

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E LETRAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGGEO**



Geovane da Silva Abreu

**ANÁLISE TÊMPORO-ESPACIAL DA RELAÇÃO ENTRE A COBERTURA DO
SOLO E A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NA CIDADE DE TERESINA (PI)
MEDIANTE O USO DE GEOPROCESSAMENTO**

**Teresina (PI)
2016**

Geovane da Silva Abreu

**ANÁLISE TÊMPORO-ESPACIAL DA RELAÇÃO ENTRE A COBERTURA DO
SOLO E A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NA CIDADE DE TERESINA (PI)
MEDIANTE O USO DE GEOPROCESSAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO) da Universidade Federal do Piauí (UFPI) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Linha de pesquisa: Estudos Regionais e Geoambientais

Orientador: Prof. Dr. Carlos Sait Pereira de Andrade

**Teresina (PI)
2016**

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Humanas e Letras
Serviço de Processamento Técnico

A162a Abreu, Geovane da Silva.
Análise têmporo-espacial da relação entre a cobertura do solo e a temperatura de superfície na cidade de Teresina (PI) mediante o uso de geoprocessamento / Geovane da Silva Abreu. – 2016.
152 f. : il.
Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Piauí, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Carlos Sait Pereira de Andrade.
1. Clima Urbano. 2. Satélite Landsat. 3. Supressão da Vegetação. 4. Sensoriamento Remoto. I. Título.

CDD 526.983 3

GEOVANE DA SILVA ABREU

**ANÁLISE TÊMPORO-ESPACIAL DA RELAÇÃO ENTRE COBERTURA DO SOLO E A
TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NA CIDADE DE TERESINA (PI) MEDIANTE O USO DE
GEOPROCESSAMENTO**

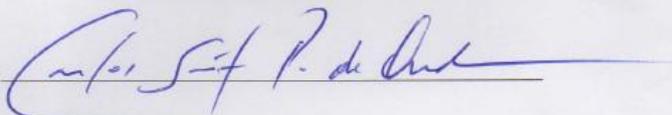
Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO), da Universidade Federal do Piauí, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia sob a orientação da Prof.^o Dr.^o CARLOS SAIT PEREIRA DE ANDRADE. Área de Concentração: Organização do Espaço e Educação Geográfica. Linha de Pesquisa: Estudos Regionais e Geoambientais.

Resultado da Defesa: APROVADO

Teresina, 26 de agosto de 2016.

Banca Examinadora

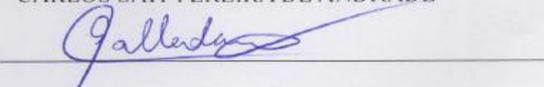
Prof.^o Dr.



[Orientador- Presidente]

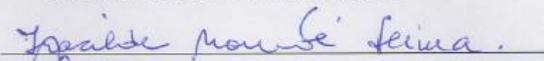
CARLOS SAIT PEREIRA DE ANDRADE

Prof.^o Dr.^o



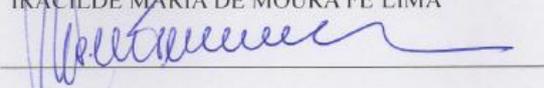
[Examinador Interno ao Programa – PPGGEO - UFPI]
GUSTAVO SOUZA VALLADARES

Prof.^a Dr.^a



[Examinadora Interna ao Programa – PPGGEO - UFPI]
IRACILDE MARIA DE MOURA FÉ LIMA

Prof.^o Dr.^o



[Examinador Externo ao Programa - UFPI]
MARCOS ANTONIO DE CASTRO MARQUES TEIXEIRA

Dedico estes escritos aos meus pais,
Teresa Valério e João Abreu, de quem
obtive exemplos de simplicidade e
honradez.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e do presente.

Toda caminhada começa com o primeiro passo que, geralmente, se dá sozinho. Daí em diante entrecruzam-se outros caminhos com pessoas que compartilham certos trechos da caminhada e nos ajudam a aliviar o cansaço da jornada. A essas pessoas que, durante o percurso nos aliviaram com sombra e/ou água fresca, agradeço sinceramente pela contribuição à consecução deste trabalho. A forma não é relevante: material, intelectual, emocional ou espiritual. O que importa é que estiveram lá. Os nomes, também não são relevantes, pois corre-se o risco de incorrer em injustiças. O que importa é a consciência e o valor da contribuição.

*“Sob o Sol insensível
A cidade se desperta
Resiste, reveste-se,
Acolhe-te, bem esperta.
Renova-se, em silêncio
Queixa-se, com razão certa”
(Geovane Abreu)*

RESUMO

A cidade representa o mais efetivo domínio da técnica humana sobre a natureza. Sua expressão geográfica na atualidade é notável e sua importância socioespacial revela um mundo cada vez mais urbano. Nesse contexto, se insere a cidade de Teresina, com seus 164 anos de fundação, revelando que são nos espaços urbanos que se encontram de forma mais expressiva os problemas de ordem ambiental, dentre os quais, aqueles relacionados ao clima. Assim, compreende-se que a urbanização provoca notáveis transformações sobre as condições locais do clima. O clima urbano é, então, específico para cada cidade. Nesta perspectiva, esta pesquisa teve como objetivo geral: Analisar a relação entre a cobertura do solo e a temperatura de superfície da cidade de Teresina (PI), com o uso de geoprocessamento, de 1985 a 2015. Os específicos, são os que seguem: 1) Caracterizar a relação entre crescimento da cidade e a supressão da vegetação em Teresina e o impacto sobre a temperatura de superfície; 2) Demonstrar a importância das áreas verdes no contexto do clima urbano de Teresina (PI) e 3) Identificar as classes de cobertura do solo na cidade de Teresina e relacioná-las às classes de temperatura de superfície. Para atingir esses objetivos, os procedimentos metodológicos desenvolvidos incluíram o geoprocessamento, através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), de imagens de satélite da cidade em três momentos distintos: outubro de 1985, outubro de 2001 e outubro de 2015. A partir dessas imagens, foram produzidos os mapas de cobertura do solo e mapas de temperatura de superfície, relativos a cada ano em análise. Para a extração dos dados de temperatura superficial foram utilizados procedimentos matemáticos com a banda termal dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 8*. Ao final da pesquisa, foi possível compreender as relações existentes entre as classes de cobertura do solo e as classes de temperatura, à luz das transformações da superfície urbana da cidade, desencadeadas pelo processo de urbanização.

PALAVRAS-CHAVE: Clima urbano. Satélite *Landsat*. Supressão da vegetação. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The city is the most effective dominion of human technology over nature. Its geographical expression today is remarkable and its importance sociospatial reveals an increasingly urban world. In this context, it insert the city of Teresina, with its 164 years of foundation, revealing that are in urban areas that are more expressive the problems of environmental, among which, those related to climate. Thus, it is understood that urbanization causes remarkable changes on local climate conditions. The urban climate is then specific to each city. In this perspective, this study aimed general objective: Analyze the relationship between the soil cover and the surface temperature of the city of Teresina (PI), using geoprocessing, from 1985 to 2015. The specific, are the following: 1) To characterize the relationship between growth of the city and the removal of vegetation in Teresina and the impact on surface temperature; 2) Demonstrate the importance of green areas in the context of urban climate of Teresina (PI) and 3) Identify the land cover classes in the city of Teresina and relate them to surface temperature classes. To achieve these objectives, the developed methodological procedures included geoprocessing through a Geographic Information System (GIS), city satellite images at three different times: October 1985, October 2001 and October 2015. From these images, were produced soil cover maps and surface temperature maps, for each year under review. For the extraction of surface temperature data were used mathematical procedures with the thermal band of Landsat 5 satellite and Landsat 8. At the end of the study, it was possible understand the relationship between land cover classes and temperature classes, the light the transformation of the urban surface of the city, triggered by urbanization process.

KEYWORDS: Urban climate. Landsat Satellite. Removal of vegetation. Remote sensing

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS, GRÁFICOS, QUADROS E TABELAS

Figura 1	Orientação das ruas e sombreamento das construções	27
Figura 2	Esquema das escalas climáticas e camadas verticais encontradas nas áreas urbanas	29
Figura 3	Representação esquemática de um sistema, assinalando os elementos (A, B, C e D) e suas relações, assim como o evento entrada e o produto saída	31
Figura 4	Tríade complexa do clima da cidade	35
Figura 5	Diagrama básico do Sistema Clima Urbano	39
Figura 6	Diagrama que representa o subsistema termodinâmico	40
Figura 7	Organograma que sintetiza todos os procedimentos realizados com as imagens de satélite	77
Figura 8	Mapa de localização da área de estudo	78
Figura 9	Localização dos marcos de delimitação do patrimônio territorial de Teresina-1850	81
Figura 10	Mapa hipsométrico da cidade de Teresina e adjacências	88
Figura 11	Encontro dos rios Parnaíba e Poti, no bairro Poti Velho (região Norte)	90
Figura 12	Vegetação preservada no Jardim Botânico de Teresina	91
Figura 13	Remanescentes de babaçu na área do bairro Jacinta Andrade (região Norte)	91
Figura 14	Vegetação urbana ao longo do canteiro central da Avenida Frei Serafim	92
Figura 15	Vegetação nativa na área de expansão urbana do bairro Chapadinha (região Norte)	93
Figura 16	Mapa que mostra a insolação total no Brasil, conforme as normais climatológicas (1960-1991)	98
Figura 17	Mapa de cobertura do solo para Teresina relativo a outubro de 1985	105

Figura 18	Vista da construção do conjunto Parque Piauí, na região Sul, em 1968	108
Figura 19	Fase de finalização do conjunto Mocambinho I em 1982	109
Figura 20	Mapa da temperatura de superfície da banda termal do satélite <i>Landsat 5</i> para Teresina, outubro de 1985	110
Figura 21	Mapa de cobertura do solo para Teresina relativo a outubro de 2001	115
Figura 22	Mapa da temperatura de superfície da banda termal do satélite <i>Landsat 5</i> para Teresina, outubro de 2001	118
Figura 23	Mapa de cobertura do solo para Teresina relativo a outubro de 2015	123
Figura 24	Imagem do conjunto Torquato Neto (região Sul)	125
Figura 25	Expansão urbana na região Sudeste	126
Figura 26	Mapa da temperatura de superfície da banda termal do satélite <i>Landsat 8</i> para Teresina, outubro de 2015	128
Figura 27	Terreno em terraplanagem no bairro Angelim (região Sul)	129
Figura 28	Área com solo exposto no bairro Santa Maria da Codipi (região Norte)	130
Figura 29	Coberturas metálicas e de fibrocimento nas imediações da Avenida Frei Serafim (bairro Centro)	131

GRÁFICOS

Gráfico 1	Quantidade de municípios investigados no Brasil: 2001 a 2010	62
Gráfico 2	Pesquisas em clima urbano desenvolvidas na região Nordeste no período de 2000 a 2012	63
Gráfico 3	Variação anual da temperatura média e máxima em Teresina (1961-1990)	97
Gráfico 4	Variação anual da insolação em Teresina (1961-1990)	99
Gráfico 5	Variação anual da precipitação e umidade relativa em Teresina (1960-1991)	101
Gráfico 6	Temperatura máxima e média para Teresina, ano de 1985	112

Gráfico 7	Comparação da temperatura máxima diária (outubro de 1985) em relação à temperatura máxima diária (normal climatológica 1961-1990), em Teresina	113
Gráfico 8	Chuva acumulada mensal (1985) x Chuva acumulada mensal (normal climatológica 1961-1990)	114
Gráfico 9	Temperatura máxima e média para Teresina, ano de 2001	120
Gráfico 10	Comparação da temperatura máxima diária (outubro de 2001) em relação à temperatura máxima diária (normal climatológica 1961-1990), para Teresina	121
Gráfico 11	Temperatura máxima e média para Teresina, ano de 2015	132
Gráfico 12	Comparação da temperatura máxima diária (outubro de 2015) em relação à temperatura máxima diária (normal climatológica 1961-1990), para Teresina	132

QUADROS

Quadro 1	Categorias taxonômicas de organização geográfica do clima e suas articulações com o Clima Urbano	23
Quadro 2	Sistema Clima Urbano (S.C.U.): articulações dos sistemas segundo os canais de percepção	42
Quadro 3	Elementos e valores constituintes da fórmula de cálculo da radiância	73
Quadro 4	Constantes de calibração da banda termal dos satélites <i>Landsat</i> 5 (banda 6) e <i>Landsat</i> 8 (banda 10)	73
Quadro 5	Símbolos e valores constituintes da fórmula de cálculo da temperatura de superfície	74
Quadro 6	Síntese das principais discussões e resultados obtidos	135

TABELAS

Tabela 1	Características da banda termal nos satélites da série <i>Landsat</i> ..	58
Tabela 2	Parâmetros das imagens de satélite utilizadas na pesquisa	68
Tabela 3	Características específicas das bandas utilizadas para a produção do mapa de cobertura do solo	69
Tabela 4	Propriedades radiantes de alguns materiais	74
Tabela 5	Evolução da população no município de Teresina (1980-2015) ..	84

Tabela 6	Evolução da população na cidade de Teresina (1991-2010)	85
Tabela 7	Valores de cobertura do solo para Teresina relativos a outubro de 1985	107
Tabela 8	Valores de cobertura do solo para Teresina relativos a outubro de 2001	117
Tabela 9	Temperatura superficial de alguns materiais	119
Tabela 10	Valores de cobertura do solo para Teresina relativos a outubro de 2015	124

LISTA DE SIGLAS

BNH – Banco Nacional de Habitação

COHAB-PI – Companhia de Habitação do Piauí

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Meio Norte

IAPEP – Instituto de Assistência e Previdência Privada do Estado do Piauí

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MAX-VER – Máxima Verossimilhança

MEC – Massa Equatorial Continental

NASA – National Aeronautics and Space Administration

PDLI – Plano de Desenvolvimento Local Integrado de Teresina

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

PMT – Prefeitura Municipal de Teresina

SEMPPLAN – Secretaria Municipal de Planejamento

SCU – Sistema Clima Urbano

SIG – Sistema de Informações Geográficas

TGS – Teoria Geral dos Sistemas

TST – Temperatura da Superfície Terrestre

USGS – United States Geological Survey

VCANs – Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	CLIMA URBANO: DOS FUNDAMENTOS CONCEITUAIS E METODOLÓGICOS	20
2.1	A abordagem geográfica do clima	21
2.2	A cidade, o clima e as discussões em tela	25
2.3	Climatologia geográfica: revisitando metodologias e abordagens do clima	45
2.4	O uso do sensoriamento remoto em estudos de clima urbano	52
2.5	Mapeando as pesquisas em clima urbano de Teresina	61
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA EM FOCO	67
4	O URBANO E O CLIMA DE TERESINA	78
4.1	A dinâmica espacial e a urbanização em Teresina	78
4.2	Caracterização geocológica da área de estudo	86
4.2.1	Arcabouço geológico e geomorfológico	86
4.2.2	Caracterização hidrográfica	89
4.2.3	Tipos vegetacionais	90
4.3	A dinâmica do clima em Teresina	94
4.3.1	A variação do campo térmico	96
4.3.2	A variação do campo higrométrico e o regime de chuvas	100
5	TERESINA: DISTRIBUIÇÃO TÊMPORO-ESPACIAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE	103
5.1	Temperatura de superfície: dinâmica observada em outubro de 1985	103
5.2	Temperatura de superfície: dinâmica observada em outubro de 2001	114
5.3	Temperatura de superfície: dinâmica observada em outubro de 2015	122
6	CONCLUSÕES	137
	REFERÊNCIAS	140

1 INTRODUÇÃO

O ambiente urbano, espaço onde se verifica com maior intensidade as interações homem-meio, destaca-se, na maioria das vezes, pela ausência e/ou ineficiência das políticas de planejamento. Dessa forma, a cidade apresenta-se como a grande expressão geográfica da atualidade sendo crescente sua importância espacial, demográfica, socioeconômica e cultural, fato que revela um mundo cada vez mais urbano. Nesse sentido, são nos espaços urbanos, sobretudo nas médias cidades e metrópoles dos países não desenvolvidos que se encontram de modo mais expressivo os problemas de ordem ambiental, dentre os quais, aqueles relacionados ao clima (ZANELLA e MOURA, 2013).

O objeto da pesquisa é a cidade de Teresina, especificamente o seu clima, materializado na variável temperatura. Nesse aspecto, Mendonça e Danni-Oliveira (2007), consideram, para a realidade teresinense, o clima Tropical-Equatorial com seis meses secos, tendo fevereiro e julho como os meses com os mais baixos índices térmicos, e outubro, os mais elevados.

Assim, considerando as características tropicais do Brasil, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos centrando-se no elemento temperatura, que é o primeiro a sofrer alterações decorrentes da urbanização. E nesta temática, muitas dessas pesquisas têm utilizado as contribuições de Monteiro (1976) como metodologia e/ou referencial teórico (MENDONÇA et al., 2012).

Nessa perspectiva, também foi utilizado neste trabalho as concepções de Monteiro (1976) e trabalhos posteriores como embasamento teórico referentes às discussões do clima urbano. Outras obras, também importantes, foram utilizadas para aprofundamento das discussões. Podemos destacar os trabalhos de Andrade (2000, 2009, 2012), Amorim, Sant'Anna Neto e Monteiro (2013), entre outros.

Mediante o uso de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento, procedeu-se à caracterização da superfície da cidade, relacionando-a à expressão espaço-temporal de sua temperatura. Para isso, foi contemplado um período de 30 anos, de 1985 a 2015. Nesse intervalo, foram utilizadas imagens de satélite referentes aos anos de 1985, 2001 e 2015. Para cada ano em análise, as discussões foram desenvolvidas à luz da caracterização do uso e ocupação do solo urbano, refletidas na cobertura deste, objetivando relacionar como tais atividades

impactam sobre a cobertura vegetal da cidade e, conseqüentemente, sobre as temperaturas de superfície.

Nas discussões tecidas sobre o uso do sensoriamento em estudos de clima urbano, a pesquisa embasou-se nos trabalhos de Lombardo (1985), Coltri (2006), Moreira e Galvêncio (2007), Moura e Thiers (2010), Moreira e Nóbrega (2011), Holz et al. (2012), Dorigon e Amorim (2013), Coelho e Correa (2013), Cardoso e Amorim (2014), Pavão et al. (2014), entre outros, com o intuito de legitimar a abordagem que hora se apresenta.

As imagens de satélite trabalhadas nesta pesquisa correspondem as imagens captadas pelo satélite *Landsat 5* (imagens de 1985 e 2001) e *Landsat 8* (imagens de 2015), ambas dentro do mês de outubro de cada ano considerado. Estas imagens foram obtidas gratuitamente no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e também no *United States Geological Survey* (USGS) (Serviço Geológico dos Estados Unidos). Através do geoprocessamento dessas imagens em ambiente de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi produzido, principalmente, dois produtos cartográficos, que são o mapa de cobertura do solo e o mapa de temperatura de superfície, com o intuito de relacioná-los à dinâmica espacial que se apresenta na cidade.

Ressalta-se que o intervalo de tempo descrito acima contempla importantes transformações ocorridas na superfície da cidade de Teresina, resultantes do processo de urbanização. Além disso, de acordo com Ayoade (2007) e Mendonça e Danni-Oliveira (2007), 30 anos é o tempo mínimo considerado para se trabalhar com possíveis alterações climáticas em um determinado lugar.

A escolha pela aquisição das imagens referentes ao mês de outubro está assentada em três aspectos: i) o mês de outubro é o mais característico para a representatividade do período mais quente em Teresina, conforme escreve Mendonça e Danni-Oliveira (2007); ii) a disponibilidade das referidas imagens para os anos considerados, bem como para a órbita/ponto; iii) e a cobertura de nuvens para esse mês sobre a cidade geralmente é reduzida. Essa característica relaciona-se a uma maior qualidade das imagens e, conseqüentemente melhora a interpretação das mesmas. A pesquisa é, então, episódica, pois se trata de uma análise feita em um dia representativo do mês de outubro de cada ano, mas que fornece uma possibilidade profícua de se compreender os elementos que se conjugam e definem o clima urbano em Teresina.

Para o desenvolvimento da pesquisa, parte-se do pressuposto que em Teresina nos últimos anos com o aumento do número de conjuntos habitacionais e bairros, nas várias regiões da cidade, conforme demonstra os estudos de Lima (2011a) e Rodrigues (2013). Em Teresina esse processo tem resultado no aumento da densidade construída em detrimento da densidade de cobertura vegetal.

