou que as imagens termais por sensoriamento remoto apresentaram resultados bastante similares aos valores de distribuição espacial da temperatura do ar, sendo, portanto, também mais uma confirmação de que a técnica de sensoriamento remoto com seus valores de temperatura da superfície (dos alvos), que auxilia fortemente nos estudos de temperatura do clima urbano de uma cidade. Foi possível verificar, com os resultados alcançados, que a proximidade com o mar e a presença do vento na cidade de São Luís são preponderantes para amenizar a temperatura. Foi identificado, dentro da zona urbana, certo alinhamento de direção sudeste – noroeste de temperaturas mais elevadas no eixo que se inicia no bairro Jardim São Cristóvão em direção aos bairros do Centro da cidade. As diferenças térmicas dentro da zona urbana, apesar de

indicar variações, não são significativas de modo geral; a cidade como um todo é quente e o vento da brisa marítima se torna o diferencial para gerar as pequenas variações de temperatura dentro do ambiente urbano.

Quanto aos estudos de conforto térmico humano, a pesquisa também obteve resultados importantes. Inicialmente, constatamos que é na orla litorânea da cidade que estão as melhores condições de conforto térmico humano, em comparação com o Centro da cidade. Nessa medida é importante confirmar a importância que o vento exerce como fator preponderante para a geração de melhores condições de conforto térmico humano e, dado isso, indicar a importância de não se permitir a construções de prédios com gabaritos elevados na orla litorânea e apoiar a proposta contida na minuta de alteração da Lei de Zoneamento para a Zona Residencial 2 (ZR2) que permite somente a construção de prédios com gabarito de, no máximo, 3 andares. A adoção dessa norma permitirá a formação de um corredor de ventos frescos, vindos do mar, que alcançarão os bairros centrais da cidade, não agravando as condições atuais de conforto térmico humano.

Deste modo, como demonstrado, conclui-se que o vento, nas condições atuais, influencia de modo diferenciado as condições da dinâmica climática da cidade de São Luís, comprovando parcialmente a hipótese proposta para a tese, qual seja: que, em função do intenso processo de urbanização que a cidade de São Luís está passando e de sua verticalização acentuada, principalmente na faixa litorânea, a penetração dos ventos estaria sendo afetada e determinando potencialmente alterações nos índices de poluição atmosférica, na dinâmica hidrometeorológica e a na temperatura da cidade e, conseqüentemente, no seu conforto térmico humano.

Na hipótese do vento estar promovendo alterações nos índices de poluição atmosférica, chega-se a conclusão negativa, os valores de poluição por partículas PTS e PI na cidade ainda se apresenta em condições aceitáveis, isto é, os valores identificados não ultrapassam os limites de segurança estabelecidos pelas normas da Resolução CONAMA 03/90, com exceção da estação EMAP localizada na zona portuária da cidade, que apresentou valores excedentes, porém ocorre que, por ser uma zona portuária com proximidade direta com os ventos da brisa marítima de direção predominante de nordeste e sem grandes interferências urbanísticas, os impactos de sua poluição são dispersos para fora da cidade, em direção a baía de São Marcos (Mapa 9).

Com relação a influência do vento e da urbanização na dinâmica hidrometeorológica, é possível estabelecer que a hipótese foi confirmada. Com a coleta de dados de chuvas em quatorze pontos dentro da ilha e destes dez estando dentro da zona urbana de São Luís, foi possível comprovar em dois anos de coleta de dados estudados que principalmente a distribuição e intensidade das chuvas sofrem influência dos ventos e da urbanização. A distribuição das chuvas indicou relação com a direção predominante dos ventos, cujos maiores volumes foram registrados na direção para onde o vento se dirige, isto é, nordeste – lés-nordeste. Os cálculos indicaram uma diferença de 37,1% entre as áreas relacionadas. Quanto a intensidade das chuvas, esta com maior influência da urbanização, identificou-se uma faixa de norte a sul na cidade que apresentou volumes de chuvas menores que seu entorno, enquanto um posto localizado no bairro Calhau, muito próximo da orla litorânea, foi o que registrou o maior volume de chuvas de todas as estações, nos dois anos estudados.

Com relação a hipótese de que o vento e a urbanização estariam afetando a temperatura na cidade e seus valores de conforto térmico também foi possível chegar a conclusão afirmativa. Os experimentos que foram realizados para a identificação dos índices de conforto térmico humano, nos quais foram registrados os valores de velocidade e direção do vento e de outros parâmetros, entre o Centro da cidade e a Orla litorânea, em cinco campanhas ao longo de dois anos, foram significativos para confirmar que os ventos sofrem alterações que estão impactando negativamente a temperatura na cidade e conseqüentemente os seus índices de conforto térmico humano.

O vento é para a cidade de São Luís fator preponderante de sua dinâmica climática, a interferência com barreiras orográficas urbanas gera distúrbios que indicam efeitos negativos principalmente na temperatura e, por conseguinte, no conforto térmico humano com também na distribuição e intensidade das chuvas.

Os resultados alcançados com a tese também comprovam que as pesquisas em clima urbano são extremamente importantes para o planejamento da cidade em toda a sua condição de ordenamento e ocupação. O crescimento da cidade, que é inevitável, deve estar em conformidade com as condições de sustentabilidade dos seus recursos naturais e de qualidade de vida para todos os seus cidadãos.

## REFERÊNCIAS

- D'ABBEVILLE, Claude. **História da missão dos padres capuchinhos na ilha do maranhão e suas circunvisinhas**. Ed. Siciliano, São Paulo, 2002.
- ALCOFORADO, M. J., et al. **Report: Climatic evaluation for urban planning in Lisbon**: Universidade de Lisboa, 2006.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. **Padrões Espaço-Temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando Análise Multivariada**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 27, n.4, p. 423-434, 2012.
- AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. 374 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. ; CARDOSO, R. S. **Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente - SP**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 16, p. 29-45, 2015.
- AMORIM, M. C. C. T. **Clima urbano: concepções teóricas, metodologias, aplicações e perspectivas**. Revista Equador, v. 4, p. 49-66, 2015.
- AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano a partir do sensoriamento remoto e de registros da temperatura do ar**. In: Anais do XIV Encuentro de Geógrafos de América latina, Lima-Peru, UGI, p.118, 2013.
- AMORIM, M. C. C. T. **Clima urbano: estrutura térmica e ilhas de calor**. In: Climatologia Urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso. Ed. Outras Expressões, São Paulo, p.191-220. 2013.
- AMORIM, M. C. C. T. **Análise da temperatura do ar e dos alvos: uma contribuição aos estudos de clima urbano**. In: Clima e Gestão do Território, Paco Editorial, Jundiá – SP, 2016.
- AMORIM, M. C. C. T. e DORIGON, Larissa P. **Técnicas de sensoriamento remoto (temperatura da Superfície e ndvi) aplicadas aos estudos de clima urbano, o exemplo de Paranavaí/PR**. Anais do VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. Vitória, ES, 2014.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE 55-004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2004.
- ANDRADE, T. C. Q. et al. **Medição do conforto térmico em áreas públicas urbanas de Salvador-BA e calibração do índice de conforto PET usando a técnica árvore de decisão**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA) v. 4, n. 2, p. 278-296, 2016.
- ARMANI, G.; GALVANI, E. **Avaliação do desempenho de um abrigo meteorológico de baixo custo**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 14, p. 116-122, 2006.
- ASSUNÇÃO, J. V. **Controle Ambiental do Ar**. In: PHILIPPI JR, A. et al (Og.). Curso de Gestão Ambiental. 1. Ed. Barueri, SP: Manole, p. 101-154. 2004.

ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial**. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010, 299f.

ASSIS, E. S. e VALADARES, V. M. **Ventila o Natural: experiência de ensino em gradua o na Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais**. In: Anais do III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construido e I Encontro Latino-Americano, Gramado, 1995.

AYOADE, J. D. **Introdu o   Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1991. 332p.

AZEVEDO, T. R. Técnicas de campo e laboratório em climatologia. In: VENTURI, L. A. B. (Org.). **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório**. 1ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, p. 131-146.

AZEVEDO, T. R.; TARIFA, J. R. Miniabrigo meteorológico aspirado do Laboratório de Climatologia e Biogeografia e seu uso no estudo geográfico do clima. *GEOUSP – Espaço e Tempo*, São Paulo v. 10, p. 165-174, 2001.

BABIRATO, M. G; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e Cidade: Abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. EDUFAL, Maceió, AL. 2007.

BARRY, Roger G. & CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. Porto Alegre. Bookman, 2013.

BARROS, S. S.; OYAMA, M. D. **Sistemas meteorológicos associados   ocorrência de precipita o no Centro de Lançamento de Alcântara**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.3, 333 - 344, 2010.

BARROS, H. R. **A rela o entre ilha de calor urbana, uso e cobertura do solo e o balanço de energia no município de São Paulo: avalia o do campo térmico nos parques públicos de lazer**. Tese (Doutorado em Geografia Física) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

BRANDÃO, A. M. de P. M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. São Paulo, Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 362p. 1996.

BATISTELLA, C. **As Primeiras Explica es Racionais: a medicina hipocrática**. In: O território e o processo saúde-doença. 2008. Fiocruz - Versão hiperm dia. Disponível em: <[http://www.epsjv.fiocruz.br/pdtsp/index.php?slivroid=6&area\\_id=2&autor\\_id=&capitulo\\_id=13&sub\\_capitulo\\_id=14&arquivo=ver\\_conteudo\\_2](http://www.epsjv.fiocruz.br/pdtsp/index.php?slivroid=6&area_id=2&autor_id=&capitulo_id=13&sub_capitulo_id=14&arquivo=ver_conteudo_2)>. Acesso em: 16.08.2017.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global**. Cadernos de Ciência da Terra. 13, IGEOG/USP, São Paulo, 1972.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. **Precipita o**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) Hidrologia: Ciência e Aplica o. 2  Edic o. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Associa o Brasileira de Recursos Hídricos, p. 727-768, 1997.

BEZERRA, P. E. L. **Projeto de zoneamento das potencialidades dos recursos naturais da Amazônia legal**. IBGE/SUDAM. Rio de Janeiro. Geologia. p 64-91. 1990.

BUARQUE, D. C. et al. **A comparison of Amazon rainfall characteristics derived from TRMM, CMORPH and the Brazilian national rain gauge network**. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 116(D19), 2011.

BRASIL. CONAMA. **Resolução nº 003 de 1990**. Estabelece padrões de qualidade do ar, métodos de amostragem e análise dos poluentes atmosféricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 22 ago 1990. Seção I. p. 15.937-15.939.

BRANDÃO, A. M. de P. M. O clima urbano na cidade do Rio de Janeiro. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. de F. (Org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

BRÚSSOLO, R. G.; et al. Proposição metodológica para o estudo da Camada Limite Urbana utilizando VANT's. In: **Os desafios da Geografia Física nas fronteiras do conhecimento**. Campinas, E-book, v.1, 2017. Disponível em: <<https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2096>>

BRUSANTIN, G. N.; FONTES, M. S. G. C. **Conforto Térmico em Espaços Públicos de Permanência: uma experiência na cidade de Bauru-SP**. In: Encontro Nacional, 10º Encontro Latino-Americano de Conforto no ambiente construído, Natal, Anais, Porto Alegre: ANTAC, 2009. p. 441-449, 2009.

BITTENCOURT, L. e CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. EDUFAL, 3ª Ed. Maceió/AL, 2008.

BURNETT, C. F. L. **Da tragédia urbana à farsa do urbanismo reformista: a fetichização dos planos diretores participativos**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas – UFMA, São Luís, 2009.

CAVALCANTI, I.F de A. et al. **Tempo e Clima no Brasil**. Oficina de Textos, São Paulo, 2009.

CARDOSO, R. S. ; AMORIM, M. C. C. T. **Características do clima urbano em presidente prudente/sp a partir de dados de temperatura e umidade relativa do ar e técnicas de sensoriamento remoto**. Revista do Departamento de Geografia, v. 28, p. 39-64, 2014.

CARFAN, A. C. **Análise de conforto térmico em áreas abertas no município de Ourinhos - SP**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NACIONAIS – CEMADEN. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br>>. Acessado em janeiro de 2018.

COHEN, J.C.P.; SILVA DIAS, M.A.F.; NOBRE, C.A. **Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia**. Revista Climanálise, v.4, n.11, p.34-40, 1989.

COLTRI, P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, SP: análise de séries históricas, ilhas de Calor e técnicas de sensoriamento remoto.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual de São Paulo, 2006.

COUTINHO, E. C.; FISCH, G. **Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) na região do Centro de Lançamento de Alcântara- MA.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n.2, 193-203, 2007.

CHANDLER, T. J. **Urban Climatology and its Relevance to Urban Design.** Geneva, WMO. Technical Note 149, 1976.