Tal fato tem impactado sobre a cobertura da superfície urbana, provocando alterações no comportamento dos alvos urbanos, refletindo, sobretudo, na refletância e na emissividade dos mesmos. Assim, o incremento dos valores de temperatura de superfície ocorre em função do aumento da área urbanizada e solos expostos, que possuem valores mais baixos de refletância e emissividade, o que traz como consequência a elevação da temperatura do ar. No ambiente intra-urbano, conforme Dorigon e Amorim (2013) uma ocorrência de maior densidade de vegetação constitui um elemento mitigador dos padrões térmicos típicos desse espaço, em comparação com a zona rural. A dinâmica evidenciada em Teresina nos últimos anos caminha na contramão para a manutenção do equilíbrio térmico e ambiental da cidade.

Nesse contexto, foram desenvolvidos os questionamentos a seguir como forma de abordagem da problemática: Qual a importância das áreas verdes no contexto do clima urbano de Teresina? Qual o impacto da expansão urbana sobre a redução das áreas verdes? O atual modelo de urbanização em Teresina é compatível com as características geográficas da cidade? As políticas de intervenção têm correspondido à complexidade da dinâmica urbana nesta cidade? Como se distribui temporal e espacialmente a variação da temperatura de superfície em Teresina? Os pressupostos discutidos direcionaram os objetivos que foram propostos para esta pesquisa. Tais objetivos, são os que se apresentam a seguir:

Objetivos:

Geral

- Analisar a relação entre a cobertura do solo e a temperatura de superfície da cidade de Teresina (PI) com o uso de geoprocessamento, de 1985 a 2015.

Específicos

- Caracterizar a relação entre o crescimento da cidade e a supressão da vegetação em Teresina e o impacto sobre a temperatura de superfície;

- Demonstrar a importância das áreas verdes no contexto do clima urbano de Teresina (PI);
- Identificar as classes de cobertura do solo na cidade de Teresina e relacioná-las com as classes de temperatura de superfície;

A opção por essa linha de pesquisa justifica-se pela inquietação que a dinâmica da cidade de Teresina provoca no autor, uma vez que, desde a sua fundação, a cidade expande-se contraditoriamente aos preceitos que regem a noção de planejamento. Adicionalmente, o autor já dispunha de algumas leituras prévias sobre o tema e que serviram de embasamento teórico para a consecução do trabalho. Assim, um ponto a considerar sobre a relevância deste trabalho está no fato de este constituir-se em um campo de pesquisa em crescimento na cidade de Teresina. Tal constatação pode ser evidenciada a partir das discussões já realizadas nessa temática e que se revestem em ponto de partida para esta pesquisa.

O trabalho em tela tem, então, a intenção de contribuir com as discussões referente às relações que se estabelecem entre a expansão urbana e as modificações que provoca nos elementos climáticos da cidade de Teresina, principalmente, o aumento dos níveis de temperatura, aqui considerada a temperatura de superfície, mas, seguramente, com reflexos na temperatura do ar. Com o aumento da malha urbana em direção às fronteiras do espaço rural, tem-se, ao mesmo tempo, a diminuição das áreas com vegetação e aumento da área construída, resultando em alterações locais no clima (ANDRADE, 2009).

Nesse sentido, as constantes modificações feitas no espaço urbano tem sido alvo de inúmeras pesquisas no sentido de analisar as consequências destas interferências. Uma dessas consequências investigadas diz respeito à produção do clima específico da cidade, o clima urbano.

Na cidade de Teresina, especificamente, trabalhos como os de Andrade (2000, 2009, 2012), Silveira (2007), Feitosa (2010), Feitosa et al. (2011), Araújo (2014), entre outros, têm contribuído bastante para essas discussões. Considerando a singularidade do clima urbano para cada cidade, tem-se a necessidade de se trabalhar o contexto onde se insere cada sítio urbano, pois como afirma Andrade (2009) o estudo do clima de um lugar requer a inserção deste nas características de circulação geral e regional, bem como a análise da dinâmica e inter-relação entre os elementos e fatores do clima predominantes no lugar.

Tem-se, assim, as premissas que norteiam esta pesquisa. A cidade expande-se, com a criação de novos bairros e conjuntos habitacionais em todas as regiões da cidade. Com efeito, altera-se o perímetro urbano em direção ao espaço rural e restringem-se cada vez mais os espaços que antes eram demarcados pela presença da vegetação nativa, e sobre esses últimos aumenta-se a densidade de área construída. Com isso, tem-se o desequilíbrio térmico e ambiental da cidade, uma vez que na cidade de Teresina, os maiores problemas decorrentes da alteração da dinâmica dos elementos do clima assumem maior expressão no campo térmico e/ou pluviométrico (ANDRADE, 2012).

Compreendendo a cidade numa abordagem sistêmica, conforme orienta Monteiro (1976), e considerando a emergência de novas tecnologias de estudo do espaço geográfico nos últimos anos, questiona-se ainda como o uso do sensoriamento remoto, por exemplo, pode subsidiar estudos de clima urbano, principalmente na temperatura de superfície, na cidade de Teresina. O uso das imagens de satélite permitiu caracterizar as transformações que a cidade tem vivenciado nos últimos 30 anos, e os reflexos na variável temperatura.

2 CLIMA URBANO: DOS FUNDAMENTOS CONCEITUAIS E METODOLÓGICOS

Na sua ação mais efetiva, o homem, ao produzir e reproduzir a sua vida material, que se faz notar mais intensamente na cidade, produz o clima urbano. O espaço de instalação do sítio urbano, outrora palco da predominância de uma natureza pouco alterada, cada vez mais se distancia de seus atributos genéticos, uma vez que as novas características impostas aí contrastam drasticamente com aquelas que, originalmente, sustentaram o nascedouro da cidade. Tais características destacam-se tanto pela sua abrangência espacial quanto pelas consequências que engendram.

A cidade produz e reproduz espaços. Assim, tais espaços tornam-se palco de uma lógica que, muitas vezes explica-se por questões exógenas. Esta é a lógica do capital que se materializa na forma e na função dos espaços urbanos. Com efeito, se produz também uma singularidade em cada sítio. Ora, mas a lógica é a mesma em toda cidade, ou seja, a reprodução do capital. Isso é verdade, mas a maneira como cada cidade se apresenta é diferente, pois em cada cidade existe uma dinâmica diferente, o capital aí se modifica para atingir seu objetivo. Ajusta-se às características geológicas de cada sítio e também às características culturais.

Com relação às características geológicas, o capital as modifica, e muitas vezes as fazem desaparecer, guardadas as devidas correlações, pois na maioria das vezes o *modus operandi* que se aplica às cidades de países subdesenvolvidos e emergentes não leva em consideração os desdobramentos dessas intervenções. Como consequência, tem-se a piora da qualidade ambiental das cidades. Dentre essas consequências pode-se citar a produção de um clima específico da cidade, o clima urbano.

Assim, esta seção que aqui se inicia apresenta a fundamentação teórico-metodológica sobre a qual se assenta esta pesquisa. A mesma busca apresentar um incremento à discussão que tão bem é conduzida pelos autores aqui relacionados. Talvez seja pretensão demais fazer parte de um arcabouço que há muito tem contribuído enormemente para o avanço da ciência geográfica, em sua categoria intitulada climatologia geográfica. No entanto, entendemos que todo pesquisador almeja dar sua contribuição a um determinado campo de estudo e, ao dissertar com essa intenção, não somente escrever por escrever, procura elevar o nível de conhecimento próprio como também para aqueles que procuram subsídios para a

compreensão de um dado fenômeno da realidade geográfica, e assim possibilitar desdobramentos e inquietações, novos contornos e caminhos, que possam manter o dinamismo inerente à ciência geográfica desde o seu nascedouro.

2.1 A abordagem geográfica do clima

O clima, entendido como um fenômeno geográfico, articula-se necessariamente ao dinamismo que se estabelece entre a atmosfera e a superfície terrestre. Desta inter-relação resulta que a atmosfera da Terra possui singularidades em cada ponto do globo, considerando a possibilidade da interação entre elementos e fatores do clima.

As múltiplas possibilidades desta interação vão produzir as variedades de climas existentes no globo, começando a partir de uma escala zonal, mediada pela diferenciação de radiação recebida anualmente, até aquela que se estabelece no nível dos microclimas, formada por uma assembleia muito complexa de elementos em inter-relação. Sobre essa concepção, Sant'Anna Neto (2008) entende que foi a obra de Max Sorre a fundadora da abordagem eminentemente geográfica, ao captar a essência do caráter genético e dinâmico do clima.

Nessa perspectiva, este trabalho situa-se no âmbito do marco teórico em apreço, ao considerar o conceito de clima como:

a série de estados atmosféricos sobre determinado **lugar** em sua **sucessão habitual**. Cada um desses estados caracteriza-se pelas suas **propriedades dinâmicas** e **estáticas** da coluna atmosférica, composição química, pressão, tensão dos gases, temperatura, grau de saturação, comportamento quanto aos raios solares, poeiras ou matérias orgânicas em suspensão, estado do campo elétrico, velocidade de deslocamento das moléculas, etc. (SORRE¹, 2006, p.90, grifo nosso).

Então, o entendimento do clima não pode estar dissociado do dinamismo existente entre o binômio *superfície terrestre-atmosfera*, e as transformações que lhe são impostas. O fato de se considerar a *sucessão habitual* dos estados atmosféricos

¹ Este texto de Sorre, aqui referenciado, corresponde ao capítulo introdutório da obra "*Traité de climatologie biologique et médicale*" publicado em 1934 em Paris sob a direção de M. Piery Masson et Cie Éditeurs. Vol. I, pp. 1 a 9. Traduzido pelo Prof. José Bueno Conti. Departamento de Geografia/FFLCH/USP.

relaciona-se, necessariamente, a inserção do clima dentro das escalas de circulação da atmosfera, bem como as interferências produzidas pelos fatores geográficos, materializados nas distintas formas da dimensão espaço-temporal do clima.

Monteiro (1971), ao discorrer sobre o arcabouço teórico que então iniciava, tomando como lastro o trabalho de Sorre, fundamenta o paradigma do *ritmo climático*, ao dizer que:

o conceito de “ritmo”, expressão da sucessão dos estados atmosféricos, conduz, implicitamente, ao conceito de “habitual” pois que há variações e desvios que geram diferentes graus de distorções até atingir padrões “extremos”. [...] A primeira aproximação válida para o conceito de ritmo seria aquela das variações anuais percebidas através das variações mensais dos elementos climáticos (MONTEIRO, 1971, p.4-5).

Nesse sentido, essa noção dinâmica do clima afasta-se da perspectiva das médias ao dar ênfase ao caráter genético das variações nos tipos de tempo e relacioná-lo à circulação atmosférica. Assim, o que se considera como *habitual* revela o comportamento repetitivo daquilo que convém chamar de tipo climático, mas, ao mesmo tempo, sem perder de vista as possibilidades da ocorrência do excepcional, caracterizado pelos desvios que conduz às variações. Dessa forma, ao considerar o clima como um fenômeno geográfico, entendemos que:

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

A consideração da noção espaço-temporal do clima é fundamental para a compreensão da multiplicidade dos climas da superfície terrestre, bem como para compreender aqueles eventos de maior complexidade, considerados cíclicos, mas que também oferecem subsídios para este entendimento. Na escala local, as mudanças se dão em função das modificações na estrutura das paisagens e das influências urbanas nos microclimas, resultando em particularidades dessas áreas (SANT’ANNA NETO, 2013). A análise não deve, porém, perder de vista as múltiplas conexões de interdependência existentes, partilhando da ideia de que:

o clima de qualquer local do planeta e suas particularidades meteorológicas não serão bem compreendidos e, nem tão pouco,

passíveis de uma análise mais profícua, sem o seu relacionamento às condições climáticas operantes nas escalas dos espaços imediatamente maiores (ANDRADE, 2007, p. 41).

Esse fato é de tal forma definidor que nos permite afirmar que as escalas geográficas do clima (Quadro 1) não são excludentes, ao contrário, elas se entrelaçam, se comunicam, agem mutuamente, compreendendo partes de um todo complexo, e em dinamismo, uma vez que “nada acontece isoladamente” (ANDRADE, 2007, p. 44).

Quadro 1 – Categorias taxonômicas de organização geográfica do clima e suas articulações com o Clima Urbano

Ordens de grandeza (Cailleux & Tricart)	Unidades de superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
II	(milhões de Km)	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	(milhões de Km)	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (Circulação secundária)	Redes transectos
IV	(centenas de Km)	1:1.000.000 1:5.000.000	Sub-Regional (fácies)	Megalópole Grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos	Mapeamento sistemático
V	(dezenas de Km)	1:250.000 1:100.000	Local	Área metropolitana Metrópole	Posto meteorológico Rede complementar	Integração geológica Ação antrópica	Análise espacial
VI	(centenas de Km m)	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (Episódios)	Urbanismo	Especiais
-	Dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade Fácies de bairro/subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
-	Metros	1:2.000	Microclima	Grande edificação Habitação Setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Fonte: Monteiro (2015, p. 130)

Analisando as informações do Quadro 1, percebemos que a escala é um elemento muito importante do estudo do clima, e na Geografia como um todo, pois ela está relacionada ao nível de complexidade que uma determinada abordagem deverá conter. Ao se trabalhar o clima nas escalas mais superiores por exemplo, alguns componentes do sistema poderão passar imperceptíveis, ou serem superficialmente abordados, dado o nível de detalhamento resultante, que não é tão preciso. Por outro lado, numa análise de microclimas, é imprescindível considerar

cada variável em interação, fato que é determinante para se encontrar e compreender as respostas que se busca em determinada investigação.

Tratando-se da inserção do ambiente urbano, como “o lugar da mais efetiva interação entre o homem e a natureza” (MONTEIRO, 2013, p. 10), a observância desta complexidade deve permear a análise das interações que se estabelecem entre os elementos que compõem as especificidades do quadro urbano e a atmosfera em cada local.

É bem verdade que as variações do clima sempre repercutiram fortemente na dispersão e mobilidade dos grupos humanos (SANT’ANNA NETO, 2011), mas hoje as cidades são a prova da capacidade do homem sobre a natureza, ao adaptá-la às suas necessidades e neste caso, tal mobilidade não é mais possível ou não é viável. Assim, o homem, vê-se obrigado a concentrar num mesmo espaço, ou em espaços relativamente próximos, todos os elementos que possam saciar as suas demandas. Demandas por espaço, abrigo, alimento, pelo supérfluo e pelo status. As cidades então são dotadas de uma materialidade que muitas vezes lhe parece estranha.

Monteiro (2008) nos lembra que as cidades cresceram em tamanho e complexidade, em detrimento da retração dos espaços naturais, mas que agora estes últimos são valorizados como alívio às agruras da vida urbana. Assim, a vida que flui atualmente na urbe, guardadas as proporções, reflete o desequilíbrio presente na relação homem-natureza, pois a cidade é a expressão do apogeu da técnica humana sobre o meio natural.

Mendonça (2015) ressalta a importância do planejamento e gestão urbanos no contexto da expressão espacial das cidades, alertando sobre a ausência ou insuficiência de medidas de controle ambiental, como reflexo do crescimento desordenado, criando condições ambientais de forte impacto sobre a vida humana.

Nessa perspectiva, Monteiro (1990b) diz que toda e qualquer sistemática na técnica de análise no interior da cidade, realizada pelo geógrafo, deve ser conduzida por uma ótica que revele o clima da cidade como algo que é produzido a partir de um fenômeno de transformação de energia num jogo integrado entre o ar atmosférico e o ambiente urbano edificado pelo homem. Isto significa que se deve partir do princípio de que a impermeabilização do solo urbano juntamente com a construção de toda a espécie de equipamentos citadinos contribui para a redução do

albedo² e interfere na direção e velocidade dos ventos, alterando as temperaturas de superfície e, conseqüentemente, a temperatura do ar.

Assim, ao adentrar na cidade para investigar o clima, o procedimento preliminar básico dirige-se à análise do campo térmico, a partir do qual, todo um jogo de correlações e interações se produz na geração das características climáticas da cidade. Desse modo, o geógrafo pesquisador do clima urbano terá que produzir um documento especial, acoplando uso do solo à geomorfologia, associando o primitivo às derivações, de modo a revelar as feições geocológicas resultantes e penetrando na trama do urbano, tanto em morfologia quanta nos aspectos dos diferentes dinamismos da vida urbana (MONTEIRO, 1990c).

O perfil geocológico do sítio urbano sobre o qual se assenta a vida na cidade deve, então, ser analisado à luz das transformações que lhe são impostas pela produção de toda espécie de atividade humana que, inadvertidamente, altera as condições naturais dos espaços, produzindo conseqüências, muitas vezes, irreversíveis sobre o equilíbrio ambiental.

2.2 A cidade, o clima e as discussões em tela

As alterações provocadas no ambiente urbano pelo processo de urbanização, como por exemplo, o aumento da densidade de construções e a redução da cobertura vegetal, entre outras, produzem uma espécie de “singularidade climática”, isto é, a produção de um clima típico dos centros urbanos em comparação com as zonas rurais. A reação violenta da natureza frente às intervenções do homem provoca desastres ambientais que podem ocasionar elevados custos sociais, uma vez que tais fenômenos se fazem sentir na qualidade de vida dos habitantes (LOMBARDO, 1985).

É notável que entre as mais variadas alterações antrópicas, destaca-se a transformação da superfície da Terra para usos urbanos, sendo a mais rápida e a mais visível. Nas regiões tropicais, muitas cidades surgiram das rápidas transformações do meio rural, sem muito planejamento e restrições do uso da terra. Como conseqüência, tem-se a emergência de inúmeros problemas, dentre os quais,

² O albedo (refletância) representa uma razão entre a quantidade de radiação solar refletida e a quantidade de radiação incidente sobre os distintos tipos de superfície.

os relacionados ao aumento de temperatura nas cidades, impactando sobre o conforto da população (ROTH, 2007).

Ortigoza e Lombardo (2011) destacam que as áreas urbanas, mesmo ocupando parcelas relativamente pequenas dentro do território apresentam os maiores exemplos de tensão e degradação ambiental, que afetam não só a realidade local, mas também a regional. Quando se suprime a cobertura vegetal, os problemas decorrentes se materializam na proporção da velocidade das alterações, como por exemplo, o aumento das temperaturas nas cidades devido ao aumento da superfície exposta à radiação. Nesse sentido, o homem promove, de maneira concentrada, uma série de derivações sobre a natureza primitiva, efetivada na massa de edificações.

Drew (2011), ao tratar da temática de clima urbano, discorre que os climas urbanos formam uma assembleia extremamente complexa de vários climas locais sobrepostos, criados pelas estruturas e que um único edifício modifica muito os parâmetros climáticos, ainda que em escala diminuta. O referido autor alerta que deveria ser obrigatório para os arquitetos modernos considerar esses aspectos climáticos ao projetar uma construção. Sobre esse aspecto, Freitas (2005) ressalta que:

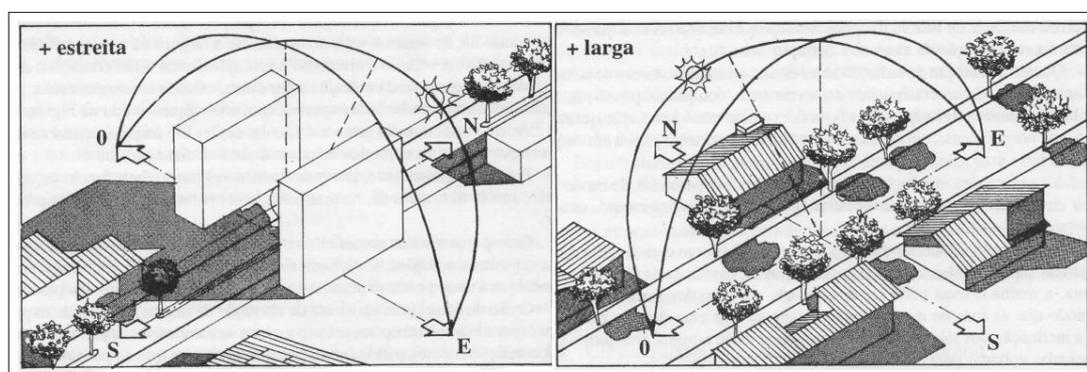
Os princípios norteadores do planejamento urbano e do projeto arquitetônico devem ser uma resposta aos dados climáticos locais, assim como o resultado de experimentos de simulação de condições futuras. Em que zona climática se localiza a área de estudo? Sob que orientação ocorre a maior incidência de radiação solar? O conforto será melhor alcançado com forte ou fraca inércia térmica? Que efeito os volumes edificados implantados terão sobre a velocidade e a direção os ventos predominantes? Como as pessoas percebem as transformações ambientais? (FREITAS, 2005, p. 71).