CHIRAG. D; RAMACHANDRAIAH. A. **The significance of Physiological Equivalent Temperature (PET): outdoor thermal confort studies.** International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 2 (7), p.2825-2828, 2010.

CHRISTOPHERSON. R. W. **Geossistemas: uma introdução à geografia física.** Porto Alegre, 7ª edição, Bookman. 2012.

DA CRUZ, G. C. F. **Clima urbano de Ponta Grossa – PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira.** Tese de Doutorado, Departamento de Geografia – USP, São Paulo, 2009.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Cidade de Curitiba e a poluição do ar: implicações de seus atributos urbanos e geocológicos na dispersão de poluentes em período de inverno.** In: Clima urbano. Editora Contexto, 1ª ed, São Paulo, p. 115 a 173, 2009.

DANNI-OLIVEIRA, I M; PERTSCHI, S. C. ; LIMA, C. . **Avaliação de Abrigos Termométricos para Procedimentos Expeditos em Campo.** Engenharia e Construção, Curitiba, v. 9, n.114, p. 30-34, 2006.

DACANAL, C. et al. **Conforto Térmico em Espaços Livres Públicos: estudo de caso em Campinas, SP.** Anais, 10º Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, Porto Alegre: ANTAC, 2009. p. 563-572, 2009.

DAMÁZIO, Eduardo. **Contribuição ao conhecimento da vegetação dos manguezais da Ilha de São Luís.** Monografia, Curso de Biologia, UFMA, 1980.

DA SILVA, C. A. **Estudos e técnicas de pesquisa de clima urbano como foco no subsistema físico-químico, novos instrumentos, novas possibilidades.** In: Clima e Gestão do Território. Paco Editorial, Jundiaí, p. 51 a 68, 2016.

DEGOLA, T. S. **Impactos e variabilidade do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2013.

FEITOSA, A. C. **O Maranhão Primitivo: uma tentativa de reconstituição.** São Luís: Augusta, 1983. 142p.

FEITOSA, A. C. **Evolução morfogenética do litoral norte da ilha do Maranhão.** Rio Claro: IGCE/UNESP, Dissertação de Mestrado, 1989.

FERREIRA, A. J. A. **Políticas territoriais e a reorganização do espaço maranhense**. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-11082009-141934/>>. Acesso em: 2013-07-02.

FERREIRA, A.G. e MELLO, N.G.S. **Principais Sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e Atlântico no clima da Região**. Revista Brasileira de Climatologia. ABC, ano 1, 2005.

FERREIRA, N.J. et al. **Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil**. In: Tempo e Clima no Brasil. Oficina de Textos, São Paulo, pág. 43-60, 2009.

FIALHO, Edson Soares. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira**. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FISCH, G.; MARENGO, J. M.; NOBRE, C. A. **Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia**. Acta Amazônica, v.28, n.2, p.01-126, 1998.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME. **Sistemas meteorológicos causadores de chuva na região nordeste do Brasil**. Disponível em <[http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico\\_ChuvasPosto\\_pluviometricos/entender/entender2.htm](http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico_ChuvasPosto_pluviometricos/entender/entender2.htm)> Acesso em: dezembro de 2017.

FONTES, M. S. G. F. et al. **Thermal Comfort in Open Public Spaces: studies in green areas in cities of the Sao Paulo State, Brazil**. International Conference on Passive And Low Energy Cooling For The Built Environment, 3, Rhodes, 2010.

FROTA, A. B. e SCHIFFER, S. R. **Manual do Conforto Térmico**, 5ª Edição, Editora Studio Nobel, São Paulo, 2001.

GALVANI, E. Considerações acerca dos estudos Bioclimáticos. In: CARLOS, A. F. A. e OLIVEIRA, A. U. O. (Org.). **Geografias de São Paulo - 2a metrópole do século XXI – SP**. Contexto, 2004, v. 2, p. 221-229.

GALLEGO, L. P. **Tipos de Tempo e Poluição Atmosférica no Rio de Janeiro - Um Ensaio em Climatologia Urbana**. Tese de Doutorado. São Paulo: Departamento de Geografia da USP, 1972. 104 p.

GARTLAND, L. **Ilha de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo. Oficina de Textos, 2010.

GARRATT, J. R. **The atmospheric boundary layer**. Cambridge University. Press 316, 1994.

GHIAUS, C. et al. **Urban environment influence on natural ventilation potential**. Build and Environment. 41: 395-406, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.02.003>>

GISLER, C. A. F. **Análise do perfil de vento na camada limite superficial e sistemas meteorológicos atuantes no Centro de Lançamento de Alcântara**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 2009.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. London, Elsevier, 1976.

GIVONI, B. **Comfort, climate, analysis and building design guidelines**. Energy and Building, vol. 18, pp.11-23, 1992.

GIVONI, B. **Climate Considerations in Urban and Building Design**. New York, John Wiley & Sons, 1998.

GONÇALVES, N. M. S. **Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador – Bahia**. Tese (Doutorado em Geografia Física). FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

GOLDEN, Software LLC. **Programa Surfer® versão 13.0.383** (64-bit). 2016.

GOUVEIA et al. **Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil**. Cadernos de Saúde Pública, v. 22, n.12, 2669-2677, 2006.

GUERRA, F. P. e MIRANDA, R. M. de. **Influência da meteorologia na concentração do poluente atmosférico pm 2,5 na RMRJ e na RMSP**. Anais do II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. IBEAS, Londrina – PR, 2011.

HIRASHIMA, S. Q. S.; ASSIS, E. S.; FERREIRA, D. G. **Calibração do índice de conforto térmico temperatura equivalente fisiológica (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizonte – MG**. XI ENCAC, 2011, Buzios/ RJ.

HÖPPE, P. **The Physiological Equivalent Temperature: a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment**. International Journal of Biometeorology, Lisse, v. 43, n. 2, p. 71-75, 1999.

HASTENRATH, S. **Climate and circulation of the tropics**, p.455, Dordrecht: D. Reidel, 1985. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=U2YyBwAAQBAJ&prints=ec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>>

HASTENRATH, S. and LAMB, H. **Dynamics of climatic hazard in the Northeast Brazil**. Quart. J.Roy.Meteor. Soc., 103, 77-92, 1977.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>> Acesso em 2015, 2016, 2017 e 2018.

IBGE. **Mapa de climas do Brasil**. Rio de Janeiro, Escala 1: 5.000.000, 2002.

ISO 9920: INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION. Ergonomics of the thermal environment: estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Genève, 1995.

KATZSCHNER, L.; FREIRE, T; ANDRADE, T; CARVALHO, L. **Urban Climate of Salvador: thermal confort pattern**. In: Encontro Latino–Americano de Conforto no Ambiente Construído, 5, 1999, Fortaleza. Anais. Fortaleza: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1999.

KATZSCHNER, L. **Microclimatic thermal comfort analysis in cities for urban planning and open space design**. Artigo apresentado na Conferencia Windsor, 2006. Disponível em: <<http://nceub.org.uk/uploads/Katzschner.pdf>>. Acesso em: 15 de fev. 2015

KATZSCHNER, L.; REN, C.; YAN-YUNG, E. **Urban climatic map studies: a review**. International Journal of Climatology. N. 31: pg. 2213–2233 \_ 2011. Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 03 de junho de 2014.

KATZSCHNER, L.; et al. **Urban Climate Map System for Dutch spatial planning**. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 2012, Vol.18, pp. 207-221. Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 03 de junho de 2014.

KATZSCHNER, L. et al. **Urban heat island in a coastal urban area in northern Spain**. Theoretical and Applied Climatology, 2013, Vol.113 (1), pp.137-154. Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 03 de junho de 2014.

KATZSCHNER, L.; FREIRE, T; ANDRADE, T; CARVALHO, L. **Urban Climate of Salvador: thermal confort pattern**. In ENCONTRO LATINO–AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 5, 1999, Fortaleza. Anais. Fortaleza: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1999.

KRÜGER, E.; DRACH, P.; EMMANUEL, R.; CORBELLA, O. **Assessment of daytime outdoor confort levels in and outside the urban area of Glasgow - UK**. International Journal of Biometeorology, Vol.57(4), p.521-533, 2013.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Maryland Academic Press, 1981.

LABAKI, L. C.; FONTES, M. S. G. C.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. DACANAL, C. **Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 167-183, jan./mar. 2012.

LEITE, M. E. (Org). **Geotecnologias aplicadas aos estudos geográficos**. Montes Claros: Unimontes, 2013. 326 p.

LEITE, R. C. V. **Cidade, vento, energia: limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido**. 2015. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-15072015-142805/>>. Acesso em: 2016-06-16.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles – o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985.

LOMBARDO, M. A. **Qualidade ambiental e planejamento urbano; considerações e métodos**. Tese (Livre-docência). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1995.

LOPES, A. M. S. **Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano: vento, ilha de calor de superfície e balanço térmico**. Tese de doutoramento em Geografia Física, Universidade de Lisboa, 2003. 375p.

LI, R.; CHI, X. **Thermal comfort and tourism climate changes in the Qinghai-Tibet Plateau in the last 50 years**. Theoretical & Applied Climatology, Vol.117 (3/4), p.613-625, 2014.

LÚCIA, H. S. et al. **Avaliação da qualidade do ar da cidade de São Luís-Ma**. II SEMEIA - Semana de Meio Ambiente. CEUMA Universidade. 2012.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. 2014. Disponível em: [http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS\\_MudancasClimaticas.pdf](http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf). Acessado em: 10/03/2017.

MARENGO, J. A.; HASTENRATH, S. **Case studies of extreme climatic events in the amazona basin**. Journal of Climate, v.6, p. 617-627, 1993.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. **Software Rayman, v.1/2 Pro**, Copyright © 2010. Disponível em: <<http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman/>>. Acesso em: 22 set. 2016.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H. **Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature**. International Journal of Biometeorology, v. 43, p. 76-84, 1999.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. **Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - application of the RayMan model**. International Journal of Biometeorology, Vol.51 (4), p.323-334, 2007.

MARGARIDA, C.; NASCIMENTO, C. A. **Manual de defesa civil**. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2009. Disponível em: <<http://www.defesacivil.sc.gov.br/>>. Acesso em: 7 de janeiro 2018.

MARTINI, A. et al. **Validação da metodologia de transectos móveis para coleta de dados microclimáticos no ambiente urbano**. Anais do 10º Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, p. 725 – 733. Paraná, 2014.

MENEZES, R. H. N. **Relação entre a precipitação no NEB e as anomalias de temperatura da superfície do mar dos Oceanos Atlântico e Pacífico tropicais**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 1995.

MENDONÇA, F. e MONTEIRO, C.A.F. **Clima Urbano**. 1ª ed. Editora Contexto, São Paulo, 2009.

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

MENDONÇA, F. A. **O Clima e o Planejamento Urbano de cidades de porte médio e pequeno-proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR**. Tese de Doutorado em Geografia USP, 322p. São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. A. **Clima, tropicalidade e saúde: uma perspectiva a partir da intensificação do aquecimento global**. Revista Brasileira de Climatologia, Vol. 1, No 1. 2005.

MENDONÇA, F. A. O estudo do SCU – Sistema clima urbano – no Brasil. In: **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. Pág. 155 – 163, Alínea Editora, Campinas, SP, 2005.

MELO, A.B.C. e CAVALCANTI, I.F. de A. e SOUZA, P.P. **Zona de Convergência Intertropical do Atlântico**. In. Tempo e Clima no Brasil. Oficina de Textos, São Paulo, p. 25 a 41, 2009.

MENEZES, R. H. N. **Relação entre a precipitação no NEB e as anomalias de temperatura da superfície do mar dos Oceanos Atlântico e Pacífico tropicais/** Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 1995.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Conforto Térmico em Espaços Abertos com Diferentes Abrangências Microclimáticas: parte 2: proposição de calibração de modelos preditivos**. ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ANTAC 5., 2007, Ouro Preto. Porto Alegre, p. 1231-1240, 2007.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **An Outdoor Thermal Comfort Index for the Subtropics**. PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, 22-24, June, 2009.

MONTEIRO, C A. F. **Análise Ritmica em Climatologia: problemas da atualidade climática de São Paulo e achegas para um programa de trabalho**. IGEOG - USP. Série Climatologia. São Paulo, v1, p.1-21. 1971.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1975 (Série Teses e Monografias n° 25).

MONTEIRO, C. A. F. e TARIFA, J. F. **Contribuição para o estudo do clima de Marabá: uma abordagem subsidiária ao planejamento urbano.** Revista de Climatologia, n.7, p.1-52, 1977.