Nesse sentido, a concepção de qualquer espaço, segundo Freitas (2005), deve ser colocada entre as condições climáticas que prevalecem na região e o estudo das possíveis transformações que tal concepção causará nesse mesmo ambiente. Isso significa a produção de economia e evita o aparecimento de efeitos indesejáveis à população.

Concernente ao projeto arquitetônico das cidades, sobretudo aquelas situadas nas regiões quentes do Brasil, Frota e Schiffer (2003) chamam a atenção para o fato de se procurar respostas que maximizem o desempenho térmico natural, reduzindo assim, a potência necessária dos equipamentos de refrigeração ou

aquecimento. Essas autoras destacam ainda que, nessas regiões, o traçado (Figura 1) das ruas no sentido oeste-leste devem ser mais largos, pois a inclinação dos raios solares ao longo do ano não atingirá com muito mais rigor as fachadas voltadas para essas ruas. E ao contrário, as ruas no sentido norte-sul, devem ser mais estreitas, de modo que as edificações possam se proteger mutuamente da radiação solar direta, devendo-se prever também a construção de praças e desvios, de modo a não canalizar os ventos.

Figura 1 – Orientação das ruas e sombreamento das construções



Fonte: adaptado de Frota e Schiffer (2003, p. 70).

Situando a cidade de Teresina nesse contexto, a observação dessas orientações seria bastante profícua, considerando as características do clima local. Em Teresina, de modo genérico, a construção dos diversos tipos de estruturas urbanas desconsidera as características geográficas presentes. O resultado é o comprometimento da qualidade ambiental da cidade.

Escrevendo sobre esse aspecto das construções urbanas, Monteiro (2013) lamenta que:

nossos arquitetos e urbanistas não possam ainda contar com informações e parâmetros climáticos úteis à criação dos nossos espaços urbanos. Não só no que concerne à tecnologia do conforto térmico como em muitos outros aspectos técnicos de construção e conservação, eles são forçados a utilizar normas estabelecidas para outros países de realidades bem diferentes das nossas. [...] não há diferença arquitetônica entre o Quartier de la Défense, em Paris, o moderno centro comercial de Estocolmo, certas áreas recentes de Nova Iorque, São Paulo, Brasília, etc. De duas, uma: ou essas edificações dispõem de uma tecnologia do conforto tão especializada a ponto de anular completamente a realidade climática, ou há lugares onde o grau de desconforto é enorme (MONTEIRO, 2013, p. 48).

Para Freitas, (2005) a maioria dessas edificações, que seguem padrões internacionais, não apresentam desconforto, sendo o problema de ordem econômica e ambiental, considerando os custos necessários para prover o devido conforto para os seus usuários. É exatamente sobre esse ponto, de ordem econômica e ambiental, que deve residir a concepção dos espaços, sobretudo nas regiões tropicais, isto é, torna-se imprescindível considerar a geografia do local.

No entanto, para as regiões tropicais, o que se observa é uma tentativa bem sucedida de padronização, por meio das sofisticadas técnicas de refrigeração, dos distintos ambientes, resultando no dispêndio cada vez maior de energia e recursos. Para uma época em que o discurso volta-se para as questões ambientais, sobretudo pautado na sustentabilidade, essas práticas caminham na contramão. No interior das construções, busca-se um conforto ambiental e artificial, que visa anular as características do clima local. Fora dele, o efeito choque térmico se acentua, intensificando o desconforto da população.

É fato que as cidades são produtoras de calor. Nelas coexistem toda a espécie de equipamentos urbanos, como os equipamentos termoelétricos e de combustão para a produção de mercadorias e transportes de pessoas e cargas, toda a massa de edificações que se espalham e interferem na direção e velocidade dos ventos (FROTA e SCHIFFER, 2003).

Tomando a inserção da realidade de Teresina como exemplo, tal constatação se revela com muita facilidade. Percorrendo as ruas e avenidas da cidade não é difícil encontrar edifícios modernos que exibem os resultados das mais recentes técnicas de engenharia e arquitetura. Nesse contexto, essa aglomeração de formas e constituição nos provocam certas inquietações: de que maneira um edifício com fachadas espelhadas estaria em sintonia com a realidade do clima de Teresina? Será que nossos arquitetos e engenheiros locais levam em consideração a direção da circulação dos ventos em seus projetos? Como a retirada da cobertura vegetal nativa estaria em conformidade com um projeto racional de construção de um conjunto habitacional?

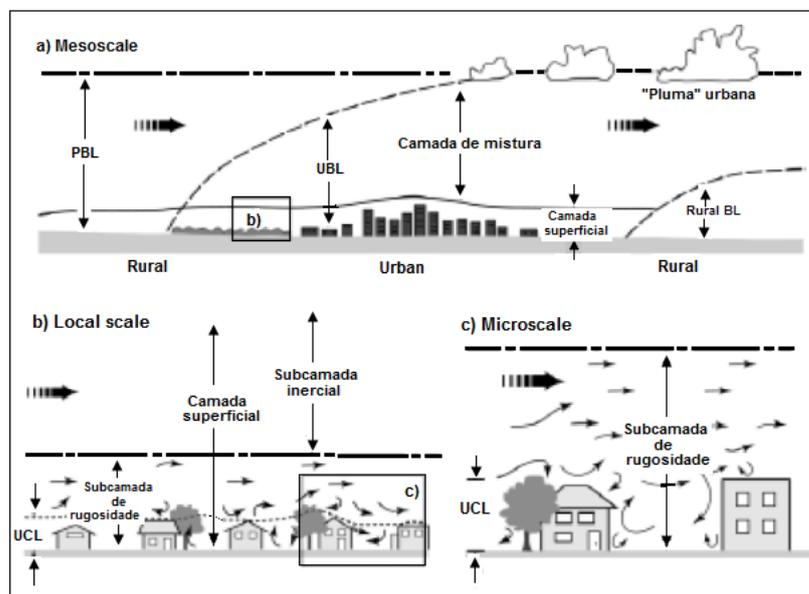
É importante não perder de vista que as transformações da paisagem natural, que ocorrem com a substituição desta pelos equipamentos urbanos em decorrência da ampliação e do crescimento da malha urbana, provocam notáveis mudanças no clima local, fazendo com que o clima das áreas centrais das cidades revele-se diferente do clima do campo circundante (SOBREIRA et al.,2011).

Tais alterações provocam efeitos indesejáveis aos cidadãos. Esses efeitos são relatados por Ayoade (2007), ao dizer que

O maior impacto do homem sobre o clima acontece nas áreas urbanas. O homem tem exercido um impacto tão forte nessas áreas, que o clima urbano é bastante distinto, por suas características, do clima das áreas rurais circundantes. Nas áreas urbanas, altera-se a composição química da atmosfera. As propriedades térmicas e hidrológicas da superfície terrestre, assim como seus parâmetros aerodinâmicos são modificados pelo processo de urbanização e industrialização (AYOADE, 2007, p. 300).

Para cada cidade, um ou mais desses efeitos relacionados tornar-se-ão mais evidentes, conforme as características peculiares de cada sítio urbano. Com efeito, para a compreensão do mecanismo do clima urbano faz-se necessário considerar a cidade como um sistema aberto por onde circulam fluxos de energia, os quais sofrem processos de absorção, difusão e reflexão, dada a singularidade que caracteriza a atmosfera das cidades (CONTI, 2007), como observado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema das escalas climáticas e camadas verticais encontradas nas áreas urbanas



Fonte: adaptado de Oke (2006, p. 3)

Legenda: PBL (*Planetary Boundary Layer*): camada limite planetária; UBL (*Urban Boundary Layer*): camada limite urbana; UCL (*Urban Canopy Layer*): camada do dossel urbano.

A Figura 2 permite analisar o clima urbano como uma realidade dentro de um contexto maior. A cidade expressa sua atuação no clima local sobretudo na

influência sobre o balanço de energia ao seu redor, pois os componentes urbanos e as suas distintas constituições imprimem uma dinâmica diferenciada, comparando-a com a dinâmica observada nas áreas rurais. Sant'Anna Neto (2011/2012) discute esse ponto ao afirmar que a interação entre a radiação, efetivada pelo balanço de energia, e o espaço construído é um dos fatores que determinam o aquecimento da atmosfera urbana, considerando que com a expansão territorial urbana tem-se o aumento das áreas edificadas e pavimentadas, que geram inércia térmica e produção de calor.

Com efeito, a dimensão desta problemática urbana será proporcional ao nível das alterações feitas na superfície urbana e que contribuem para a redução do albedo da mesma.

Dessa forma, entender a cidade (e dentro desta o clima urbano) como um sistema implica, necessariamente, considerá-la como um organismo que é engendrado ao mesmo tempo pela natureza e pelo homem. Lombardo (1985) chama atenção para o fato de que nas cidades, através da modificação dos ambientes, a natureza humanizada alcança a sua maior expressão, sua realidade se torna complexa e transformada.

Ora, acima da cidade tem-se o elemento “natural” que é a atmosfera propriamente dita. No entanto, esta atmosfera é condicionada segundo os atributos do sítio, juntamente com a sua dinâmica. A cidade aí produz sua própria atmosfera, pois a poluição gerada no meio urbano modifica as condições naturais do ar quanto às suas características de composição química e odores (FROTA e SCHIFFER, 2003).

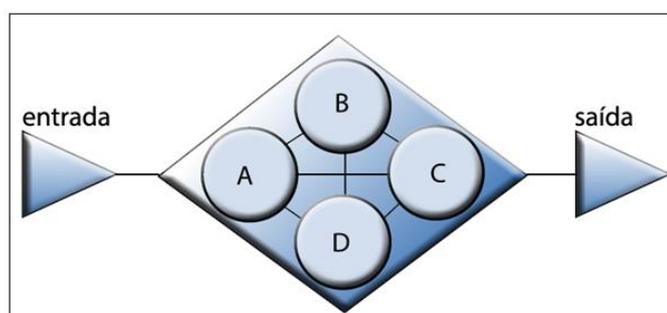
Na cidade, a interdependência dos elementos que a compõe representa toda a trama que se estabelece na produção das singularidades do sítio, daí a necessidade da consideração da abordagem organísmica, respaldada no conceito de *sistema*, para a sua compreensão.

Buscando preliminarmente o conceito de sistema presente no Minidicionário Aurélio, em sua oitava edição, encontra-se a seguinte definição: “sistema é um conjunto de elementos, entre os quais haja alguma relação. Disposição das partes ou dos elementos de um todo, coordenados entre si, e que formam estrutura organizada” (FERREIRA, 2010, p.703). Em Bertalanffy (2010, p. 127), a definição de sistema leva em conta seu caráter complexo e a interação das partes considerando-o como um “complexo de componentes em interação”. Então, a noção de sistema,

exige, prioritariamente o trinômio *elementos-relação-organização*, que são direcionados ao entendimento da realidade, conforme o enfoque de investigação.

Nessa mesma perspectiva, consideramos o conceito de sistema aberto descrito como “um sistema em troca de matéria com seu ambiente, apresentando importação e exportação, construção e demolição dos materiais que o compõem” (BERTALANFFY, 2010, p. 186). A partir desses conceitos, entende-se a que a Teoria Geral dos Sistemas (T.G.S) traz imprescindíveis contribuições para a compreensão do clima urbano, uma vez que este integra em sua complexidade elementos de ordem natural e aqueles decorrentes da interação do homem com o meio. Assim, estudar o clima urbano, segundo uma abordagem sistêmica, significa considerar cada uma das partes que o compõe num complexo de interação, entender as partes e suas conexões e o produto desta, uma vez que na cidade há gasto de energia e, conseqüentemente, geração de produtos. Na Figura 3 tem-se a representação de um sistema.

Figura 3 – Representação esquemática de um sistema, assinalando os elementos (A, B, C e D) e suas relações, assim como o evento entrada e o produto saída



Fonte: Christofolletti (1979, p. 2)

Na Figura 3 é possível observar os fluxos que se estabelecem entre os elementos que constituem um sistema, aqui exemplificado o clima urbano, enquanto sistema aberto, em permanente dinamismo. Vale (2012) diz que os elementos constituintes do sistema possuem *atributos* ou *qualidades*, podendo referir-se ao comprimento, área, volume, características de composição, densidade dos fenômenos observados. Na Figura 3 observamos ainda a entrada (*input*) e saída (*output*), assim caracterizado, segundo Vale (2012, p.92):

A entrada é composta por aquilo que o sistema recebe, é o alimento do sistema, por exemplo, um rio recebe água da precipitação e sedimentos fornecidos pelas vertentes; a Terra recebe energia solar; [...] Cada sistema é alimentado por determinados tipos de entradas. Essas entradas que o sistema recebe sofrem transformações em seu interior e, posteriormente, são enviadas para fora, isso constitui a saída ou o *output*, portanto, toda entrada corresponde a um tipo de saída.

Dessa forma, cada uma das partes que compõem o clima urbano, como por exemplo a latitude do local, que vai determinar a quantidade de radiação solar anual, a densidade de áreas construídas e impermeabilizadas, a cobertura vegetal e todas as atividades antrópicas funcionam como os principais fatores do clima urbano. Conforme Freitas (2005, p. 84), “os climas naturais são multiplicados pelas formas urbanas, originando então, diversos climas urbanos.”

A complexidade que caracteriza o clima urbano é discutida por Conti (2007), ao afirmar que nas cidades o volume de energia armazenado é maior, havendo uma desorganização do mecanismo climático, e que a forma arquitetônica dos edifícios, bem como suas características, como cor e constituição, por exemplo, desempenha um papel definidor na radiação que atinge a cidade.

Christofoletti (1979, p. 3) escreve que “praticamente, a totalidade dos sistemas que interessam ao geógrafo não atua de modo isolado, mas funciona dentro de um ambiente e faz parte de um conjunto maior”. Assim, através de todos os fenômenos e eventos ocorridos neste, terá repercussão no sistema focalizado em determinado estudo particular, assim como os fenômenos e eventos do sistema maior sofrem alterações por causa do comportamento do sistema particular. Esta é a noção primária que deve encabeçar uma análise sistêmica. Sem esta noção, o entendimento do sistema não é possível, ou no mínimo tornar-se-á comprometido.

Para tal entendimento, torna-se essencial conhecer o sistema, seus elementos e relações e com isso torna-se mais profícuo sua delimitação no espaço, bem como a distinção de suas unidades componentes (CHRISTOFOLETTI, 1979), pois ao tratar do sistema deve-se ter em vista seu nível de abrangência, a conexão de suas partes e as variáveis que podem interferir em seu comportamento. Mas, nesse sentido, deve-se ter certa prudência ao trabalhar com esse enfoque, como bem observa Christofoletti (1979, p. 5) ao dizer que “não se analisa ou se mede o sistema, como um todo, ou os seus elementos; a mensuração incide sobre as qualidades atribuídas aos elementos e ao sistema”.

Considerando a cidade e seu clima, ela se comporta como um sistema complexo, uma vez que compreende aspectos sociais, econômicos e ambientais, e cada um destes com suas próprias regras de comportamento e evolução, mas que estão intimamente ligados uns com os outros (MASSON et al., 2014). Ainda segundo esses autores, o estudo do clima da cidade passa, necessariamente, por uma abordagem sistêmica, que é interdisciplinar por natureza, envolvendo urbanistas, arquitetos, meteorologistas, engenheiros civis, cientistas sociais, geógrafos e economistas.

No contexto dos sistemas, a Geografia como a disciplina que estuda as organizações espaciais, tendo em vista seu objeto de análise, pode esquematizar as relações com os fenômenos analisados em diferentes disciplinas (CHRISTOFOLETTI, 1999), à medida que procede a interpretação de determinado fenômeno o considerando parte integrante de um todo maior cujas inter-relações assumem importância fundamental. Nessa perspectiva, os sistemas ambientais organizados espacialmente afloram sob uma ótica de análise intrinsecamente ligada à ciência geográfica, que é o *geossistema*. Tem-se aí a noção estruturante da análise ambiental, pautada na identificação dos componentes de um determinado sistema ambiental e, sobretudo, a noção de interdependência entre os componentes identificados.

Nesse sentido, “o clima surge como o controlador dos processos e da dinâmica do geossistema” (CHRISTOFOLETTI, 1999, p.42), definindo o modo como os componentes se apresentam e interagem numa dada escala tempo-espacial considerada.

Nessa perspectiva, a cidade, através da disposição de sua estrutura urbana, produz determinados comportamentos que vão impactar sobre o dinamismo do sistema urbano. Mello et al. (2009), por exemplo, ao discorrerem sobre a influência dos materiais construtivos sobre o clima urbano, nos dizem que as coberturas das edificações são os principais responsáveis pela produção de calor no interior e no entorno destas, sendo esse calor determinado pelas variáveis de albedo e emissividade dos materiais. Esses autores informam que as superfícies que possuem elevado albedo e emissividade tendem a permanecerem mais frias ao serem expostas à radiação, uma vez que absorvem menos radiação e emitem mais radiação térmica para o espaço, transmitindo menos calor para o entorno. Enquanto

que para as superfícies com menor albedo e emissividade, maior será a absorção de calor e, conseqüentemente, sua permanência no ambiente de entorno.

A superfície urbana é de tal forma importante no contexto do clima urbano que Christofolletti (1979) já preconizava a consideração das seguintes variáveis:

área edificada, rugosidade da topografia, rugosidade da “camada edificada”, quantidade e densidade das áreas verdes, comprimento total e densidade das vias de circulação, quantidade de indústrias, densidade e distribuição espacial das indústrias (CHRISTOFOLLETTI, 1979, p. 42).

Seguindo esse raciocínio, Sant’Anna Neto (2013) complementa que a densidade de construção e as características das áreas verdes interferem na ventilação e na umidade, que geram inércia térmica, existindo uma relação muito próxima entre a forma urbana e os climas locais. Ressalta ainda o referido autor que a radiação solar assume um papel central na configuração das características climáticas e que as cores dos materiais construtivos nas cidades apresentam respostas térmicas em função do albedo dos alvos urbanos. Pérez et al. (2001) discutem que no sistema cidade-atmosfera, um dos mecanismos mais afetados pela urbanização diz respeito ao balanço de energia, considerando que o albedo desempenha um papel importante na quantidade de energia disponível.

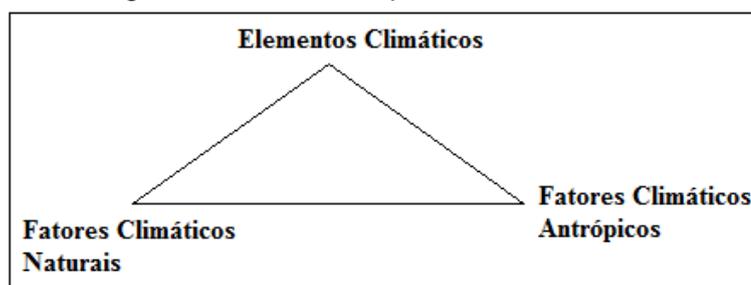
Nesse contexto, nos últimos anos os estudos de clima urbano no Brasil têm ganho bastante destaque face às grandes mudanças provocadas nas cidades pelo processo de urbanização, como mencionado acima, e que tem influências na formação de um clima específico na cidade. Assim, as pesquisas em clima urbano visam dar suporte ao planejamento da cidade evitando conseqüências indesejáveis para a população e aos equipamentos urbanos.

Monteiro e Carvalho (2013) chamam a atenção ao fato de que uma das maneiras de incluir o conhecimento climatológico nas estratégias de planejamento urbano sustentável no contexto da sociedade em geral e dos fazedores de território, principalmente, pode ser através de um apelo explícito às conseqüências que a sua exclusão pode ter na saúde e na qualidade de vida. Mendonça (2015) relata que as pesquisas em clima urbano no Brasil a partir da década de 1960, tiveram sua gênese exatamente atrelada à preocupação com a queda da qualidade ambiental nas grandes cidades brasileiras.

Hoje no entanto, essas pesquisas são cada vez mais direcionadas também às cidades de porte médio e pequeno, revelando a intensidade do desequilíbrio ambiental que as atividades humanas provocam nos espaços, exigindo, por um lado, por parte dos pesquisadores, a reflexão sobre os problemas decorrentes e proposição de intervenções atinentes, e por outro lado, por parte dos gestores, a tomada das decisões consoantes às orientações das pesquisas científicas.

Como afirmado anteriormente neste texto, cada ambiente urbano tem seu clima singular sendo resultado da conjugação dos fatores climáticos naturais e os fatores climáticos antrópicos, conforme a Figura 4, que vão produzir modificações sobre a atmosfera da cidade. O clima urbano configura-se, então, como importante transformação da natureza realizada pelo homem e sua técnica efetivada pelo processo de urbanização (ANDRADE, 2009).

Figura 4 – Tríade complexa do clima da cidade



Fonte: Andrade (2009, p. 106)

A Figura 4 mostra a relação complexa de formação dos climas urbanos, caracterizada pela confluência que se estabelece entre os fatores climáticos naturais e antrópicos que vão produzir modificações sobre os elementos do clima no sítio urbano (ANDRADE, 2009). Na concepção de Landsberg³ (2006), torna-se muito difícil decidir objetivamente a partir de que densidade de população e edificações alguma influência sobre o clima começa a ser notada. No entanto, compreende-se que a cidade, em toda sua complexidade, é produtora de espaços que em muito pouco lembram os espaços naturais que outrora serviram de substrato para a fundação do sítio urbano. Esse caráter de artificialidade das cidades, materializado

³ Esse artigo de Landsberg foi publicado originalmente em: LANDSBERG, H. E. (1956) *The Climate of Towns* in THOMAS, W. L. org. (1956) *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. vol. 2, pp. 584 - 606. A tradução foi feita pelo Prof. Dr. Tarik Resende de Azevedo, tendo-o publicado na revista de geografia da USP em 2006.

nas suas formas e funções, certamente produzem influências singulares sobre o funcionamento dos climas locais, resultando no que disse certa vez Sorre (2006, p.91), ao afirmar que “o clima local é uma combinação singular; irredutível. Não há talvez, no globo, dois locais cujos climas sejam idênticos”.

Nesse mesmo direcionamento, Amorim (2013), entende que no estudo do clima urbano é fundamental a relação entre as diferentes escalas de análise, desde a zonal até a local, onde se encontram o urbano e as diversas possibilidades de articulações, e que sua estrutura interna é definida por meio da conexão de suas partes. Esta autora afirma ainda que “a grandeza escalar do clima urbano dependerá dos fatores que o definem, como, por exemplo, a extensão da cidade e sua posição no relevo.” (AMORIM, 2013, p. 192). Monteiro (1990a, p.10) ressalta: “considerada como ‘anomalia’ atmosférica por uns, como ‘tecido canceroso’ no organismo social para outros a ‘cidade’, malgrado toda essa constatação, continua sendo ‘habitat’ do homem por excelência”. Assim, enquanto *locus* da produção e reprodução da vida social, a cidade representa a mais complexa relação entre o homem e seu meio. Esse grau de complexidade se reflete no clima que é produzido sobre a cidade.

A especificidade do clima de cada sítio urbano reside na sua inserção dentro de determinadas escalas de abordagem, isto porque “em cada instante dado e em cada ponto do globo, a atmosfera é uma combinação singular que tem muito pouca chance de se reproduzir de uma maneira perfeitamente idêntica” (SORRE, 2006, p. 90).

Esse fragmento nos remete a uma importante reflexão na medida que nos induz a pensar que para a caracterização de determinado clima torna-se imprescindível sua inserção dentro de determinados contextos, que se refere à hierarquia das escalas do clima. Essa hierarquia começa com a própria circulação geral da atmosfera, o que nos remete à escala zonal. Depois, inscrita nesta, tem-se a circulação secundária, que nos remete à escala regional. Dentro desta, inserem-se os climas locais e inscritos nestes últimos temos uma assembleia complexa de milhares de microclimas. Estes últimos, dadas as variáveis que o compõem, apresentam-se como aqueles de mais difícil apreensão.

Para os estudos de clima urbano no Brasil, muitas pesquisas têm utilizado como embasamento teórico e metodológico as concepções desenvolvidas por Monteiro (1976) e estudos posteriores. A abordagem desse autor permite situar o clima da cidade numa confluência entre a dinâmica natural e as derivações impostas

por intermédio da técnica humana, materializada no processo de urbanização. Nesta perspectiva, muitos trabalhos têm investigado como a falta de planejamento nas cidades ou a sua insuficiência e/ou ineficiência, tem alterado o clima das cidades.

A metodologia de Monteiro (1976) propõe uma investigação do clima da cidade baseada na análise sistêmica intitulada Sistema Clima Urbano (S.C.U). Tendo como lastro de sua teoria a noção de sistema descrita em Bertalanffy, Monteiro desenvolve seu raciocínio organizando-o em dez enunciados básicos que como o próprio Monteiro (1976, p.95) diz “pretendem ser apenas uma ideia reguladora”. Assim, esses enunciados básicos servem como ponto de partida no contexto do relacionamento entre a ação normativa da teoria e a ação operativa da pesquisa. Doravante, procederemos a análise de alguns deles.

Em seu primeiro enunciado básico Monteiro (1976, p. 95) começa com o conceito de clima urbano, sendo este “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”. É importante observar na concepção do autor ao tecer comentários sobre esse enunciado que, assim como Landsberg (2006), não há preocupação em definir o grau de urbanização e as características geológicas locais na definição do clima urbano. Isso é válido, pois a própria definição de uma escala espacial de abrangência de determinado tipo climático não obedece a limites rígidos, considerando o dinamismo atmosférico e os processos inerentes. É claro que para efeito de melhor se estudar uma determinada área as classificações climáticas atribuem um limite para a ocorrência de determinado clima. Na realidade, no entanto, a definição e/ou apreensão desses limites torna-se muito mais complexa.

Monteiro (1976, p. 96) assim apresenta seu segundo enunciado: “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”. Percebe-se aqui a inserção da cidade dentro de sistemas maiores ao se considerar “as relações íntimas com o ambiente regional imediato”. Como já mencionado, a cidade e seu clima necessariamente estão imersos em outras escalas espaciais do clima, devendo-se, portanto, qualquer sistemática de análise dessa realidade não perder de vista as múltiplas possibilidades de combinações entre os fatores e os elementos presentes, conforme o nível de detalhes que se objetiva investigar.

Em seu quarto enunciado, Monteiro (1976, p. 97) situa o funcionamento do clima urbano, ao dizer que:

as entradas de energia no S. C. U são de natureza térmica (oriundas da fonte primária de energia de toda a Terra – o Sol), implicando componentes dinâmicas inequívocas determinadas pela circulação atmosférica, e decisivas para a componente hídrica englobada nesse conjunto.

Isto é importante pois relaciona-se diretamente ao elemento responsável, em princípio, por todos os fenômenos climatológicos e meteorológicos que ocorrem na superfície da Terra, que é a distribuição da radiação solar. Na cidade, as distintas formas de uso e ocupação do solo e a estrutura urbana vão assumir o dinamismo responsável pela maior ou menor entrada dessa energia no sistema.

No sexto enunciado básico Monteiro demonstra a premissa básica defendida por Bertalanffy ao tratar da abordagem sistêmica. Assim escreve Bertalanffy⁴ (2010, p. 55):

É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferente quando estudado isoladamente e quando tratado no todo.

E assim escreve Monteiro em seu sexto enunciado (1976, p. 99): “a estrutura interna do S. C. U. não pode ser definida pela simples superposição ou adição de suas partes (compartimentação ecológica, morfológica, ou funcional urbana), mas somente por meio da íntima conexão entre elas”. Os dois fragmentos se complementam. A noção de clima urbano conforme um enfoque sistêmico (necessário) não se limita a conhecer os elementos que integram a trama do urbano, mas, sobretudo, encontrar as distintas interligações entre as diversas partes que concorrem para a compreensão do clima urbano, tal qual ele se apresenta.

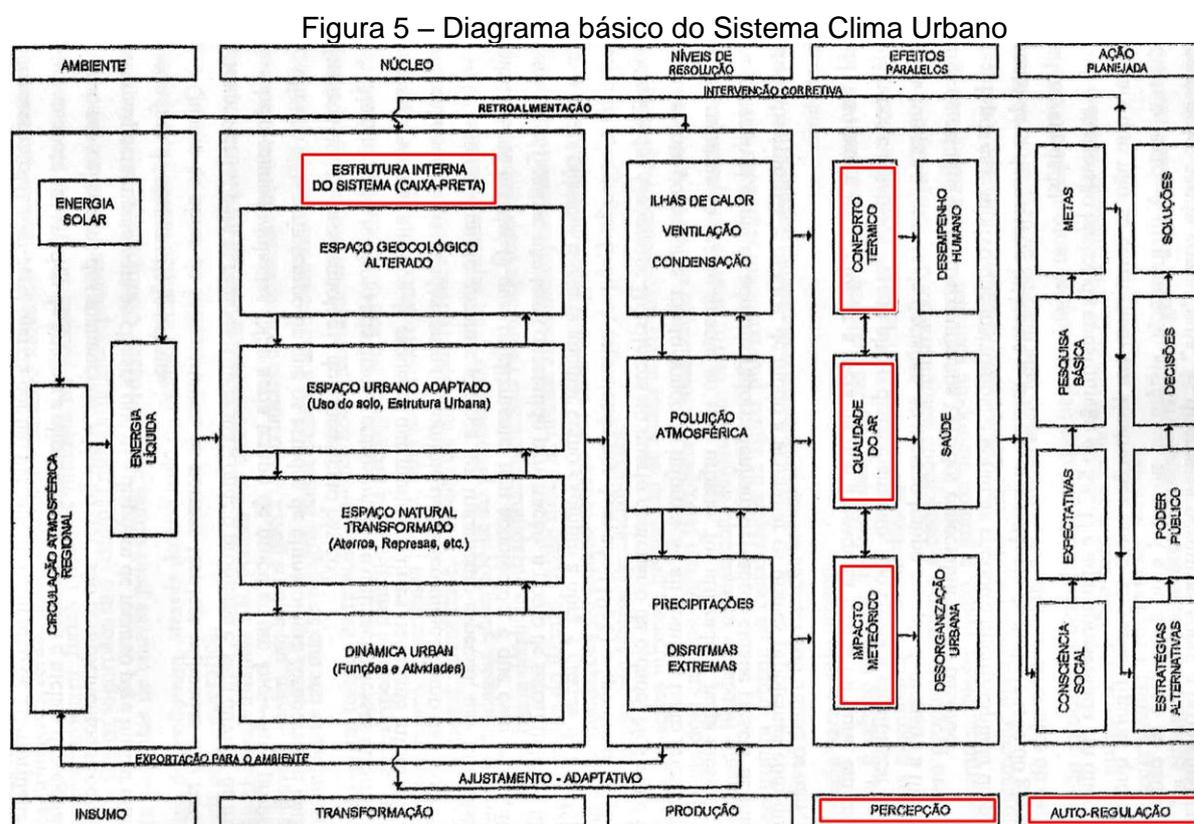
O nono enunciado básico assim é descrito por Monteiro (1976, p.101):

O S. C. U. é admitido como passível de auto-regulação, função essa conferida ao elemento *homem urbano* que, conhece e é capaz de detectar suas disfunções, pode, através de seu poder de *decisão*, intervir e adaptar o funcionamento do mesmo, recorrendo a dispositivos de reciclagem e/ou circuitos de retroalimentação capazes de conduzir o seu desenvolvimento e crescimento seguindo metas preestabelecidas.

⁴ A obra original de Bertalanffy, referenciada nesta pesquisa, foi publicada ainda da década de 1960. Posteriormente foi reeditada e traduzida para diversos idiomas.

Aqui é enfatizada a capacidade do homem, como elemento participante na produção do clima urbano, que, através de sua técnica (a mesma que provoca disfunções no sistema) possa produzir, na medida que tem consciência de suas ações, certa amenização nas disfunções do S.C.U. Monteiro (1976) ressalta a necessidade da pesquisa interdisciplinar na tentativa de propor soluções que possam ser utilizadas pelo poder público, que possui o poder das decisões, através da auto-regulação do sistema, concernente às ações do planejamento.

A Figura 5 apresenta uma visão geral dos elementos e as conexões existentes no S.C.U.



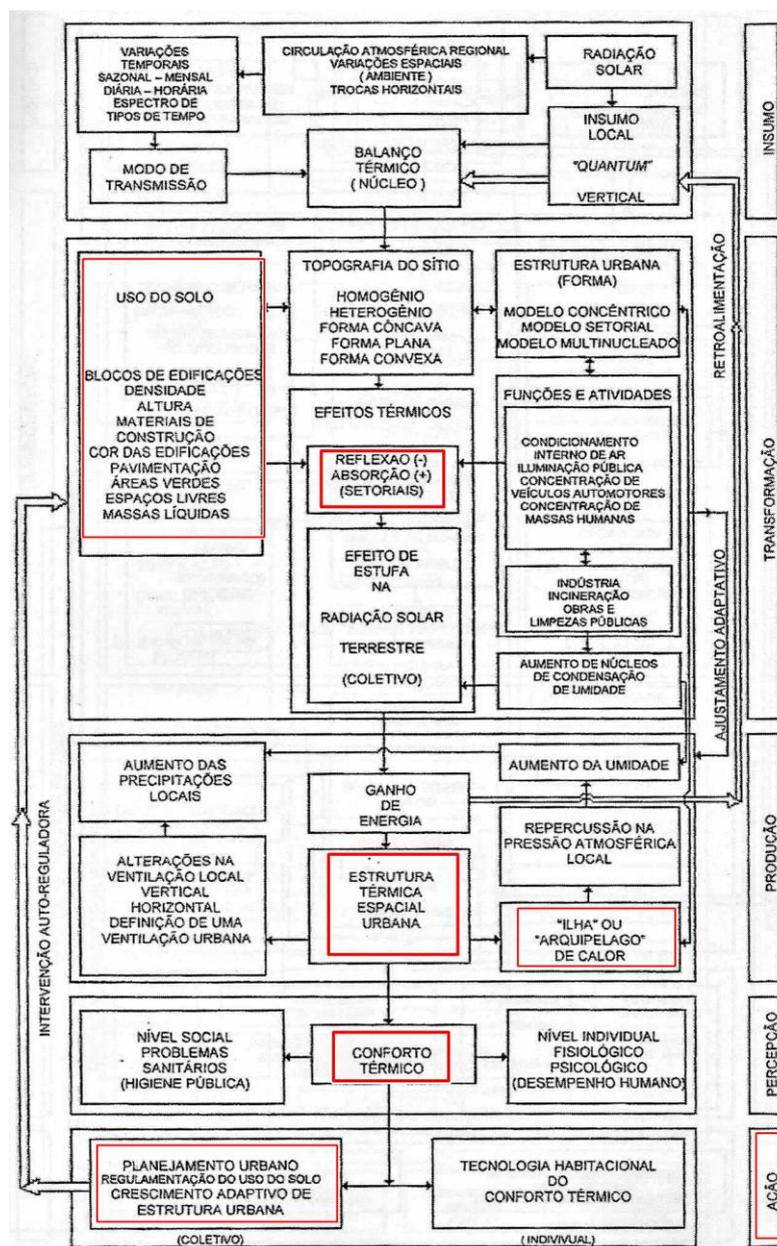
Fonte: Monteiro (1976, p. 131, com destaques do autor)

Na Figura 5 percebe-se a existência dos subsistemas que Monteiro denominou de canais de percepção, os quais são:

Canal 1 – O conforto térmico (subsistema termodinâmico): nesse canal estão relacionados todos componentes que produzem alterações na radiação solar que entra no sistema. Aqui, a gênese desse subsistema reside na atuação tanto da natureza quanto do homem. Dessa forma, na cidade os processos de reflexão são

diminuídos e os de absorção são aumentados, todos os equipamentos urbanos resultantes da técnica humana concorrem para produzir a estrutura térmica espacial da cidade, estando relacionado também à topografia do sítio e aos usos que se fazem do solo urbano. A Figura 6 a seguir descreve todas as inter-relações constantes no subsistema termodinâmico

Figura 6 – Diagrama que representa o subsistema termodinâmico



Fonte: Monteiro (1976, p. 130, com destaques do autor)

Neste subsistema temos todo o conjunto de derivações impostas à superfície urbana pelas atividades ligadas ao processo de urbanização. Alterações provocadas no solo urbano aumentam a superfície exposta à radiação. Com efeito, tem-se o incremento da radiação de ondas longas provenientes da superfície, resultantes da maior concentração de áreas edificadas e impermeabilizadas associadas à redução da cobertura vegetal na cidade.

Canal 2 – Qualidade do ar (subsistema físico-químico): a atmosfera da cidade é modificada segundo sua composição química. Na sua dinâmica, a cidade movimenta-se com a combustão dos veículos, as concentrações industriais produzem verdadeiras névoas de compostos variados, as usinas termoelétricas que acendem as praças e ruas jogam no ar quantidades consideráveis de poluentes. Assim, o ar da cidade que outrora circulava segundo a sua composição básica, agora vê-se acentuada em tal escala, que, em algumas cidades, chega a ser quase insuportável do ponto de vista da saúde humana. Nesse canal, de responsabilidade essencialmente humana, os mecanismos de auto-regulação devem ser conduzidos a fim prevenir e corrigir as fontes de poluição, que funcionam como os detonadores e deflagradores do fluxo de produção de poluentes (MONTEIRO, 1976).

Canal 3 – Impacto meteórico (subsistema hidrodinâmico): no contexto urbano, a ideia de impacto, pressupondo consequências calamitosas, articula-se a todas as manifestações meteóricas de impacto, como tempestades, tornados, aguaceiros, etc. São fenômenos, que pela sua natureza, provocam sérios transtornos aos sistemas de comunicação e transporte, impactando em prejuízos à sociedade. (MONTEIRO, 1976).

As obras de engenharia espalhadas pelo sítio, como a canalização de cursos de água natural, a pavimentação, etc., reduzem a permeabilidade do solo, constituindo-se em fatores de acentuação dos impactos meteóricos, como os eventos de intensa precipitação. O homem, mais uma vez, pode, através de ações afirmativas e estratégicas, agir no sentido de melhor se preparar para tais eventos, evitando efeitos indesejáveis à população.

Quadro 2 – Sistema Clima Urbano (S.C.U.): articulações dos sistemas segundo os canais de percepção

Subsistemas Canais	I Termodinâmico Conforto térmico	II Físico-químico Qualidade do ar	III Hidrometeorológico Impacto meteórico
Caracterização			
Fonte	Atmosfera Radiação Circulação horizontal	Atividade urbana Veículos automotores Indústrias Obras-limpeza	Atmosfera Estados especiais (desvios rítmicos)
Trânsito no sistema	Intercâmbio de operador e operando	De operando ao operador	De operador ao operando
Mecanismo de ação	Transformação no sistema	Difusão através do sistema	Concentração no sistema
Projeção	Interação Núcleo Ambiente	Do núcleo ao ambiente	Do ambiente ao núcleo
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)	Cumulativo (renovável)	Episódico (eventual)
Observação	Meteorológica especial (t. de campo)	Sanitária e meteorológica especial	Meteorológica hidrológica (t. de campo)
Correlações disciplinares e tecnológicas	Bioclimatologia Arquitetura Urbanismo	Engenharia sanitária	Engenharia sanitária e infraestrutura urbana
Produtos	“Ilha de calor” Ventilação Aumento de precipitação	Poluição do ar	Ataques à integridade urbana
Efeitos diretos	Desconforto e redução do desempenho humano	Problemas sanitários Doenças respiratórias Oftalmológicas, etc.	Problemas de circulação e comunicação urbana
Reciclagem adaptativa	Centros de uso do solo Tecnologia de conforto habitacional	Vigilância e controle dos agentes de poluição	Aperfeiçoamento da infraestrutura urbana e regulação fluvial Uso do solo
Responsabilidade	Natureza e homem	Homem	Natureza

Fonte: Monteiro (1976, p. 127)

Observando o Quadro 2 percebemos que a ação efetiva do homem como elemento modificador do S.C.U. ao mesmo tempo em que pode desencadear desequilíbrios no sistema pode também, através do planejamento, fazer intervenções coerentes, considerando que o S.C.U. é aberto e adaptativo. Essas intervenções se concentrariam, no caso dos subsistemas termodinâmico e hidrometeorológico, no uso adequado do solo urbano e em construções adequadas ao clima tropical.