MONTEIRO, C. A. F. **Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano.** Geosul. Florianópolis, n.9, 1990. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/12737/11903>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

MONTEIRO, C. A. F. **Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura.** Geosul, Florianópolis, v. 5, n. 9, p. 61-79, jan. 1990. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/12739/11905>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

MONTEIRO, C. A. F. (Org.) et al. **A construção da climatologia geográfica no Brasil.** Ed. Alínea. Campinas, SP, 2015.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. **Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 17, n. 1, p 1-10, 2002.

MORENO, M. F. N. **Qualidade ambiental nos espaços livre de áreas verticalizadas da cidade de São Paulo.** Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. 170p.

MINAKI, C. **O clima urbano como indicador de qualidade ambiental: estudo de caso da paisagem urbana de Araçatuba/SP.** 265f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Poluentes atmosféricos.** Acessado em 13/06/2017 <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-tmosf%C3%A9ricos>>.

NIMER, E. **Um modelo metodológico de classificação de climas.** Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro: IBGE, ano 41, n. 4, p. 59-89, 1979.

NINCE, P. C. C. et al. **Usos dos índices PET e UTCI na avaliação do conforto termal no campus da UFMT em Cuiabá-MT.** Rev. Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v(9), no 9, p. 2026-2036, FEV, 2013.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. **Variation of sea surface temperature, wind and rainfall over the tropical Atlantic and South America.** Journal of Climate, v. 9, n. 10, p. 2464-2479. Oct. 1996.

NOVO, Evlyn. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. v. 2000. 269 p.

OKE, T. R. **Boundary layer climates.** 2. ed. London: Routledge, 1987. 435 p.

OKE, T. R. Urban climate global environmental change. In: TROMPSON, R. D. e PERRY E. **Applied climatology.** London, Routledge, cap 4, p. 273-286. 1999.

OKE, T. R. **Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scala and field observations.** *Jornal of Climatology*, v1, p. 237-254, 1981.

OKE, T. R. **Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning.** *Energy and Buildings*, 1984.

OLGYAY, V. – **Arquitetura e Clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.** Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, P. **A cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento do clima urbano.** UNB, Brasília – DF, 1987.

OLIVEIRA, L. F. C; et al. **Comparação de metodologias de preenchimento de falhas históricas de precipitação pluvial anual.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.14, n.11, p. 1186-1192, 2010.

OLIVEIRA, M. R. P. de; GALVANI, E. **Eventos Extremos de Precipitação no Perfil Longitudinal Paraty (RJ) - Campos do Jordão (SP).** *Revista do Departamento De Geografia*, v. esp, p. 58-65, 2017.

PEDELABORDE, P. **Introduction à l'étude scientifique du climat.** Paris: Centre de documentation Universitaire, 1959.

PEITER, P.; TOBAR, C. **Poluição do ar e condições de vida: uma análise geográfica de riscos à saúde em Volta Redonda.** Rio de Janeiro, Brasil. *Caderno de Saúde Pública*. Rio de Janeiro. p. 473-485. 1998.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. **The relative importance of ENOS and Tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study.** *Climate Dynamics*, v17, p.205-212, 2001.

PINHEIRO, J. M. **Distribuição espaço-temporal da pluviosidade na ilha do maranhão no ano de 2016.** *Interespaço – Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*. v3, n8, Grajaú – MA, p. 126-141, 2017.

PINHEIRO, J. M. **Dinâmica climática da ilha do maranhão.** In: FILHO, S.F e CELERI, M. J. (Org.) **Geografia da ilha do Maranhão**. 1ed. São Luís: EDUFMA, 2015, v. 1, p. 24-53.

PINHEIRO, J. M. **Análise do Sistema Costeiro da Ilha do Maranhão.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia, Presidente Prudente - UNESP, 2001. 206 p.

PINHEIRO, J. M. **Alterações pluviométricas em 41 anos (1975-2015) ocasionadas por eventos de El Niño na Ilha do Maranhão, Pré-Amazônia brasileira.** In: PERES FILHO, A.; AMORIM, R. R.. (Org.). **Os desafios da Geografia Física nas Fronteiras do Conhecimento**. EBOOK, p. 1422-1431, 2017, 2017. 1ed.Campinas: UNICAMP, v1, Disponível em: <<https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2051>>

PINTO, P. H. P.; SOUSA, L. B; ZAVANTINI, J. A. **Correlação de falhas e seleção de classes para interpolação de dados pluviométricos.** *Anais do XXII SBCG*. Goiânia – GO, 2016.

PITTON, S. E. C; DOMINGOS, A. E. **Tempo e doenças: efeitos dos parâmetros climáticos nas crises hipertensivas nos moradores de Santa Gertudres-SP.** Revista Estudos Geográficos, Rio Claro. 2004. p. 75-86. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.htm>> Acesso em: 20 Fev 2013.

PRATA, A. R. **Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano.** Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-20012010-113103/>>. Acesso em: 2015-09-14.

POLIZEL J. L. **Geotecnologias e clima urbano: aplicação dos recursos de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na cidade de Piracicaba – SP.** Tese (Doutorado em Geografia Física) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PREFEITURA DE SÃO LUÍS. **Minuta de Anteprojeto da Lei de Zoneamento do Município de São Luís.** <[http://www.saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/1467\\_1\\_zoneamento\\_jul2015.pdf](http://www.saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/1467_1_zoneamento_jul2015.pdf)> Acesso em: 19 fev. 2018.

RABELO. A. C. P. et al. **Análise do programa de controle das emissões atmosféricas durante a implantação de píer em São Luís – Maranhão.** 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. PUC-RG, Porto Alegre, 2016.

RAMOS, A.M.; VEIGA, J.A.P.; CONDE, F.C.; SIQUEIRA, J.R. **Análise de Distúrbios de Leste na Operação Norte I do Projeto Programa Nacional de Avaliação do Potencial dos Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE).** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, 2004, Fortaleza. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.

REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. **Regimes de precipitação na América do Sul.** Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.25, n.2, p.185-204, 2010.

REBELO, F. **Clima e Poluição na base do ordenamento urbano.** Cadernos de Geografia. nº 12, p.128-130, 1993.

REES W. G. **Physical Principles of Remote Sensing. Topics in Remote Sensing.** Series no. 1. Cambridge University Press, 1990.

RIBEIRO, A. G. **As escalas do clima.** Boletim de Geografia Teorética, 23(46-46) p.288-294, 1993.

RODRIGUES, C. **Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidrogeomorfológicos.** Desenvolvimento e aplicação de metodologia na Grande São Paulo. Revista do Departamento de Geografia (USP), São Paulo, v.20, p.111-125, 2010.

RODRIGUES. J. E. C. **Análise das características socioambientais na cidade de Belém/PA: um estudo da vegetação e clima urbano.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2017.