Nesse contexto, o S.C.U propõe-se a entender as variações climáticas no ambiente urbano, motivadas pelas constantes alterações na paisagem citadina ligadas ao processo de urbanização, constituindo-se no núcleo do sistema. Em sua Teoria e Clima Urbano, Monteiro (1976) adota, como já mencionado, a Teoria Geral dos Sistemas (T.G.S) de Bertalanffy como embasamento teórico de sua pesquisa, ao considerar o clima urbano como organização complexa, com vários graus de hierarquia funcional e diferentes níveis de resolução. Assim, justifica essa opção o autor:

minha opção neste momento é a utilização da Teoria dos Sistemas como um quadro de referência teórica para o estudo do clima urbano, por uma preferência paradigmática, imaginando-a capaz de revelar a essência de um fenômeno de complexidade por demais saliente e, por isso mesmo, demasiado importante a ser conhecido (MONTEIRO, 1976, p. 92).

Para Monteiro (1976), uma das vantagens da T.G.S é a flexibilidade da abordagem para análise científica, ou seja, a possibilidade de alternar tanto o método indutivo quanto o dedutivo, assim como a possibilidade de observação empírica. É importante ressaltar ainda que para complementação de sua teoria, Monteiro (1976) embasa-se na visão holística de Arthur Koestler⁵, utilizando aí a noção de hierarquia⁶ para a compreensão da evolução e o dinamismo do sistema. Assim, ao adotar a perspectiva sistêmica como base de sua teoria, Monteiro (1976) busca revelar os diferentes dinamismos intrínsecos ao fenômeno urbano, enquadrando tanto os fatos mais amplos e complexos quanto aqueles mais simples e restritos.

Na cidade, a abordagem sistêmica é enfatizada por Amorim (2013) ao escrever que:

⁵ Arthur Koestler foi um jornalista, escritor, filósofo, ativista político e social teuto-húngaro nascido em 1905, em Budapeste, na Hungria. Suicidou-se em Londres em 1983 aos 77 anos. Disponível em < <http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias>> Acesso em 09/2015.

⁶ A influência de Koestler na produção de Monteiro (1976) dar-se, sobretudo, através do desenvolvimento do conceito de *Self-Regulation Open Hierarchic Order* (Ordem Hierárquica Aberta Auto-Reguladora) – SOHO. A partir desse conceito Monteiro desmembra a noção de clima, iniciando-se na organização zonal até especializar-se no nível dos microclimas. Com base no SOHO, Monteiro (1976) procede à compreensão da interdependência dos processos em termos de organização funcional, procurando, nessa organização, as ligações no plano vertical, e o seu entrelaçamento no plano horizontal. Merece ser citado ainda que o trabalho de Koestler inspirador de Monteiro foi *Beyond atomism and holism: the concept of holon* (Além do atomismo e do holismo: o conceito de holon). O título em si já nos remete a muitas inquietações.

a perspectiva sistêmica permite entender as ações humanas no comportamento do clima, sem que se percam de vista as escalas que o organizam. No sistema climático o clima global reflete-se nos subsistemas climáticos regionais e locais para filtrar, selecionar e conduzir a energia e a matéria (AMORIM, 2013, p. 191).

Monteiro (2013) diz que a organização climática peculiar da cidade é centrada na atmosfera, que age como o operador do sistema e

o artefato físico criado pela urbanização, integrado ao suporte geocológico em que se insere, dinamizado pelos fluxos urbanos, é o que constitui o operando do S.C.U, cuja estrutura é penetrada e percorrida por fluxos de energia do operador: a atmosfera [...] de um lado, o operador (atmosfera) dirige fluxos de energia sobre as quais o homem não tem controle, com uma vigorosa tendência de afirmação. De outro, atua a criatividade do homem respondendo à natureza com uma tendência integradora (MONTEIRO, 2013, p.41-42).

Para a compreensão do S.C.U é imprescindível considerar a base geocológica sobre a qual está assentada a cidade e também as derivações que vão sendo impostas pela atividade do homem urbano que, como operando do sistema, comporta-se de forma dinâmica produzindo notáveis transformações na atmosfera citadina. Cada um dos componentes do clima urbano representa o fio de um novelo complexo em que se insere o clima da cidade, constituído, conforme Andrade (2009), pela tríade *elementos climáticos-fatores-climáticos naturais-fatores climáticos antrópicos*, considerados no todo e na inter-relação das partes.

As cidades brasileiras, mesmos aquelas ditas planejadas carregam no seu processo de crescimento as marcas da desorganização e a não observância dos parâmetros de qualidade ambiental. Nesse quesito enquadra-se a cidade de Teresina, ou seja, como uma cidade fundada sob os preceitos do planejamento.

No entanto, se houve algum planejamento para esta cidade, o mesmo ficou nos esboços de seus idealizadores ou nos discursos que ainda hoje se ouvem em distintas circunstâncias. O que se chama de planejamento em Teresina foi tão somente o traçado original das principais ruas e avenidas que passariam a ser o marco fundante da cidade. A noção de planejamento prevê os desdobramentos decorrentes do aumento populacional e do crescimento espacial da cidade. Em Teresina, a dinâmica que se seguiu a sua fundação demonstrou uma realidade distante dessa noção.

Com efeito, à medida que se expandem as fronteiras entre o urbano e o rural, de forma inerente ao processo, surgem os variados problemas decorrentes, os quais cada cidade vai possuir sua especificidade. No entanto, de forma mais genérica, podemos dizer que alguns problemas são comuns na maioria das cidades brasileiras, como por exemplo, a impermeabilização do solo urbano, a retirada da vegetação, o aumento da densidade construída, associado ao fato de não se deixar áreas livres proporcionais a esse aumento.

2.3 Climatologia geográfica: revisitando metodologias e abordagens do clima

A partir da abordagem do clima numa concepção dinâmica, para muitos autores iniciada por Max Sorre, e aprofundada por Monteiro (1971), os trabalhos que têm sido desenvolvidos desde então aprimoraram o paradigma do ritmo climático. A noção de ritmo se fundamenta na consideração dos diferentes estados atmosféricos que se sucedem, inseridos dentro do mecanismo da circulação regional da atmosfera. Dessa dinâmica resulta um acompanhamento, pelo menos diário, dos elementos fundamentais do clima (MONTEIRO, 1971). As pesquisas revestidas deste fundamento procuram evidenciar a noção de sucessão e enquadrar o conjunto das variações dentro do conjunto daquilo que possa ser habitual, ou dentro do conjunto dos eventos considerados distorções.

Para a realidade urbana, o conjunto das pesquisas também tem mostrado a inserção do clima da cidade dentro da noção de circulação regional, trazendo para a cena as modificações na circulação local projetadas pela dinâmica das cidades. Esse procedimento é válido, pois o crescimento urbano, engendrado na maioria das vezes, sobre a incúria com os preceitos do planejamento urbano, tem ensejado inúmeras pesquisas na tentativa de fornecer subsídios para o entendimento e, pelo menos, a mitigação dos problemas decorrentes desse processo. As cidades brasileiras guardam, desde a sua gênese, em maior ou menor grau, o acúmulo de problemas ambientais variados com reflexos na organização espacial e na vida que flui atualmente na urbe. Desse modo, pesquisadores das mais diferentes áreas são levados a refletir sobre esses problemas e propor intervenções.

Nessa perspectiva, muitos trabalhos têm focado na metodologia proposta por Monteiro (1976), ao adotarem a perspectiva de investigação do clima urbano consoante aos canais de percepção dos produtos resultantes das ações

socioambientais no sistema climático da cidade (SANT'ANNA NETO, 2011). Outras pesquisas, embora não direcionadas especificamente ao clima urbano, mas sim adotando o entendimento da evolução habitual dos tipos de tempo, também fazem jus à contribuição de Monteiro, numa perspectiva dinâmica do clima.

Um dos primeiros trabalhos que merecem destaque, nesse sentido, foi o desenvolvido por Lombardo (1985). Esta autora fez um amplo estudo sobre a ilha de calor da metrópole paulistana. A autora procedeu a caracterização do uso do solo nesta cidade através da interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite. Com o uso das imagens termais dos satélites meteorológicos (utilização de algoritmos específicos) foi possível produzir mapas termais da respectiva área e correlacioná-los com as medições de campo e com os distintos usos do solo urbano e topografia.

A análise dos dados permitiu a autora chegar à conclusão de que a ilha de calor na capital paulistana segue o modelo clássico, onde o maior gradiente de temperatura ocorre no centro da cidade. Ainda, segundo Lombardo (1985, p. 209), a intensidade da ilha de calor relaciona-se “a grande dimensão da mancha urbanizada, como também dos diferentes tipos de usos do solo.”

Mendonça (1995) desenvolveu um trabalho na perspectiva de propor uma metodologia de estudo do clima urbano para cidade de porte médio e pequeno, e sua aplicação na cidade de Londrina (PR), consoante ao campo termodinâmico. Na sua proposição metodológica, Mendonça (1995) preconiza uma abordagem que possa dar conta de trabalhar tanto a análise espacial (apoiada num detalhado embasamento cartográfico que trate da hipsometria e Geomorfologia, declividade, uso do solo, etc.) como a análise temporal (emprego do sensoriamento remoto termal) para a definição do clima urbano.

Tratando especificamente da aplicação desta metodologia para a cidade de Londrina (PR), o autor revela ter identificado ilhas de calor de forte magnitude (superior a 10°C) e também quinze diferentes ambientes climáticos no interior da cidade. A mensuração de dados meteorológicos foi feita ao longo de dois transectos (Leste-Oeste, Norte-Sul), tomando-se distintos ambientes urbanos, bem como situações sazonais (relativas aos anos 1992 e 1993) e diárias diferentes, relacionando-as aos dados encontrados com uso da banda termal do satélite *Landsat 5* e com os sistemas atmosféricos atuantes.

Os resultados mostraram a formação de ilhas de calor condicionadas a atuação de determinados sistemas atmosféricos (ação do Sistema Tropical atlântico, no verão, por exemplo) no período noturno e matutino, estando relacionadas também ao papel desempenhado pelas características dos solos (nus e secos) das regiões próximas à cidade, possuindo baixa inércia térmica em relação aos espaços verdes e úmidos. De modo que durante o dia esses solos apresentavam-se mais quentes que a cidade e durante a noite mais frios. O aquecimento urbano noturno foi relacionado também ao papel desempenhado pela circulação dos ventos e pelo calor antropogênico produzido na cidade. As ilhas de frescor apresentavam-se como espaços de descontinuidades, associadas aos espaços verdes presentes na cidade.

Amorim (2000) realizou pesquisa sobre o clima urbano da cidade de Presidente Prudente (SP), utilizando-se de dois eixos importantes para proceder a caracterização do clima da respectiva cidade: a análise temporal (de 1969 a 1998) dos elementos do clima e a análise espacial, proporcionada pela mensuração de dados através do uso de mini abrigos meteorológicos, feita em meses representativos da estação do verão e do inverno, nos espaços intra-urbanos.

As medições foram feitas no intervalo de 7h às 18h, com a intenção de registrar o início do aquecimento diurno, como também, o período de maior aquecimento, em locais previamente determinados consoantes às suas características de configuração urbana. Os meses escolhidos foram julho de 1998 (representativo do inverno) e janeiro de 1999 (representativo do verão).

A autora chegou à conclusão que a cidade de Presidente Prudente já apresenta um clima urbano, definido em função da combinação das variáveis presença ou carência de vegetação, alterações feitas no uso e ocupação do solo, altitude e exposição de vertentes. A maior intensidade da ilha de calor foi encontrada na estação do verão, correlacionando-se com os períodos de maior insolação e aquecimento diurno.

Saydelles (2005) teve como objeto de estudo o campo térmico e as ilhas de calor da cidade de Santa Maria (RS). Em seu trabalho, o autor desenvolve o percurso da pesquisa centrado sobre o subsistema termodinâmico de Monteiro (1976). O campo térmico foi produzido a partir da utilização de dados de sensores remotos, especificamente a banda 6 do satélite *Landsat 7 ETM⁺*. Para a identificação das ilhas de calor o procedimento foi as observações de campo, distribuídas em vários horários, em dois dias correspondentes à estação de inverno,

associados os resultados aos tipos de tempo atmosféricos atuantes no período, segundo o autor, as condições sinóticas de fase Pré-frontal e de Domínio polar.

Os resultados obtidos conduziram o autor a uma relevante contribuição ao entendimento do clima urbano da respectiva cidade. Os dados provenientes da banda termal do satélite permitiram identificar os fatores geográficos que controlam o mesoclima da cidade, como o relevo, a altimetria e o uso do solo. No entanto, na escala topoclimática, outros fatores se entrelaçam e determinam maior diversificação das respostas térmicas da superfície. Consoante aos resultados obtidos com os experimentos de campo, estes se mostraram relacionados aos tipos de tempo produzidos pelas condições sinóticas atuantes no dia das mensurações.

Em sua tese de doutorado, Zanella (2006) estudou as inundações urbanas na cidade de Curitiba (PR) na perspectiva do subsistema hidrometeorológico. O estudo foi feito em uma área do bairro Cajuru, localizada às margens do rio Atuba, abordando os riscos e a vulnerabilidade socioambiental das comunidades que lá vivem.

A partir da análise espaço-temporal dos eventos, como também daqueles episódios considerados críticos, além da realização de entrevistas com moradores do local, a autora chegou a conclusão da existência de correlações entre o crescimento da cidade e o aumento concomitante do número de eventos pluviométricos intensos, bem como seus efeitos sobre as populações atingidas. Destaca ainda a autora que, apesar de melhorias feitas no local, com a implementação de obras para a contenção das inundações, a população tem consciência de viver em uma área de risco, e teme a ocorrência de novos eventos.

Tendo como área de estudo a cidade de Piracicaba (SP), Coltri (2006) fez uma pesquisa direcionada à identificação e análise das ilhas de calor neste município, fazendo uso de técnicas de sensoriamento remoto (de onde foi possível mapear a temperatura de superfície e correlacioná-la ao uso e ocupação do solo), com o intuito de verificar a intensidade e morfologia das ilhas de calor. Os dados meteorológicos do município foram analisados entre os anos de 1950 e 2005, relacionando-os com as variáveis provenientes do processo de urbanização e sua inserção dentro da circulação atmosférica regional.

A autora chegou à conclusão da tendência do aumento das variáveis temperatura, precipitação, umidade relativa e evaporação, classificando-os como tendências climáticas. O aumento da temperatura foi correlacionado com o aumento da urbanização, e as ilhas de calor mostraram-se mais intensas no verão e em áreas

com excesso de material construtivo e pouca ou nenhuma cobertura de vegetação. Consoante ainda às ilhas de calor, estas tiveram variação espacial e sazonal, estando intimamente ligadas à sazonalidade da cultura da cana de açúcar. Destaca ainda a referida autora que o uso e a cobertura do solo urbano mostra-se como um grande definidor do clima local e regional, tendo o sensoriamento remoto importância fundamental para esse tipo de estudo.

Viana (2006) realizou investigação sobre os parâmetros temperatura, umidade relativa do ar e direção e velocidade dos ventos em Teodoro Sampaio (SP), fazendo comparações entre as áreas intra-urbana e rural. A coleta dos dados obedeceu ao instrumental de utilização de mini abrigos meteorológicos (equipados com psicrômetros) dispostos em transectos móveis, com mensurações realizadas às 7h, 9h, 15h e 21h, considerando situações distintas, de verão e inverno. A caracterização climática da cidade foi feita com base na análise do clima regional, conforme a sua dinâmica atmosférica, e nos dados obtidos nas mensurações do clima local, considerando nesse aspecto todas as características do assentamento do sítio urbano.

A autora destaca que, mesmo sendo considerada de pequeno porte, a cidade de Teodoro Sampaio já apresenta características peculiares de seu clima, configurando-se em um clima urbano próprio. Assim, as ilhas de calor e frescor aparecem dispostas na cidade de maneira diferenciada, estando relacionadas às variáveis horário, tipo de estação do ano, uso e ocupação do solo e aos sistemas atmosféricos atuantes. A maior intensidade da ilha de calor foi verificada no período do verão, com maior pico no horário das 15h.

Na mesma perspectiva de Coltri (2006), Polizel (2009) também realizou estudo sobre o clima urbano da cidade de Piracicaba (SP). Em sua abordagem, o autor se utilizou de técnicas de sensoriamento remoto e SIG para mapear a distribuição do campo térmico na cidade, por intermédio do cálculo da temperatura de superfície, obtido a partir da banda termal do satélite *Landsat 5*. Ainda consoante ao trabalho com imagens, o autor fez uso da videografia aérea multiespectral de alta resolução com o intuito de identificar as distintas classes de cobertura do solo. Foram tomadas ainda a mensuração de dados meteorológicos em campo, afim de correlacioná-los com os dados do canal termal do satélite.

O autor revela ter obtido resultados satisfatórios, considerando suas técnicas de pesquisa. Assim, foi possível mapear o campo térmico na cidade e relacioná-lo

às alterações no ambiente urbano decorrentes do processo de produção do espaço. O autor destaca ainda a importância da vegetação urbana para a atenuação das temperaturas no espaço urbano, tendo encontrado temperaturas mais amenas nos bairros com maior ocorrência de vegetação.

O livro publicado por Zavattini (2009), resultante da transformação de sua tese de doutorado, concluída em 1990, traz relevante contribuição para a climatologia geográfica brasileira, por adotar e reforçar o paradigma da análise rítmica encabeçada pelo professor Carlos Augusto Monteiro. O seu trabalho centra-se na caracterização da dinâmica atmosférica da região Centro-Oeste e mais especificamente para o estado do Mato Grosso do Sul, debruçado sobre a análise da variação temporal e espacial da pluviosidade da respectiva área. Assim, a sucessão dos estados de tempo é correlacionada com os sistemas atmosféricos atuantes.

O tratamento estatístico foi feito com vistas a estabelecer a média, a tendência e a variabilidade anual, bem como a sazonal, no período compreendido entre 1966 a 1985. Assim, pôde-se estabelecer os “anos padrão”, representativos dos períodos com maior e menor pluviosidade. Após essas etapas o autor procedeu à regionalização climática do estado do Mato Grosso do Sul, tendo identificado 10 regiões climáticas para o referido estado, relacionando-as à atuação dos sistemas atmosféricos e às unidades de relevo existentes no estado.

A pesquisa de Assis (2010) foi direcionada à cidade de Belo Horizonte (MG), na perspectiva de conhecer as unidades climáticas naturais e urbanas e sua evolução. O autor procedeu a análise das unidades climáticas naturais, relacionando-as aos principais fatores climáticos locais, como altitude, morfologia do terreno e cobertura vegetal, e inserindo-os também dentro dos padrões de circulação atmosférica local, bem como analisou as unidades climáticas urbanas, associadas aos padrões de uso do solo.

Na tentativa de chegar a respostas que viessem dar conta de entender o clima urbano de Belo Horizonte, o autor contrastou observações meteorológicas em períodos sazonalmente diferentes, mediante uso de um transecto longitudinal que englobou diferentes tipologias de uso do solo e unidades morfológicas diferenciadas. Assim, pôde traçar parâmetros de diferenciação do clima na cidade.

O autor identificou topoclimas e mesoclimas consoantes a cada um dos climas locais considerados. Para ele, os elementos climáticos analisados, de 1911 a

2009, apresentaram mudanças significativas, sobretudo, a temperatura mínima e a umidade relativa, estando relacionado ao maior acúmulo de energia na aglomeração urbana. As ilhas de calor identificadas coincidiram com os locais de maior adensamento urbano e impermeabilizados, estando relacionadas ao período seco, sendo que, sob atuação de sistemas de instabilidades, as ilhas de calor desapareciam, com diminuição também das amplitudes térmicas.

Como relatado em muitas outras pesquisas, Assis (2010) também encontrou correlações entre a presença de vegetação, espelhos d'água e espaços livres no ambiente urbano e a amenização das temperaturas, isto porque tais superfícies diminuem o ganho de energia do ambiente em comparação com as áreas densamente edificadas.

Após a análise desse limitado recorte de pesquisas sobre a climatologia geográfica brasileira, porém relevante, considerando as intenções a que se destina, uma vez que fornece um panorama revelador sobre a temática, chega-se à conclusão de alguns pontos para o debate:

- Independente dos desdobramentos da metodologia abordada, prevalece a utilização da proposta da análise do clima sob o paradigma do ritmo climático. Na cidade, o S.C.U. de Monteiro (1976) norteia as diretrizes de abordagem;
- Considerando os subsistemas dentro do S.C.U., a quase totalidade dos trabalhos versa sobre o subsistema termodinâmico. Esse retrato relaciona-se em primeira mão com o caráter da maioria dos climas brasileiros, caracterizados pela predominância de altas temperaturas, típicas do ambiente tropical; por outro lado, uma das primeiras consequências trazidas pela alteração do ambiente urbano pela urbanização diz respeito às modificações no balanço de energia, o que traz impacto sobre a temperatura de superfície e, conseqüentemente, sobre a temperatura do ar;
- No geral, os autores preconizam, para abordagem do clima da cidade, o uso de um bom embasamento cartográfico, representando os elementos geoecológicos, como a altimetria, a geomorfologia, a orientação das vertentes, o uso do solo, etc., como subsídios para caracterização do clima;
- É crescente o uso do sensoriamento remoto para o estudo do clima da cidade, principalmente para a produção dos mapas de uso e cobertura do solo urbano, bem como determinação da temperatura de superfície e

definição da ilha de calor, mediante a utilização da banda termal dos satélites disponíveis;

- A presença de áreas verdes intra-urbanas é considerada como positiva, na medida em que funcionam como elementos que trazem amenidades no contexto das altas temperaturas provocadas pelo processo de urbanização, que na maioria das vezes ocorre com a substituição dessas áreas pelas superfícies construídas. Em seus trabalhos, os autores alertam, inclusive, para que estejam presentes nos projetos de planejamento da cidade, a preservação ou criação das áreas verdes e livres.

2.4 O uso do sensoriamento remoto em estudos de clima urbano

O sensoriamento remoto se constitui hoje em uma ferramenta de grande valia para análise de fenômenos geográficos diversos, incluindo-se aí os estudos urbanos. Os produtos do sensoriamento remoto, como por exemplo, as imagens de satélite, passaram a ter larga utilização nos mais variados campos de estudo, uma vez que tais imagens são passíveis de interpretação e a partir daí podem fomentar tomada de decisões conforme os resultados obtidos.

Novo (2010) destaca as distintas possibilidades das aplicações em pesquisas com utilização de dados provenientes do sensoriamento remoto, entre as quais: os estudos que se desenvolvem nas áreas urbanas (como inferência demográfica e planejamento urbano); nas áreas agrícolas (como condição das culturas e erosão de solos); na área ecológica (como regiões alagadas e florestas), entre tantas outras.

A expressão sensoriamento remoto refere-se ao

registro de informação das regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e micro-ondas do espectro eletromagnético, sem contanto, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves ou satélites, e a análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagens (JENSEN, 2005, p. 4)

De forma mais didática, temos que o sensoriamento remoto

é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento refere-se à obtenção dos dados, e remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre (FLORENZANO, 2007, p. 11).

Assim, o sensoriamento remoto diz respeito às várias tecnologias usadas para aquisição de informações diversas sobre a superfície terrestre sem o contato entre a superfície e o sensor. Entre essas tecnologias, destaca-se o uso de imagens de satélite. Nesse contexto, o uso de imagens de satélite se torna muito profícuo aos estudos urbanos, uma vez que essas imagens são repetitivas, ou seja, num determinado período de tempo⁷ considerado o satélite *imageia* a mesma área. Com isso, é possível acompanhar as transformações que ocorrem em determinado sítio urbano e fazer comparações com outros períodos conforme os objetivos de estudo.

O termo sensoriamento remoto apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960, sendo que nessa época significava simplesmente a aquisição de informações sem o contato físico com os objetos. A partir daí esse conceito tem agregado muita tecnologia e conhecimentos complexos frutos de diversos campos do conhecimento, como a física, engenharia eletrônica, cartografia, etc. O sensoriamento remoto representa a convergência de duas grandes linhas de pesquisa que têm fomentado o desenvolvimento de diversas tecnologias acerca do melhor estudo da superfície terrestre. Assim, de um lado, tem-se os avanços produzidos no campo da aerofotogrametria e da fotointerpretação, de outro lado, tem-se as conquistas provenientes da pesquisa espacial e aos avanços tecnológicos por ela induzidos resultando em sensores baseados em fotodetectores e na obtenção de informações da superfície terrestre por meio do uso de satélites (NOVO, 2010).

Os dados fornecidos pelos produtos de sensoriamento remoto, aliados ao uso de um SIG produzem informações valiosas para o monitoramento dos processos de uso e cobertura do solo, uma vez que trabalha com dados multiespectrais e multitemporais, além de permitir o armazenamento digital destes, permitindo

⁷ Cada satélite tem um período de revisita sobre uma área específica, ou seja, uma mesma área vai ser *imageada* pelo mesmo sensor, considerando um intervalo predeterminado de tempo. Para os satélites *Landsat* utilizados nesta pesquisa o tempo de revisita é de 16 dias. Isto significa que a cada 16 dias uma nova imagem é feita sobre uma mesma área.

acompanhar o desenvolvimento do processo (WENG, 2002). Gour et al. (2014) percorrendo nesta mesma perspectiva, defendem que a combinação entre o uso de imagens de satélite e um SIG é muito eficaz para compreender a dinâmica da paisagem, uma vez que permite determinar as mudanças no uso e cobertura do solo. Estes autores afirmam ainda que tais mudanças, na cidade, provocadas pela expansão urbana, podem influenciar no comportamento da temperatura de superfície, que é estimada pelos sensores termais a bordo dos satélites.

É certo que uma das maneiras de acompanhar o desenvolvimento dos padrões de uso e cobertura das terras é a comparação de períodos distintos, afim de encontrar as mudanças. E as imagens de satélite, prestam-se muito bem a essa intenção. No entanto, há que se considerar, que para determinadas áreas, em certos períodos, há uma maior cobertura de nuvens, prejudicando a interpretação visual das imagens, e até mesmo o seu processamento, exigindo um cuidado maior na escolha das datas das imagens, bem como a sua qualidade, o que permite se chegar a resultados mais aceitáveis.

Florenzano (2005) escreve que com o uso das imagens de sensores remotos pode-se ter uma visão de conjunto multitemporal de extensas áreas da superfície. Tal visão possibilita estudos regionais e integrados, envolvendo vários campos do conhecimento, permitindo diagnosticar os ambientes e a sua transformação, mostrando impactos provocados por fenômenos naturais e impactos provocados pela atividade antrópica. Florenzano (2007) também aborda vários fenômenos passíveis de serem estudados com o uso de imagens de satélite, destacando-se por exemplo: a previsão do tempo com os satélites meteorológicos, detecção e monitoramento de focos de incêndios e áreas queimadas, áreas de desmatamentos, erosão e escorregamentos de encostas, inundação, estudo dos ambientes rurais e urbanos, entre outros. Para os ambientes urbanos, a referida autora informa que aspectos ligados à urbanização, como a localização e limites do sítio, bem como os processos de expansão, por exemplo, são facilmente identificados em imagens de satélites.

As imagens de satélite utilizadas nesta pesquisa (*Landsat 5 e 8*) foram captadas pelo Programa *Landsat*⁸, em operação desde a década de 1970, sendo de

⁸ O Programa *Landsat* teve início em 1972 com o lançamento do *Landsat 1*, que ficou em operação até 1978. Em 1975 foi lançado o *Landsat 2*. Em 1978 foi lançado o *Landsat 3* e em 1982 o *Landsat 4*.

propriedade do governo dos Estados Unidos da América (EUA) e desenvolvido e lançado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (Administração Espacial e Aeronáutica Nacional) em cooperação com o USGS. O último satélite da série *Landsat* (o *Landsat 8*) foi lançado em fevereiro de 2013 e desde então diversas empresas espalhadas em várias partes do mundo, incluindo o Brasil, têm disponibilizado gratuitamente essas imagens, possibilitando o desenvolvimento de estudos nas mais variadas áreas do conhecimento.

Para os estudos urbanos o uso desta tecnologia tem demonstrado grande crescimento, principalmente os estudos que pesquisam os processos de expansão urbana e os problemas inerentes a estes como a formação das ilhas de calor, problemas socioambientais ligados a escorregamentos e deslizamentos, determinação de áreas sujeitas a alagamentos, supressão da vegetação e determinação da temperatura de superfície, entre outros.

Especificamente tratando dos estudos que fazem uso de imagens de satélite para o estudo da temperatura de superfície, destaca-se que estes

se utilizam de dados espectrais localizados na região do infravermelho termal. [...] através do sensoriamento remoto é possível examinar relações entre a estrutura espacial dos padrões térmicos urbanos e as características da superfície urbana, além de permitir um maior grau de detalhamento e uma visão espacial das temperaturas da superfície de uma determinada região com o seu entorno” (DORIGON e AMORIM, 2013, p. 119).

O uso da banda termal, que mede a quantidade de energia radiante infravermelha emitida das superfícies, é bastante útil para o mapeamento da inércia termal destas, permitindo estimar a temperatura aparente em função da emissividade e da temperatura verdadeira (cinética) da superfície (JENSEN, 2009). Ressalte-se que a inércia termal está relacionada a resistência dos corpos em sofrer mudanças de temperatura e que é influenciada por algumas variáveis, como a cor e a constituição dos corpos, sua espessura, rugosidade, temperatura, entre outros.

Em sua obra, Monteiro (1976, p. 48) já adiantava o uso crescente e vindouro desta ferramenta ao dizer que “as técnicas modernas de sensoriamento remoto,

Mais informações podem ser encontradas em JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de José Carlos Neves Epiphanyo (coord.). 2 ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2011, 598p.

principalmente pela aplicação do infravermelho, estão aí para subsidiar o mapeamento térmico das cidades, ponto de partida para outros fenômenos do clima urbano”. Mendonça (2015) também atesta a importância das geotecnologias ao afirmar que atualmente os estudos de clima urbano no Brasil são altamente sofisticados, devido ao uso de equipamentos eletroeletrônicos, imagens de satélites e o geoprocessamento. Com efeito, a partir da difusão cada vez maior de produtos de satélite, devido a relativa facilidade de acesso a estes⁹, tem-se ao mesmo tempo, a intensificação dos estudos urbanos utilizando essa ferramenta, pois o uso de imagens de satélite, incluindo-se aí o canal termal, possibilita trabalhar com cenários distintos tanto espacial como temporalmente.

De acordo com Baptista (2012) a região do infravermelho termal constitui o intervalo entre 5,0 μm a 1,0 mm. No entanto, devido às absorções da atmosfera, apenas a faixa 8,0 a 14 μm é usada nas aplicações de sensoriamento terrestre. Fitz (2008) ressalta que no geral a radiação infravermelha está associada à emissão de calor (radiação térmica) por parte dos objetos e que tende a apresentar respostas singulares conforme a temperatura dos corpos.

Novo (2010) escreve que a região do infravermelho termal é proveniente basicamente de vibrações moleculares decorrente da temperatura dos corpos, uma vez que todos os materiais com temperatura superior a 0K emitem radiação eletromagnética (REM), sendo esta, função basicamente da temperatura do corpo e de sua emissividade. Assim, o pesquisador interpreta medidas de radiação de uma fonte distante do sensor que registra as propriedades térmicas dos objetos.

Nesse sentido, a temperatura que é estimada pelo sensor é denominada temperatura aparente (temperatura de brilho), ou ainda, temperatura de superfície. É importante reforçar que nesta pesquisa estamos trabalhando com esse conceito – temperatura de brilho ou de superfície – como distinção da temperatura do ar ou cinética, ou seja, aquela medida pelos termômetros. Para análise da radiação infravermelha termal devem ser levados em consideração alguns princípios, quais sejam:

⁹ Esta facilidade de acesso é de certa forma, limitada, uma vez que a maioria das imagens disponíveis gratuitamente correspondem a imagens com média e baixa resolução espacial. As imagens de alta resolução ainda são pagas.

1) como a energia de comprimento de ondas curtas radiada pelo Sol interage com a atmosfera, 2) como ela interage com os materiais da superfície da Terra (i.e., parte da energia é transformada em energia de comprimentos de onda maiores), 3) como a energia emitida pelo terreno interage com a atmosfera novamente, e finalmente, 4) como um detector de sensoriamento remoto registra a radiação eletromagnética infravermelha termal (JENSEN, 2009, p. 254).

A observação desses princípios visa subsidiar a interpretação das imagens de satélite no campo da banda termal e assim, evitar erros de interpretação. Na cidade, suas formas materiais e espaciais, e as atividades desenvolvidas, alteram o balanço de radiação da superfície, resultando em aquecimento diferenciado no interior da cidade em comparação com as superfícies de entorno (CARDOSO e AMORIM, 2014). Essas mudanças no padrão de aquecimento da superfície são registradas pelos sensores dos satélites que operam o canal termal.

No geral, os princípios mencionados acima devem ser ampliados também quando da análise de imagens produzidas em comprimentos de onda diferentes do termal, isto porque segundo Novo (2010, p.268) “os alvos da superfície terrestre podem ter sua resposta espectral alterada com o tempo, em decorrência de modificações de fatores externos ao alvo (iluminação, alterações antrópicas etc.) ou de modificações próprias de sua natureza”. A autora destaca ainda que um exemplo de alvo que altera suas características intrínsecas em função do tempo é a vegetação, que pode apresentar-se sob diversos aspectos, como florestas, culturas, campos, etc.

Isto significa que para o pesquisador é imprescindível o conhecimento prévio das características inerentes a sua área de pesquisa, como o período que as imagens foram feitas, as características relacionadas à dinâmica espacial do local, bem como os parâmetros dos sensores utilizados, pois as modificações dos alvos anteriormente descritas vão impactar diretamente no comportamento espectral destes alvos, e, caso esse conhecimento seja deficitário poderá produzir interpretações equivocadas das imagens.

Nos satélites da série *Landsat* as bandas utilizadas para o infravermelho termal possuem as seguintes características:

Tabela 1 – Características da banda termal nos satélites da série *Landsat*¹⁰

Sensor/ Satélite	Lançamento	Resolução espacial (m)	Altitude (Km)	Resolução espectral (μm)	Status
TM/ <i>Landsat 5</i>	01/03/1984	120	705	10,4-12,5	Desativado desde 2012
ETM+/ <i>Landsat 7</i>	15/04/1999	60	705	10,4-12,5	Indisponível desde 2003
OLI/TIRS/ <i>Landsat 8</i>	11/02/2013	100	705	10,6-12,51	Em operação

Fonte: elaborado pelo autor com base em Fitz (2008); Jensen (2009); USGS (2015).

Essas informações são importantes e devem ser consideradas no momento da aquisição de imagens de satélite, pois estão relacionadas à disponibilidade ou não para uma dada localidade, bem como devem ser consideradas conforme a intenção do usuário no seu objeto de estudo.

Neste contexto, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas, tanto no âmbito nacional como internacional, com a intenção de estudar o clima urbano a partir das transformações da superfície citadina e seus efeitos sobre a temperatura. O uso da banda termal dos satélites da série *Landsat*, assim como outros satélites que trabalham com o canal termal, tem se mostrado bastante satisfatório para subsidiar esses estudos.

Vários trabalhos tratam desta temática crescente, como já enfatizado. A superfície desempenha papel fundamental nos estudos de climatologia urbana. As propriedades e a natureza da superfície urbana condicionam fortemente o comportamento das camadas mais baixas da atmosfera (VOOGT e OKE, 1997), na medida em que atuam influenciando o fluxo de energia radiante. Assim, a heterogeneidade dessa superfície traz respostas distintas ao comportamento dos fluxos de calor na baixa atmosfera.

Voogt e Oke (2003) reiteram a importância da temperatura de superfície nos estudos de climatologia urbana, ressaltando o uso cada vez maior de sensores remotos que operam no canal infravermelho para as pesquisas de clima em geral.

¹⁰ Para a elaboração desta tabela não foram considerados os dados relativos aos satélites *Landsat 1*, *2*, *3* e *4*.

Ainda segundo Voogt e Oke (2003) o uso da temperatura de superfície se mostra bastante relevante para a análise da ilha de calor urbano, sendo útil também na determinação das trocas entre a atmosfera e a superfície urbana. A variação espacial da temperatura evidencia respostas térmicas relativas aos distintos tipos de coberturas do solo urbano, caracterizadas por diferenças na constituição, cor, inércia térmica, etc. dos materiais da cidade.

Weng et al. (2004) e Weng (2009) discutem a importância da temperatura de superfície no contexto do clima da cidade e destacam que os dados do sensoriamento termal podem fornecer uma visão contínua e simultânea da cidade, sendo útil na investigação do clima da superfície urbana. Estes dados podem ainda ser utilizados para simular, no espaço e no tempo, a ilha de calor urbano.

A consideração da participação efetiva da superfície no contexto do clima da cidade é determinante, pois permite que se estabeleça a relação entre a temperatura de superfície e a rugosidade do ambiente urbano, caracterizado pela heterogeneidade dos materiais que o compõem (anisotropia efetiva), tendo importância nesse processo as áreas com cobertura de vegetação (WENG, 2009).

Na mesma perspectiva, Srivanit e Hokao (2012) discutem que a temperatura de superfície tem importância primordial, pois esta modela a temperatura do ar nas camadas mais baixas da atmosfera urbana, contribuindo para as trocas de energia e traz impacto sobre o conforto dos moradores. Esses autores escrevem ainda que as modificações na superfície da cidade, devido ao processo de urbanização, trazem alterações no campo térmico, em comparação com as áreas não urbanizadas, principalmente a noite, e destacam a importância das áreas verdes na cidade por possuírem, normalmente, menores valores de temperatura de superfície trazendo impacto positivo sobre a temperatura do ar.

Estas discussões colocam o uso da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) como um parâmetro bastante relevante nos estudos de clima urbano, na medida em que considera a participação dos distintos tipos cobertura (o padrão da paisagem) que compõem a superfície urbana como imprescindíveis para o entendimento do processo (LI et al., 2013).

Zhibin et al. (2015), enfatizam que no contexto da cidade, não apenas a quantidade, mas também a configuração da vegetação urbana pode afetar significativamente a magnitude da TST. Esse conhecimento, ressaltam ainda os

autores, fornece subsídios aos planejadores urbanos a fim de mitigar os efeitos das ilhas de calor, através da otimização da distribuição espacial da vegetação.

Com efeito, nas áreas mais urbanizadas, que geralmente possuem menor densidade de vegetação, há um maior acúmulo de energia durante todo o dia, devido às características de constituição dos materiais urbanos. Assim, no início da tarde e à noite (período no qual se intensifica a concentração de energia na forma de ondas longas) esta energia é liberada aos poucos contribuindo para o incremento da temperatura do ar na baixa atmosfera.

O uso do sensoriamento remoto para o estudo da temperatura de superfície é largamente utilizado no mundo hoje, e no Brasil encontra-se em expansão considerável, uma vez que, segundo Walawender et al. (2012) esta técnica é amplamente utilizada para estudos meteorológicos e climatológicos, sendo útil no estudo da ilha de calor urbana, além de inúmeras pesquisas ambientais. Estes autores destacam ainda que esta técnica permite o reconhecimento dos emissores de calor artificial no ambiente urbano e também proporciona o conhecimento da complexa estrutura do mosaico térmico das superfícies urbanas, consoante aos diferentes usos e cobertura do solo.

Dessa forma, na literatura brasileira é crescente o uso desta técnica para entendimento do clima urbano, como pode ser observado nos trabalhos de Lombardo (1985), Coltri (2006), Oliveira e Rosa (2013), Coelho e Correa (2013), Cardoso e Amorim (2014), entre outros. Estes trabalhos têm em comum o fato de trabalharem a banda termal em imagens de satélite do *Landsat* para extrair dados de temperatura de superfície e relacioná-los à dinâmica do processo de urbanização.

Oliveira e Rosa (2013) destacam os estudos da distribuição da temperatura na paisagem como meio de avaliar a qualidade ambiental. Nesses estudos, ressaltam os referidos autores, é possível identificar as modificações que são feitas pelo uso da terra ao longo do tempo e indicar ações de conservação ou de recuperação do solo, da vegetação e também dos recursos hídricos.