ROSA, R e BRITO, J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento: sistema de informação geográfica.** Uberlândia, 1996.

ROSEN, G. **Uma história da saúde pública**. São Paulo, Rio de Janeiro: Hucitec, Unesp, Abrasco, 1994.

ROSEGHINI, W. F. F. **Ocorrência de eventos climáticos extremos e sua repercussão sócio-ambiental no litoral norte paulista / Presidente Prudente**. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2007.

ROONEY, A. **A história da medicina**. Ed. M books, 216p, 2012.

SARAIVA, J. A. G. **Ação do vento e nível de conforto em espaços urbanos**. In: Anais do II Encontro de Professores de Conforto Ambiental - NE, João Pessoa: UFPA, 1994, p. 23 a 31.

SERAFINI J. S.; ALVES, R. R. **Miniabrigos meteorológicos: comparação e análise estatística para avaliação de eficiência**. GEOUSP – Espaço e Tempo (Online), São Paulo, v. 18, n. 1, p. 198-210, 2014.

SAMPAIO. A. H. L. **Correlações entre o uso do solo e ilhas de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

SANT'ANNA NETO. J. L. (Org.) **Os climas das cidades brasileiras**. Laboratório de Climatologia. UNESP- Presidente Prudente, 2002.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Dinâmica Atmosférica e o caráter transicional do clima na Zona Costeira Paulista**. Revista do Departamento de Geografia (USP), São Paulo, v.8, n.1, p.35-49, 1994.

SANTOS, M. R S.; VITORINO, M. I.; PIMENTEL, M. A. S.; SOUTO, J.I. O. **Análise da distribuição espaço-temporal da chuva, na mesorregião metropolitana de Belém-Pará: contribuições da técnica de sensoriamento remoto**. Revista Caminhos da Geografia, v.18, n° 62, p - 49-5, 2017.

SOUSA, J. R. A.; ALMEIDA, R. M. B.; ROLIM, P.A.M. **Influência do Dipolo do Atlântico nas Precipitações do Leste da Amazônia/Litoral Norte Brasileiro (Macapá-AP, Belém-PA e São Luís- MA)** In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais. Gramado (RS), 2002.

SOUZA, V. de; GALVANI, E. **Distribuição espaço temporal da precipitação pluvial e sua interação com o relevo na bacia do rio Jacaré Guaçu (SP)**. CIÊNCIA E NATURA, v. 39, p. 1-15, 2017.

SANTOS, A. C. O. **Avenida Litorânea - São Luís/MA: uma proposta de Acessibilidade**. Trabalho de Conclusão de Curso. Arquitetura e Urbanismo - Centro Universitário do Maranhão, 2006.

SANTOS, V. A. **A qualidade do ar de Dourados (MS): uma contribuição aos estudos de clima urbano com foco no subsistema físico-químico**. In: Clima e Gestão do Território. Paco Editorial, Jundiáí, p. 343 a 371, 2016.

SANTOS, V. A. e DA SILVA, C. A. **O sistema clima urbano (S.C.U): procedimentos de pesquisa no subsistema físico-químico, mensurando a qualidade do ar.** *In:* Experimentos em Climatologia Geográfica, Editora UFGD, Dourados-MS, p. 35 a 53, 2014.

SANTAMOURIS, M. **Energy and climate in the built environment.** James and James, London, 2001.

SOUZA S. H. M. **Avaliação do desempenho térmico nos microclimas das Praças: Piedade e Visconde de Cayrú, Salvador/ BA.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 203p, 2010.

SHIMAKAWA, A. H.; BUENOBARTHOLOMEI, C. L. **Aplicação dos Modelos Preditivos de Conforto PET e PMV em Presidente Prudente - SP: estudo de caso: Parque do Povo.** ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ANTAC 6, Natal. Porto Alegre:, p. 543-552, 2009.

SILVA, F. M. **Ventilação natural de edifícios: turbulência atmosférica.** Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Portugal, Lisboa, julho, 2003.

SILVA, Q. D. **Mapeamento Geomorfológico da Ilha do Maranhão.** Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

SILVA DIAS, M. A. F. **Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo.** Revista Brasileira de Meteorologia. v 2: 133-150, 1987.

STRAHLER, A. N. **Geografia Física.** Barcelona, Ediciones Omega, 1984, 550p.

SHIMADA, D. Y.; et al. **Avaliação de abrigos termométricos alternativos para medições móveis.** *In:* VII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2006, Rondonópolis/MT. Anais do VII Simpósio Brasileiro de Climatologia Aplicada. Rondonópolis/MT: Lab. de Climatologia/ UFMT, 2006. v. 1. p. 1-9.

SORRE, M. **Les fondament de la geographie humaine.** Paris Librarie Armand Colin, 1951.

SOUZA, S. H. M. **Avaliação da Aplicabilidade de Índices de Conforto Térmico em Espaços Públicos de Salvador: Praça Visconde de Cayru e Praça da Piedade.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana. Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

SOUZA, S. H. M. **Avaliação da Aplicabilidade de Índices de Conforto Térmico em Espaços Públicos de Salvador: Praça Visconde de Cayru e Praça da Piedade.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana. Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

SOUZA, I. M. **Sensoriamento remoto orbital aplicado a estudos urbanos.** INPE, São José dos Campos, 2012. Acessado em 03/03/2018: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BE> FCJH>

TARIFA, J.R.; ARMANI, G. **Os climas urbanos de São Paulo**. In: Os climas na Cidade de São Paulo: teoria e prática. Revista GEOUSP, 4ª Ed. Pag. 47-70. São Paulo, Universidade de São Paulo, USP. 2001.

TARIFA, J.R.; ARMANI, G. **Unidades Climáticas Urbanas da Cidade de São Paulo – Atlas ambiental do município de São Paulo (Fase I)** - São Paulo, Laboratório de Climatologia, Universidade de São Paulo, USP. 2000.

TALEGHANI, M. et al. **Outdoor thermal confort within five different urban forms in the Netherlands**. Building and Environment, January Vol.83, p.65-78, 2015.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.

TORRES. F.T.P. e MACHADO. P.J.O. Introdução à climatologia. Editora Cengage Learning, São Paulo, SP, 2011.

TRENBERTH, K., F. **The definition of El Niño**. Bulletin of the American Meteorological Society, v.78, n.12, p. 2771-2777. Dec. 1997.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO. **Atlas do Maranhão**. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico, Laboratório de Geoprocessamento – UEMA. São Luís: GEPLAN, 2002.

UVO, C. R. B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos- SP, 1989.

UGEDA J. J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP**. 383 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2012.

UGEDA J. J. C. Correlação entre a temperatura da superfície e temperatura do ar na cidade de Jales-SP. In **Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso**. São Paulo, Outras Expressões, p.291-316, 2013.

VALIN, J. M. O.; et al. **Análise da relação entre abrigos meteorológicos alternativos para pontos fixos e o comportamento de variáveis termo-higrométricas**. Revista Brasileira de Climatologia, UFPR, v.18, 2016.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2, Recife - PE, 2006. 463 p.

VIANELLO, R. L. e ALVES, Rainier. **Meteorologia básica e aplicações**. Imprensa Universitária – UFV. Viçosa, 1991.

VENTURI, L. A. B. (Org.). **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório**. 1ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

VENTURI, L. A. B. **Recurso Natural – a construção de um conceito**. In: Ensaios Geográficos. São Paulo: Humanitas, 2008.

VENTURI, L. A. B. **Água no Oriente Médio: o fluxo da paz**. Editora Sarandi, 1ª ed. São Paulo, 2015.

YAN-YOUG, E.; KATZSCHNER, L.; HO B; KWOK, K; YAU, R. **Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment – Feasibility Study**. Editado pela School of Architecture - The Chinese University of Hong Kong, 2011.

YAN-YOUG, E; KATZSCHNER, L; CHAO R. **Urban Climatic Map Studies: a review**. In: International Journal of Climatology. Nº 31, pag. 2213-2233, 2011. Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 03 de junho de 2014.

WENG. Q. **A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China**. International Journal of Remote Sensing, Oxford, v. 22, n. 10, p. 1999-2014, 2001.

## ANEXO

## Certificados de Aferição


**Certificado de Calibração**  
**Laboratório Medição São Luís**

Certificado: 163180/15

Data Calibração: 03/11/2015

OS: 327701-A/2015

1 / 1

Solicitante: JUAREZ MOTA PINHEIRO  
RUA DAS CEGONHAS CASA 01, 14, SAO LUIS, MA

Contratante: O MESMO

**Características do Instrumento**

Descrição: DATA LOGGER

Identificação: 9855217

Marca: ONSET

Modelo: S-TMB-M002

Nº. Serie: 9855217

**Condições Ambientais:**

Serviço executado no Laboratório Medição.

Temperatura: 23,0 °C ± 1 °C Umidade: 40 %ur ± 5%ur

**Procedimentos**

Calibração Executada conforme: ITTEC048

Revisão: 1

**Padrões**

Identificação

PTO-0693 TERMOHIGROMETRO PADRÃO

Marca  
MINIPA

Certificado

PTO069307/07/15

Calibrado por

MEDICÇÃO-CAL0183

Validade

07/2018

**Resultados Obtidos****TEMPERATURA (°C)**

Faixa de Uso: 2,000 a 40,000 °C

Faixa de Indicação: -10,000 a 50,000 °C

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	( k )	Veff
°C	°C	°C	°C	°C		
2,00	1,82	-0,18	0,50	0,68	2,00	Infinito
8,00	7,87	-0,13	0,50	0,63	2,00	Infinito
15,00	14,95	-0,05	0,50	0,55	2,00	Infinito
20,00	20,02	0,02	0,50	0,52	2,00	Infinito
30,00	29,92	-0,08	0,50	0,58	2,00	Infinito
40,00	39,89	-0,11	0,00	0,11	2,00	Infinito

**Observações Gerais**

NÃO HOUVE AJUSTE

- V.R: Valor de Referência na unidade de medição do padrão.
- V.I: Valor médio indicado no instrumento na unidade de medição do mesmo.
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com Veff graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- A condição de Aprovado/Reprovado se restringe apenas as grandezas metrológicas do instrumento, sendo que o limite de erro especificado para esta condição é de responsabilidade do Cliente.
- A operação de ajuste / regulagem não faz parte do escopo dos serviços
- A validade de calibração do instrumento, quando apresentada neste certificado, é de responsabilidade do cliente.

Endereço de Emissão: AVENIDA SÃO LUÍS REI DE FRANÇA, LOJA 08 - Bairro: TURU - SÃO LUÍS - MA

Data de emissão: 03 de novembro de 2015

Campo reservado ao Cliente

Assinado Eletronicamente  
ROBSON CARLOS COSTA DA SILVA  
Gerente Técnico

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.



**MEDIÇÃO**  
SOLUÇÕES METROLÓGICAS INTEGRADAS

## Certificado de Calibração Laboratório Medição São Luís

Certificado: 159674/15

Data Calibração: 27/10/2015

OS: 326529-A/2015

1 / 2

Solicitante: JUAREZ MOTA PINHEIRO  
RUA DAS CEGONHAS CASA 01, 14, SAO LUIS, MA

Contratante: O MESMO

### Características do Instrumento

Descrição: DATA LOGGER

Identificação: 10555311

Marca: ONSET

Modelo: U30

Nº. Serie: 10520716

### Condições Ambientais:

Serviço executado no Laboratório Medição.

Temperatura: 23,0 °C ± 1 °C

Umidade: 42 %ur ± 5%ur

### Procedimentos

Calibração Executada conforme: ITTEC048

Revisão: 1

### Padrões

Identificação  
PTO-0693 TERMOHIGROMETRO PADRÃO

Marca  
MINIPA

Certificado  
PTO069307/07/15

Calibrado por  
MEDIÇÃO-CAL0183

Validade  
07/2018

### Resultados Obtidos

#### TEMPERATURA (°C)

Faixa de Uso: 2,00 a 40,00 °C

Faixa de Indicação: -10,00 a 50,00 °C

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	( k )	Veff
°C	°C	°C	°C	°C		
2,00	2,16	0,16	0,50	0,66	2,00	Infinito
8,00	7,89	-0,11	0,50	0,61	2,00	Infinito
15,00	14,86	-0,14	0,50	0,64	2,00	Infinito
20,00	19,70	-0,30	0,50	0,80	2,00	Infinito
30,00	29,30	-0,70	0,50	1,20	2,00	Infinito
40,00	39,10	-0,90	0,00	0,90	2,00	Infinito

#### UMIDADE RELATIVA DO AR (%UR)

Faixa de Uso: 20,00 a 90,00 %UR

Faixa de Indicação: 10,00 a 100,00 %UR

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	( k )	Veff
%UR	%UR	%UR	%UR	%UR		
20,00	20,10	0,10	3,00	3,10	2,00	Infinito
30,00	30,40	0,40	3,00	3,40	2,00	Infinito
50,00	50,70	0,70	3,00	3,70	2,00	Infinito
70,00	71,00	1,00	3,00	4,00	2,00	Infinito
90,00	91,30	1,30	0,00	1,30	2,00	Infinito

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.