Dorigon e Amorim (2013) discorrem que as cartas de temperatura, geradas a partir da banda 6 do *Landsat 5* e banda 10 do *Landsat 8*, podem identificar locais e pontos dentro do sítio urbano de uma cidade, nos quais a temperatura encontrava-se mais aquecida na época da aquisição das imagens de satélite. Assim, é possível

correlacionar tais características com o uso e ocupação do solo no local considerado.

Coelho e Correa (2013, p.42) ressaltam que:

As informações de temperatura da superfície do canal infravermelho termal contribuem na identificação, espacialização e na compreensão da dinâmica climática operante de microclimas locais e, conseqüentemente, na adoção de diretrizes como planos de arborização no sentido de amenizar as temperaturas nesses ambientes, podendo ser aplicada em outros intervalos de datas e locais distintos. A utilização dessa técnica também permite o conhecimento espacial e temporal da expansão urbana e dos problemas delas oriundos.

É buscando essa mesma perspectiva, que a pesquisa que aqui se expressa procura direcionar-se. Teresina cresce, e dentro da dinâmica da cidade, os processos decorrentes se materializam no espaço, produzindo fenômenos passíveis de serem apreendidos com o uso de imagens de satélite e não perdendo de vista as escalas de análise que se interligam.

Na seção adiante discute-se a contribuição das pesquisas em clima urbano desenvolvidas até então na cidade de Teresina. As referências utilizadas aqui não representam, necessariamente, todas as pesquisas feitas na cidade sobre o tema, mas apenas aquelas às quais o autor teve acesso.

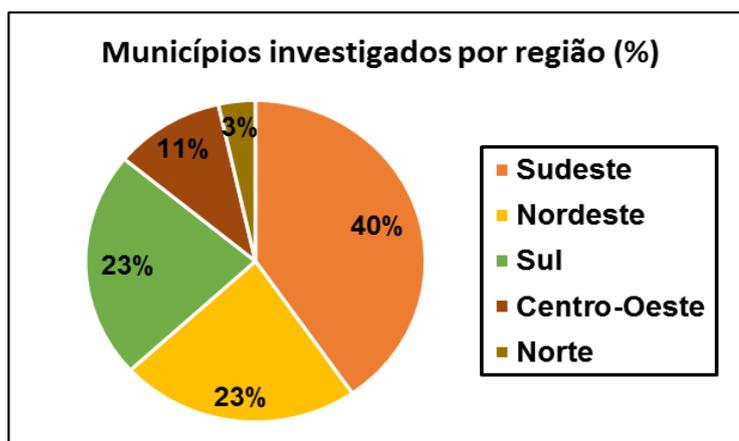
2.5 Mapeando as pesquisas em clima urbano de Teresina

Para a compreensão do cenário das pesquisas em climatologia urbana na cidade de Teresina, faz-se necessário, primeiramente, traçar um panorama acerca dessas pesquisas a nível de região Nordeste e Brasil como um todo. É oportuno lembrar que a concepção teórica e metodológica que orienta esta pesquisa está assentada nas pesquisas de Monteiro (1976) e em seus estudos posteriores. Assim, o panorama descrito acima também considera a observância do referencial deste autor como embasamento.

Sobre essa abordagem, Mendonça et al. (2012) escrevem que entre 2001 e 2010 foram defendidas cerca de 130 teses e dissertações relacionadas a clima urbano no Brasil e que deste total, 59,2% utilizam contribuições de Monteiro como metodologia ou referencial teórico e bibliográfico, destacando-se a Geografia,

Meteorologia, Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil, Física Ambiental e Engenharia Urbana como as áreas do conhecimento que têm desenvolvido essas pesquisas. Ao analisarem a quantidade de municípios nos quais se desenvolveram as pesquisas, destacam-se a região Sudeste com 40% dos municípios investigados, seguida pelas regiões Nordeste e Sul, ambas com 23% (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Quantidade de municípios investigados no Brasil: 2001 a 2010



Fonte: adaptado de Mendonça et al. (2012)

O destaque para a região Sudeste nesse quesito reside no fato de que os programas de pós-graduação nesta região têm mais tempo de existência, resultando em uma gama maior de trabalhos sobre a temática.

No que diz respeito aos subsistemas pesquisados, com base no S.C.U, Mendonça et al. (2012) relatam que há um grande predomínio do subsistema termodinâmico. Tal predomínio se deve, além de outros fatores, “às características tropicais brasileiras, à maior facilidade técnica/tecnológica de sua elaboração quando comparada aos subsistemas hidrometeorológico e físico-químico” (MENDONÇA et al., 2012, p. 635). Sobre essa característica, Cardoso e Amorim (2014) destacam

Dentre os elementos do clima que mais sofrem variações devido à influência da superfície urbana na atmosfera local, a temperatura tem se destacado nos estudos sobre o clima urbano, pois as características da cidade, como a rugosidade, o uso e a ocupação do solo, a permeabilidade, o albedo, as propriedades térmicas dos materiais construtivos, entre outros, promovem seu aumento tanto no ar quanto na estrutura urbana (CARDOSO e AMORIM, 2014, p. 42).

Zanella e Moura (2013) também analisaram as pesquisas em clima urbano na perspectiva da metodologia de Monteiro (1976), só que nesse caso, abordando

dados sobre a região Nordeste, e considerando também, além de teses e dissertações, artigos publicados em periódicos e trabalhos publicados em anais de eventos, como pode ser observado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Pesquisas em clima urbano desenvolvidas na região Nordeste no período de 2000 a 2012



Fonte: Zanella e Moura (2013)

Elaboração do autor

1 Os dados são aproximados

Os dados do Gráfico 2 mostram a tendência verificada por Mendonça et al. (2012), revelando a preponderância das pesquisas que abordam o subsistema termodinâmico também na região Nordeste. Adicionalmente às informações já apresentadas, a temperatura é o primeiro elemento do clima alterado localmente em virtude das modificações feitas na superfície, como por exemplo, a redução da cobertura vegetal, e também aquele que mais rapidamente é percebido pelo ser humano através de seu sistema termorregulador, residindo em um número maior de pesquisas sobre esse subsistema.

Merece destaque o fato de que nos últimos anos houve grande incremento dos estudos dos climas das cidades sob a perspectiva do estado de saúde-doença das populações urbanas. Ainda que no Nordeste brasileiro os estudos relativos ao clima urbano tenham iniciado na década de 1980, estes cresceram consideravelmente a partir do início da primeira década do século XXI, período no qual se teve também a ampliação dos Programas de Pós-Graduação em Geografia na região, tendo destaque a análise dos problemas e da qualidade de vida nas médias e grandes cidades (ZANELLA e MOURA, 2013). Estes autores fazem ainda uma importante constatação ao escreverem que:

A ampliação da pós-graduação se fez notar nos estudos e publicações em climatologia geográfica na região, a partir da área da Geografia, fortalecida pela criação de Grupos de Pesquisa nas Instituições Federais de Ensino. O clima de todas as capitais do Nordeste do Brasil conta com estudos de qualidade, que muito contribuíram para a sua compreensão. Se muitos estudos têm sido desenvolvidos no Nordeste, o mesmo não se constata a nível de aplicação dos mesmos (ZANELLA e MOURA, 2013, p. 78).

Na cidade de Teresina, os trabalhos até então desenvolvidos, seguem a tendência observada por Mendonça et al. (2012) e Zanella e Moura (2013), isto é, o fato de as investigações serem direcionadas às derivações no componente termodinâmico do clima da cidade, principalmente relacionando-se às características geográficas que a cidade apresenta em relação à variável temperatura.

Andrade (2000), em sua dissertação de mestrado, utilizou a teoria das representações sociais para trabalhar o calor a partir de um enfoque centrado na geografia humanista. Assim, este autor investigou as representações que são feitas sobre a cidade de Teresina mediadas pelo calor e como essas representações configuram-se nos variados meios de comunicação. O período de investigação contemplou os anos entre 1969 a 1999.

Silveira (2007) discutiu a problemática da geração de microclimas no interior de conjuntos habitacionais destinados à população de média e baixa renda a partir da análise das áreas externas desses conjuntos em Teresina. Fazendo um recorte de edifícios de até quatro pavimentos, a autora procurou estabelecer parâmetros qualitativos e quantitativos para o projeto e a construção desses edifícios, e enfatizando que tais construções sejam pautadas nas condições locais do clima, afim de garantir o conforto térmico aos usuários.

Kallas (2008) estudou o desenho urbano e a adequação bioclimática do loteamento HBB¹¹ em Teresina, destacando desconforto térmico no referido loteamento. Esta autora enfatizou que a maneira como esse loteamento foi construído pautou-se na contramão das premissas necessárias à construção de um ambiente urbano climaticamente saudável, considerando o fato da ocorrência da rarefação da vegetação no local e uso inadequado de materiais construtivos, o que, segundo a autora, contribui para o aumento da temperatura do ar no local.

¹¹ O loteamento Habitar Brasil Bid (HBB) localiza-se no bairro Pedra Mole, região Leste da cidade.

Em sua tese de doutorado Andrade, (2009) pesquisou as variantes topoclimáticas dos espaços livres da cidade de Teresina. Primeiramente, o autor discutiu as características climáticas da cidade, analisando dados históricos sobre os variados elementos climáticos da área em questão. Posteriormente, foi feita uma investigação, com aferição de dados meteorológicos em diferentes parques ambientais, denominados pelo autor de espaços livres. Essas áreas, caracterizadas por uma maior densidade de vegetação, contribuem para a manutenção do equilíbrio térmico e ambiental na cidade.

Numa perspectiva semelhante, Silva (2009) analisou o microclima de vias públicas em Teresina a partir do estudo da conformação de arborização e a composição dos materiais urbanos. As vias urbanas trabalhadas pelo autor foram as avenidas Frei Serafim, Santos Dumont e João XXIII. Nesses espaços foram feitas coletas de dados meteorológicos e posteriormente esses dados foram trabalhados em *softwares* específicos, a fim de se extrair informações acerca do desempenho da ambiental da arborização nas vias pesquisadas.

Feitosa (2010) analisou as alterações nos elementos climáticos da cidade decorrentes da expansão urbana e supressão de áreas verdes. O estudo contemplou o período de 1977 a 2009. Através do uso de técnicas de sensoriamento remoto a autora quantificou a vegetação e área urbanizada, permitindo extrair dados de temperatura da superfície por meio da composição do campo termal. Esse procedimento é feito a partir da interpretação da banda do infravermelho termal de uma imagem de satélite numa data considerada.

Feitosa et al. (2011) investigaram as consequências da expansão urbana sobre a supressão da vegetação e na temperatura da superfície de Teresina através da utilização de imagens orbitais. Foram utilizadas imagens de satélite referentes aos anos de 1989 e 2009, fazendo-se a comparação das mesmas com a intenção de se extrair dados relativos à dinâmica da urbanização da cidade de Teresina e como essa dinâmica tem contribuindo na formação de áreas mais aquecidas.

Albuquerque (2012) também abordou a influência das áreas verdes na temperatura em alguns bairros da cidade. A pesquisa foi desenvolvida nas regiões Leste e Sudeste da cidade de Teresina, enfocando os bairros Pedra Mole, Jóquei Clube e Dirceu Arcoverde. Nestes foram feitas medições de dados meteorológicos simultâneos, em áreas que apresentavam maior densidade de vegetação, bem como em áreas com menor índice.

Araújo (2014) mapeou ilhas de calor em Teresina a partir da mensuração de dados meteorológicos em pontos fixos e transectos móveis. Nos transectos móveis, que atravessavam a cidade nas direções Norte-Sul e Leste-Oeste, foram tomadas medidas de temperatura do ar e umidade relativa do ar, através da fixação de uma haste de madeira na lateral de um automóvel e na ponta da haste foi fixado o sensor do termo-higrômetro. O autor identificou ilhas de calor nos bairros Cabral, Jôquei Clube, Por Enquanto, Santo Antônio e Parque Jacinta, além das regiões da Avenida Frei Serafim e Balão da Tabuleta.

Chaves (2015) realizou pesquisa sobre vulnerabilidade às inundações em Teresina, estabelecendo-se correlação com as características do meio físico urbano, as funções da cidade e o perfil da população afetada. A autora aplicou 361 questionários nas distintas regiões administrativas da cidade, utilizando-se métodos estatísticos para chegar a essa amostra populacional. Os resultados permitiram a autora chegar à conclusão que é na região Norte onde ocorre a maior quantidade de setores de riscos de inundação, englobando, conseqüentemente, a maior quantidade de pessoas em risco, seguida da região Sul.

Como se observa nestes trabalhos, há uma grande convergência dos estudos em climatologia urbana na cidade de Teresina centrados na investigação do parâmetro temperatura, portanto, dentro do subsistema termodinâmico segundo a metodologia de Monteiro (1976). Este cenário, como já mencionado neste texto, relaciona-se, além de outros fatores, às características tropicais brasileiras, características essas, bastante evidenciadas pelos diversos autores que têm pesquisado o clima da cidade de Teresina. Nos trabalhos abordados, no entanto, tem-se o caráter inédito da pesquisa feita por Chaves (2015), que, como visto, desenvolveu seu estudo voltado para a análise da vulnerabilidade às inundações em Teresina, estando, portanto, com base no S.C.U de Monteiro (1976), inserida em uma abordagem mais direcionada ao subsistema hidrometeorológico.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA EM FOCO

O desenvolvimento de uma pesquisa consiste em um exercício intelectual e científico, para o qual não se segue um roteiro pré-estabelecido, mas se constrói na medida em que o fazer da pesquisa põe em cena as necessidades a serem satisfeitas e as lacunas a serem preenchidas. O planejamento (necessariamente flexível) do percurso, torna-se, no entanto, imprescindível.

Como exercício intelectual, a pesquisa faz e refaz o pesquisador, ou vice-versa, na medida que impele a este a certeza duvidosa da escolha. No final, entendido aqui não como linearidade, mas, sobretudo, como um objetivo alcançado, o achado do pesquisador torna-se um produto de sua escolha e esforço. Como exercício científico, a pesquisa induz, necessariamente, uma postura rigorosa e crítica com o objeto pesquisado, na medida em que o achado do pesquisador poderá servir de embasamento, corroborando ou discordando, nos desdobramentos de outras pesquisas. Nesse viés, concordamos com o que nos revela Morin (1999, p. 38) ao dizer que “a cientificidade não se define pela certeza, e sim pela incerteza”. Revestindo-nos deste espírito, colocamo-nos dispostos às discussões.

Como elementos norteadores do fazer da pesquisa elencamos aqui aqueles que, especificamente atrelam-se ao objeto do presente trabalho. Outros, de natureza inerente à práxis da pesquisa em si mesma, e, portanto, necessários no âmbito dos distintos tipos de investigação científica, diluem-se no transcorrer desta.

A aquisição de bases cartográficas do município de Teresina nos serviu para a produção dos mapas utilizados para a espacialização dos dados geográficos dispostos no desenvolvimento do trabalho. Estes dados foram adquiridos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Para o trato com os produtos de sensoriamento remoto, a necessidade foi a aquisição de imagens do satélite *Landsat 5 e 8*: tais imagens foram adquiridas gratuitamente junto aos seguintes órgãos: USGS, disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>; e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponível em http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/index_pt.php. Para a aquisição das imagens os parâmetros considerados estão descritos na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Parâmetros das imagens de satélite utilizadas na pesquisa

Data	Sensor/Satélite	Bandas	Resolução Espacial	Órbita/Ponto
10/1985	TM/Landsat 5	3, 4, 5 e 6 (termal)	30 m (bandas 3, 4 e 5) 120 m (banda 6)	219/64
10/2001	TM/Landsat 5	3, 4, 5 e 6 (termal)	30 m (bandas 3, 4 e 5) 120 m (banda 6)	219/64
10/2015	OLI/TIRS/Landsat8	4, 5, 6, 8 (pancromática) e 10 (termal)	30 m (bandas 4, 5 e 6), 15 m (banda 8) 100 m (banda 10)	219/64

Fonte: elaborado pelo autor com base em Barbosa e Dorigon (2014); Fitz (2008); USGS (2015)

A Tabela 2 mostra os principais requisitos para a obtenção das imagens e as características das mesmas, no sentido de delimitar espacial e temporalmente o objeto da pesquisa. Ressalte-se aqui que a justificativa por abordar um período¹² de tempo de 30 anos explica-se pela necessidade de considerar as transformações que a cidade de Teresina tem passado nesse período, como a redução da cobertura vegetal e o aumento da densidade de construções. Tais transformações, segundo Andrade (2009, 2012), Thiers e Moura (2010), Moreira e Nóbrega (2011), Cardoso e Amorim (2014), além de outros autores, trazem grande impacto sobre o clima urbano.

O trabalho em ambiente computacional para tratar as imagens de satélite foi feito com o uso de um *software* de SIG, sendo utilizado aqui o SIG *ARCGIS* 10. Através do geoprocessamento das imagens de satélite foram produzidos, principalmente, dois produtos cartográficos, os quais são: i) mapa de cobertura do solo e ii) mapa da temperatura de superfície, para cada ano considerado.

O primeiro produto cartográfico visa facilitar a compreensão da dinâmica urbana na cidade de Teresina nos últimos 30 anos, principalmente no que diz respeito à supressão da vegetação e ao aumento da densidade de áreas

¹² Cabe mencionar aqui que inicialmente a intenção era trabalhar, para cada ano, com imagens de satélite representativas do período mais quente e o menos quente, ou seja, o mês de outubro e o mês de fevereiro, considerando a realidade climática de Teresina. No entanto, para esta cidade, nos primeiros meses do ano, a cobertura de nuvens é muito intensa o que inviabiliza a maioria dos trabalhos com imagens de satélite.

construídas, que vão impactar sobre o comportamento da temperatura de superfície. Estes processos engendram transformações nas formas espaciais da cidade, trazendo alterações no comportamento espectral dos alvos urbanos. Com efeito, tem-se o impacto na qualidade ambiental no espaço urbano de Teresina, considerando que o aumento da temperatura de superfície produz influências sobre a temperatura do ar.

Adicionalmente, à medida que a cidade expande suas fronteiras para além do perímetro urbano, ou seja, incorporando cada vez mais a este espaço áreas que antes eram rurais e com maior densidade de vegetação, novas marcas inerentemente urbanas vão sendo materializadas nesses novos espaços. Com isso, as consequências advindas desse novo processo vão produzindo derivações que podem ser sentidas no equilíbrio ambiental urbano, como por exemplo, o aumento das médias de temperatura, resultantes, sobretudo, pela redução da cobertura verde, pelo aumento de áreas construídas e mudanças na direção e velocidade dos ventos. Na Tabela 3, tem-se os parâmetros das bandas utilizadas para a produção do mapa de cobertura do solo.

Tabela 3 – Características específicas das bandas utilizadas para a produção do mapa de cobertura do solo

Satélite	Bandas	Resolução espectral (em μm)	Resolução espacial (em m)
<i>Landsat 5</i>	B3 – vermelho	0,63-0,69	30
	B4 – infravermelho próximo	0,76-0,90	30
	B5 – infravermelho médio	1,55-1,75	30
<i>Landsat 8</i>	B4 – vermelho	0,64-0,67	30
	B5 – infravermelho próximo	0,85-,88	30
	B6 – infravermelho médio	1,57-1,65	30
	B8 – pancromática ¹³	0,50-0,68	15

Fonte: adaptado de Fitz (2008) e USGS (2015)

¹³ Aqui o uso da banda pancromática do *Landsat 8* destina-se a produzir uma composição colorida de melhor resolução espacial, através da fusão desta banda com a imagem falsa-cor, uma vez que sua resolução é de 15 metros. Assim, a interpretação visual é melhorada.

O conhecimento das características constantes na Tabela 3 é imprescindível para o processamento correto das imagens de satélite e sua posterior interpretação. Através da composição colorida (denominada de *falsa-cor*) das bandas 3, 4 e 5 (*Landsat 5*) e bandas 4, 5 e 6 (*Landsat 8*) foi produzido um mapa com a intenção de mostrar os distintos tipos de cobertura do solo para a cidade de Teresina, uma vez que a composição falsa-cor se aproxima bastante das cores presentes no real e que são reproduzidas numa dada imagem.