**MEDICÃO**  
SOLUÇÕES METROLÓGICAS INTEGRADAS

## Certificado de Calibração Laboratório Medição São Luís

Certificado: 159674/15

Data Calibração: 27/10/2015

OS: 326529-A/2015

2 / 2

### Observações Gerais

NÃO HOUVE AJUSTE

- V.R: Valor de Referência na unidade de medição do padrão.
- V.I: Valor médio indicado no instrumento na unidade de medição do mesmo.
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência  $k$ , o qual para uma distribuição  $t$  com  $V_{eff}$  graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- A condição de Aprovado/Reprovado se restringe apenas as grandezas metroológicas do instrumento, sendo que o limite de erro especificado para esta condição é de responsabilidade do Cliente.
- A operação de ajuste / regulagem não faz parte do escopo dos serviços
- A validade de calibração do instrumento, quando apresentada neste certificado, é de responsabilidade do cliente.

Endereço de Emissão: AVENIDA SÃO LUÍS REI DE FRANÇA, LOJA 08 - Bairro: TURU - SÃO LUÍS - MA  
Data de emissão: 27 de outubro de 2015

Campo reservado ao Cliente

  
Assinado eletronicamente  
ROBSON DA SILVA  
Gerente Técnico



## Certificado de Calibração Laboratório Medição Contagem



**Certificado:** PTO-069307/07/15  
Rede Brasileira de Calibração

**Data Calibração:** 07/07/2015 **Validade:** 07/2016  
**Referência:** 93492/15 **OS:** 306148-A/2015

1 / 2

**Solicitante:** AGUIAR COMERCIO E SERVICOS LTDA  
AVENIDA SÃO LUÍS REI DE FRANÇA, 19, SÃO LUÍS, MA  
**Contratante:** MEDIÇÃO SOLUÇÕES METROLÓGICAS INTEGRADAS

### Características do Instrumento

**Descrição:** TERMOHIGROMETRO **Identificação:** PTO-0693  
**Marca:** MINIPA **Modelo:** MTH-1380

### Condições Ambientais:

Serviço executado no Laboratório Medição.

**Temperatura:** 23,0 °C ± 5 °C **Umidade:** 50 %ur ± 20%ur

### Procedimentos

Calibração Executada conforme: IT.INM055 **Revisão:** 1

### Síntese do Procedimento

Calibração foi realizada por comparação em um meio termostático com homogeneidade conhecida. Este laboratório adota a Escala Internacional de Temperatura de 1990.

### Padrões

Identificação	Marca	Certificado	Calibrado por	Validade
PTO-0225 TERMOHIGROMETRO PADRÃO	ROTRONIC	LV32118-14-R0	VISOMES	09/2015

### Resultados Obtidos

#### TEMPERATURA

**Faixa de Uso:** -20,0 a 60,0 °C

**Faixa de Indicação:** -20,0 a 60,0 °C **Resolução:** 0,1 °C

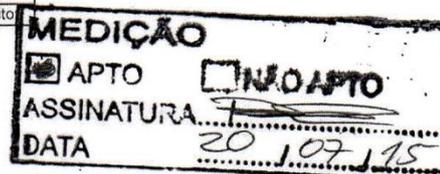
V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	(k)	Veff
°C	°C	°C	°C		
14,7	14,8	0,1	0,5	2,00	Infinito
19,7	20,0	0,3	0,5	2,00	Infinito
24,8	25,1	0,3	0,5	2,00	Infinito

#### UMIDADE

**Faixa de Uso:** 0,0 a 100,0 %UR

**Faixa de Indicação:** 0,0 a 100,0 %UR **Resolução:** 0,1 %UR

V.R	V.I	Erro de Medição	Incerteza Expandida	(k)	Veff
%UR	%UR	%UR	%UR		
40,9	45	4	3	2,00	Infinito
61,2	66	5	3	2,00	Infinito
81,2	90	9	3	2,00	Infinito



O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.

www.medicaocontagem.com.br

Rua Paulo D'Assunção, 325 - Jardim Industrial - Contagem - MG - CEP: 32215-270 - (31) 3119.1999 - medicao@medicaocontagem.com.br



## Certificado de Calibração Laboratório Medição Contagem



**Certificado: PTO-069307/07/15**  
Rede Brasileira de Calibração

**Data Calibração: 07/07/2015** **Validade: 07/2016**  
Referência: 93492/15 OS: 306148-A/2015

2 / 2

### Observações Gerais

- UMIDADE REFERENCIADA A 20,0 °C.
- NÃO HOUE AJUSTE

- V.R: Valor de Referência na unidade de medição do padrão.
- V.I: Valor médio indicado no instrumento na unidade de medição do mesmo.
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com Veff graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- A condição de Aprovado/Reprovado se restringe apenas as grandezas metroológicas do instrumento, sendo que o limite de erro especificado para esta condição é de responsabilidade do Cliente. Esta atividade não faz parte do escopo de acreditação do laboratório pelo CGCRE.
- A operação de ajuste / regulagem não faz parte do escopo de acreditação do laboratório pelo CGCRE.
- A validade de calibração do instrumento, quando apresentada neste certificado, é de responsabilidade do cliente e não faz parte do escopo de acreditação do laboratório pelo CGCRE.

Endereço Laboratório: RUA PAULO D'ASSUNÇÃO , N° 325, JD. INDUSTRIAL, CONTAGEM, MG  
Endereço de Emissão: RUA PAULO D'ASSUNÇÃO , N° 325 - Bairro: JD. INDUSTRIAL - CONTAGEM - MG  
Data de emissão: 08 de julho de 2015

  
Assinado Eletronicamente  
ZULMIRIANA CAMILA DE OLIVEIRA  
Técnico Executor

Campo reservado ao Cliente

  
Assinado Eletronicamente  
CRISTIANO DELFIM  
Gerente Técnico

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.

[www.medicaocontagem.com.br](http://www.medicaocontagem.com.br)

Rua Paulo D'Assunção, 325 - Jardim Industrial - Contagem - MG - CEP: 32215-270 - (31) 3119-1999 - [medicao@medicaocontagem.com.br](mailto:medicao@medicaocontagem.com.br)