No que diz respeito à interpretação das imagens de satélite e às formas encontradas nestas, é importante considerar que geralmente as formas que aparecem irregulares relacionam-se às feições naturais, como rios, vegetação, etc., e as formas regulares referem-se às obras humanas, como estradas, praças e edificações (LUCHIARI et al. 2005). Esse procedimento fundamenta a produção do mapa de cobertura do solo, uma vez que identifica as diferentes classes concernentes às características morfológicas, de cor, textura, tonalidade, entre outras.

Nessa perspectiva, o mapa de cobertura do solo foi produzido como base na *classificação supervisionada*. Fitz (2008) afirma que a classificação de imagens de satélite está relacionada à identificação de determinados elementos nela presentes, baseando-se na associação de cada um de seus *pixels* a uma determinada classe preestabelecida. Em outras palavras, a classificação visa nomear, com base em critérios predeterminados, os elementos constituintes da superfície e que aparecem nas imagens. Luchiari et al, (2005, p. 49) ressaltam uma das vantagens da classificação supervisionada ao afirmarem que nesta “há um intenso controle do operador sobre o processo, em virtude disso a verificação de erros e de exatidão é mais efetiva”.

Na classificação supervisionada existem vários métodos, sendo utilizado nesta pesquisa o método da máxima verossimilhança (MAX-VER). Conforme Fitz (2008, p. 134) a classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança baseia-se na

escolha de áreas que possam ser representativas de determinadas feições conhecidas. Nesse método, são utilizadas a média e a covariância dos *pixels* amostrados, sendo calculada a probabilidade de um *pixel* externo a essas amostras pertencer a ela

É importante observar que o método MAX-VER baseia-se bastante na capacidade de interpretação frente à heterogeneidade da superfície que se apresenta ao operador, por isso a importância que deve ser dada ao conhecimento por parte do pesquisador de sua área de estudo, principalmente relacionado às visitas de campo, pois estas vão subsidiar esta etapa. Então, quanto maior o número de amostras que o pesquisador fornecer para identificação de uma determinada feição, mais verossímil ela se tornará.

Nos procedimentos para a produção do mapa de temperatura de superfície a banda a ser utilizada é a do infravermelho distante ou termal (banda 6 no *Landsat 5* e a banda 10 no *Landsat 8*), com variação de comprimento de onda (intervalo espectral) entre 10,4 μm a 12,5 μm , para o *Landsat 5* e 10,6 a 12,51 μm , para o *Landsat 8*. O uso desta banda destina-se a caracterizar respostas da natureza térmica dos elementos da superfície terrestre, compreendendo a faixa do espectro que é sensível ao pico da emissão, por um corpo qualquer, de temperaturas extremas (FITZ, 2008).

O processamento da banda termal do satélite *Landsat* permitiu trabalhar com a análise da distribuição espacial e temporal dos dados de temperatura da superfície de Teresina com base no cálculo da radiância¹⁴ diferenciada dos materiais constituintes da superfície. Conforme Meneses (2012) a radiância está relacionada a densidade de fluxo radiante que deixa um elemento de área da superfície do terreno, cuja direção é definida por um cone elementar de um ângulo sólido contendo aquela direção. Quando se considera a radiância total que deixa a superfície de um alvo, deve-se levar em conta também a refletância média deste.

Pavão et al. (2014) complementam que o albedo (ou refletância) é calculado a partir da razão entre a radiação solar incidente e a refletida pela superfície, estando diretamente relacionado às trocas de energia entre o sistema superfície-atmosfera. Ainda de acordo com esses autores, o albedo vem sendo frequentemente utilizado em pesquisas de variações climáticas, dado a sua influência nas variáveis

¹⁴ Jensen (2009, p. 56) define a radiância como “a intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada numa direção específica”. A unidade da radiância é o $\text{W m}^2 \text{sr}^{-1}$ (watts por metro quadrado, por esterradiano).

pertinentes a esse tipo de estudo, como por exemplo, o saldo de radiação e, conseqüentemente, o balanço energético sobre uma determinada superfície.

Ferreira e Assis (2014, p. 202) discorrem sobre a importância das características dos materiais constituintes da superfície no comportamento da refletância destes, e destacam que:

O comportamento refletivo dos materiais depende da refletância espetacular e da refletância difusa, no qual a refletância espetacular ocorre quando a superfície do material consegue refletir toda a luz incidente em um mesmo ângulo, se assemelhando a um espelho, e a refletância difusa está relacionada à reflexão da luz, pelo material, em diversos ângulos, em função da irregularidade da superfície.

Isso significa que para a análise das informações da banda termal torna-se imprescindível dois procedimentos básicos por parte do pesquisador: *primeiro*, é importante que o pesquisador tenha bastante conhecimento *in loco* dos principais pontos relevantes de sua área de pesquisa, através de visitas de campo e registro fotográfico; *segundo*, é necessário fazer uma composição colorida das bandas do satélite utilizadas no trabalho com o fito de melhor discernir os elementos da superfície. Estes procedimentos visam subsidiar a interpretação correta dos produtos cartográficos.

Para a transformação das informações constantes na banda termal da imagem de satélite em temperatura de superfície serão adotados basicamente os procedimentos descritos em Chander et al. (2009), Holz et al. (2012), Coelho et al. (2013), Coelho e Correa (2013), Correa et al. (2015), entre outros, que trabalham com algoritmos para a extração da temperatura de superfície utilizando um SIG. As etapas são as apresentadas adiante:

- (1) **Cálculo da radiância:** que consiste na conversão do Número Digital (ND), de cada *pixel* da imagem em radiância espectral monocromática. Ponzoni et al. (2007), dizem que a radiância é a intensidade de fluxo radiante refletido médio, originado de todas as infinitas intensidades proveniente de cada um dos infinitos pontos existentes na superfície. A radiância L_λ é calculada conforme Equação 1 para o *Landsat 5*, e Equação 2 para o *Landsat 8*:

$$L_\lambda = ((LMAX_\lambda - LMIN_\lambda) / (Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN})) * (Q_{CAL} - Q_{CALMIN}) + LMIN_\lambda \quad (1)$$

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{CAL} + A_L \quad (2)$$

Onde,

Quadro 3 – Elementos e valores constituintes da fórmula de cálculo da radiância

L_{λ}	Radiância espectral do sensor de abertura em Watts ($W m^2 sr^{-1}$)
$LMAX_{\lambda}$	Radiância espectral, que é dimensionada para Q_{CALMAX} em Watts ($W m^2 sr^{-1}$) = 15.303
$LMIN_{\lambda}$	Radiância espectral, que é dimensionada para Q_{CALMIN} em Watts = 1.2378
Q_{CALMAX}	Valor de pixel máximo quantificado calibrado (correspondente a $LMAX_{\lambda}$), em DN= 255
Q_{CALMIN}	Valor de pixel mínimo quantificado calibrado (correspondente a $LMIN_{\lambda}$), em DN= 1
Q_{CAL}	Valor do pixel calibrado quantificado em DN= banda 6 (<i>Landsat 5</i>) e banda 10 (<i>Landsat 8</i>)
M_L	Fator multiplicativo de redimensionamento específico da banda 10= 3.3420E-04
A_L	Fator aditivo de redimensionamento específico da banda 10= 0.10000

Fonte: Chander et al. (2009); Coelho e Correa (2013); Correa et al. (2015); USGS (2015).

- (2) **Cálculo da temperatura de brilho do satélite em Kelvin:** este procedimento permite extrair a temperatura de superfície estimada no momento da passagem do satélite. A Equação 3 usada nesta etapa é apresentada adiante:

$$T_b = K_2 / \ln(K_1 / L_{\lambda} + 1) \quad (3)$$

Onde,

Quadro 4 – Constantes de calibração da banda termal dos satélites *Landsat 5* (banda 6) e *Landsat 8* (banda 10)

T_b	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)
K_2	Constantes de calibração 2 em Kelvin: 1260.56 (<i>Landsat 5</i>) 1321.08 (<i>Landsat 8</i>)
\ln	Logaritmo natural
K_1	Constantes de calibração 1 em Watts ($W m^2 sr^{-1}$): 607.76 (<i>Landsat 5</i>) 774.89 (<i>Landsat 8</i>)
L_{λ}	Radiância espectral em Watts ($W m^2 sr^{-1}$)

Fonte: Chander et al. (2009); Coelho e Correa (2013); Correa et al. (2015); USGS (2015)

(3) **Conversão da temperatura em Kelvin para Celsius:** Após o procedimento de cálculo da temperatura em Kelvin, esta precisa ser convertida para Celsius, conforme Equação 5 a seguir:

$$T_C = T_K - 273,15 \quad (4)$$

Onde T_C é a temperatura em Celsius e T_K é a temperatura em Kelvin.

A correção da temperatura de brilho do satélite é feita mediante a inserção da emissividade da superfície, que considera as propriedades radiantes dos materiais que compõem a superfície urbana, que é descrito na etapa 4 adiante. A Tabela 4, a seguir, apresenta o albedo e a emissividade de alguns materiais.

Tabela 4 – Propriedades radiantes de alguns materiais

Superfície	Albedo	Emissividade ϵ
Solos	0,05-0,40	0,9-0,94
Gramma	0,16-0,26	0,90-0,95
Floresta	0,13-0,23	0,97-0,99
Água	0,08-0,10	0,85-0,98
Concreto	0,10-0,35	0,90-0,96
Asfalto	0,05-0,20	0,95
Tijolo	0,20-0,40	0,90-0,92
Rocha	0,20-0,35	0,85-0,95
Cascalho	0,08-0,18	0,92
Cerâmica	0,10-0,35	0,90

Fonte: Jensen (2009); Alves e Vecchia (2012)

(4) **Cálculo da temperatura de superfície:** corresponde a etapa final para a extração do campo térmico da cidade, mediante a correção da temperatura de brilho estimada no momento da passagem do satélite, adicionando-se a emissividade da superfície. O procedimento é descrito na Equação 5.

$$T_s = T_b / 1 + (\lambda_{6,10} T_b / \rho) \ln \epsilon \quad (05)$$

Onde:

Quadro 5 – Símbolos e valores constituintes da fórmula de cálculo da temperatura de superfície

T_s	Temperatura de superfície
T_b	Temperatura de brilho do sensor termal
$\lambda_{6,10}$	Comprimento de onda médio da radiação da banda termal (11,45 μ m, para

Continua

	a banda 6 do <i>Landsat 5</i> e 10,89 μm , para a banda 10 do <i>Landsat 8</i>)
ρ	$\rho = hc/\sigma$ ($1,34 \times 10^{-2}$ mk), $\sigma =$ Constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/k), $h=$ Constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s), e $c=$ velocidade da luz ($2,998 \times 10^8$ m/s).
Ln	Logaritmo natural
ε	Emissividade, aqui considerado o valor 0,92 como a média da emissividade dos materiais da Tabela 4.

Fonte: Weng et al. (2004).

Após todos esses procedimentos foram feitas a comparação e a distribuição, a cada período de 15 anos, a partir de 1985, da cobertura do solo e sua relação com a temperatura de superfície da cidade, captadas pelos sensores a bordo do satélite. Nesse intervalo de 30 anos, as transformações que a cidade de Teresina tem passado trazem impacto sobre as características dos alvos urbanos, que são registradas pelos sensores a bordo do satélite utilizado na pesquisa. Assim, foi possível identificar a variação no período, tanto espacial como temporal, da temperatura de superfície. Esses elementos estão relacionados ao uso e a ocupação do solo urbano, efetivados pelo processo de urbanização, especialmente quando não se considera uma política de planejamento (MOURA e THIERS, 2010; MOREIRA e NÓBREGA, 2011; CARDOSO e AMORIM, 2014).

Além desses procedimentos descritos, os dados de temperatura da superfície obtidos a partir da análise das imagens de satélite foram comparados com aqueles disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), principalmente, dados de temperatura do ar, afim de observar as relações. Estes dados estão disponíveis gratuitamente no sítio www.inmet.gov.br. Ressalta-se que os dados relativos ao ano de 1985, por não estarem disponíveis no sítio acima mencionado, foram conseguidos junto a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Meio Norte).

Com esse conjunto de dados foram produzidos gráficos com as ferramentas disponíveis no *software Microsoft Excel 2013* abordando os elementos climáticos mais significativos para a compreensão da dinâmica climática da cidade nos mesmos períodos das análises das imagens de satélites, com a intenção de comparação. Esta comparação permitiu extrair importantes informações no que diz respeito à alteração da variável temperatura do ar, como resultado também da alteração da temperatura de superfície ao longo do período em questão.

A pesquisa também contemplou visitas de campo em locais considerados importantes para busca de informações. Assim, foram feitas visitas à Secretaria Municipal de Planejamento (SEMPPLAN), ao IBGE, ao Arquivo Público e à EMBRAPA Meio Norte. A pesquisa de campo também contemplou visitas, dentro do espaço urbano, de pontos considerados críticos devido aos altos valores apresentados nas classes de temperatura, bem como aqueles onde a temperatura se mostrou mais amena. Nesses locais foi feito o registro fotográfico e colhidas informações pertinentes ao uso e ocupação do solo urbano, e também tomadas imagens vistas de cima disponibilizadas pelo programa *Google Earth Pro*. As fotografias foram tiradas no período de outubro a dezembro de 2015, exatamente contemplando o período no qual as características da paisagem urbana retratam mais fielmente as altas temperaturas reinantes na cidade.

Após a obtenção de todos esses dados a discussão foi feita à luz da relação entre as características presentes no mapa de cobertura do solo e o mapa termal, relacionando-os à dinâmica urbana no período considerado.

Para auxiliar a compreensão, a Figura 7 a seguir sintetiza todos os procedimentos desenvolvidos relativos ao processamento das imagens de satélite, bem como os produtos obtidos.

Figura 7 – Organograma que sintetiza todos os procedimentos realizados com as imagens de satélite



Fonte: Elaboração do autor (2016).

Na seção a seguir, apresentam-se, com o intuito de fundamentar as discussões pertinentes à caracterização do espaço urbano em Teresina, as informações relativas ao sítio urbano teresinense, em diferentes aspectos, e como tais características podem estar relacionadas à dinâmica do clima.

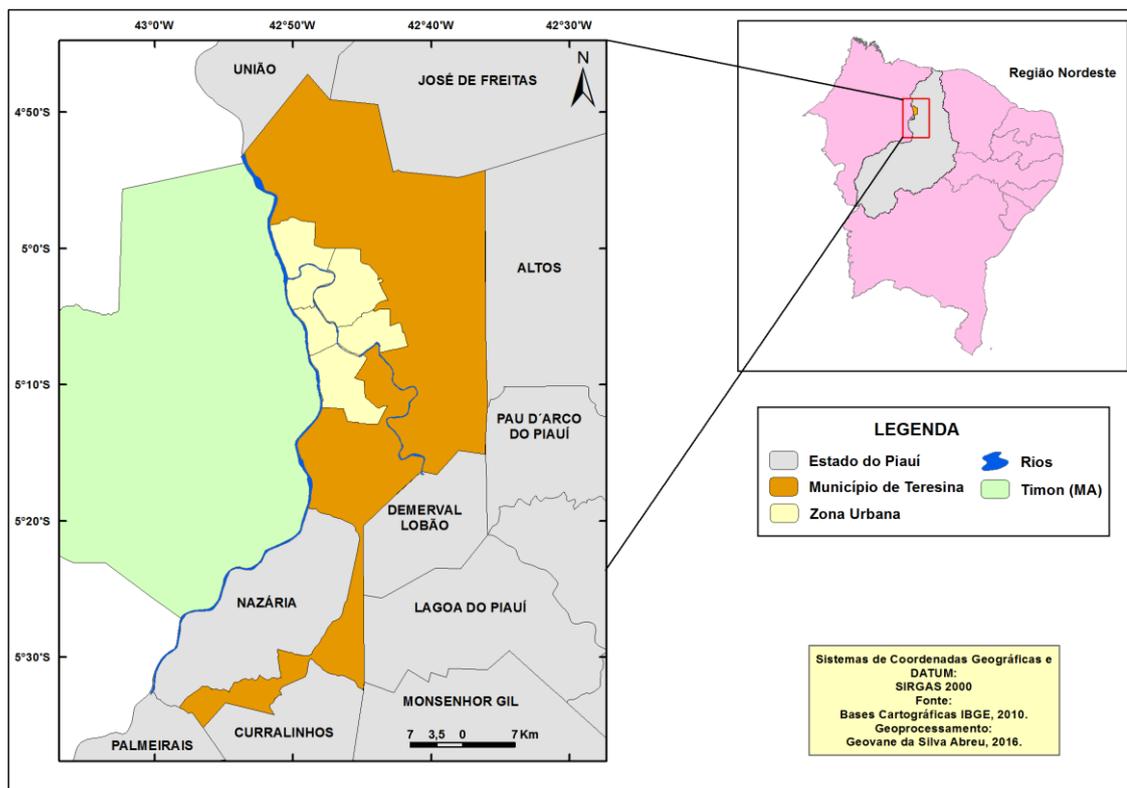
4 O URBANO E O CLIMA DE TERESINA

4.1 A dinâmica espacial e a urbanização em Teresina

É importante ressaltar que o objeto de estudo desta pesquisa é a variável temperatura de superfície na cidade de Teresina. Para subsidiar o entendimento do comportamento dessa variável, apresenta-se a seguir algumas características relativas ao processo de urbanização na cidade.

O município de Teresina está localizado (Figura 8) na porção centro-norte do estado do Piauí, que por sua vez localiza-se na direção setentrional da região Nordeste. Com área total de 1.392 km², dos quais 17% corresponde a zona urbana, configurando este município piauiense como o que possui maior área territorial rural (PMT, 2015). O Marco Zero¹⁵ da capital piauiense está assentado nas seguintes coordenadas: 5°5'26" de latitude Sul e 42°49'02" de longitude Oeste.

Figura 8 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: elaboração do autor (2016).

¹⁵ O Marco Zero citado aqui é um monumento construído na Praça Marechal Deodoro, mais conhecida como Praça da Bandeira. No entanto, com relação a fundação inicial da cidade, considera-se o Marco Zero na Igreja Nossa Senhora do Amparo, localizada na praça Rio Branco.

Em relação às características de localização dentro do estado do Piauí, o município encontra-se na mesorregião Centro-Norte e na microrregião de Teresina, possuindo os seguintes limites (PMT, 2015):

- ✓ Ao Norte: União e José de Freitas;
- ✓ Ao Sul: Palmeirais, Monsenhor Gil, Nazária, Demerval Lobão e Currealinhos;
- ✓ A Leste: Altos, Lagoa do Piauí e Pau D'Arco do Piauí;
- ✓ A Oeste: Timon no estado do Maranhão.

Um ponto importante a se destacar, relacionado a essa predominância de área rural no município, seria a possibilidade de preservação das condições ambientais, principalmente quando se refere à cobertura de vegetação e aos recursos hídricos. Entretanto, a realidade que se apresenta é bem distante daquela que seria pelo menos aceitável, pois conforme Andrade (2012) o que se observa na dinâmica urbana da cidade é o seu avanço em direção às fronteiras com o rural, o que faz parte do processo de expansão urbana das cidades de modo geral, só que no caso específico da realidade teresinense, este processo vem ocorrendo a custo da supressão da vegetação, restando poucas áreas remanescentes de vegetação original. Considerando a realidade climática predominante neste espaço, tal processo só tende a piorar as condições de altas temperaturas reinantes praticamente o ano inteiro em Teresina.

Das capitais dos estados do Nordeste brasileiro, Teresina é a única que não se encontra na faixa litorânea, encontrando-se a uma distância média de 350 Km do litoral piauiense. Esta característica, aliada ao fato de que a capital piauiense encontra-se localizada em um

grande entroncamento rodoviário, com saídas para Belém, São Luís, Fortaleza, Recife, Salvador e Brasília, Teresina ocupa posição estratégica para seu desenvolvimento, que contribui para exercer certa influência econômica regional – particularmente nos setores de serviços e comércio –, abrangendo grande parte dos estados do Maranhão, Pará, Tocantins e o oeste do Ceará e de Pernambuco (FORTES, 2010, p. 19).

A cidade de Teresina teve seu processo de fundação ligado à necessidade de abrigar a sede administrativa da província do Piauí. Naquele momento, primeira metade do século XIX, a então cidade de Oeiras, que ocupava esta função, estava em processo de decadência, justificando-se com esse argumento, além das

possibilidades de desenvolvimento, advindas com tal processo, as razões da transferência da sede da província para Teresina (FAÇANHA, 1998).

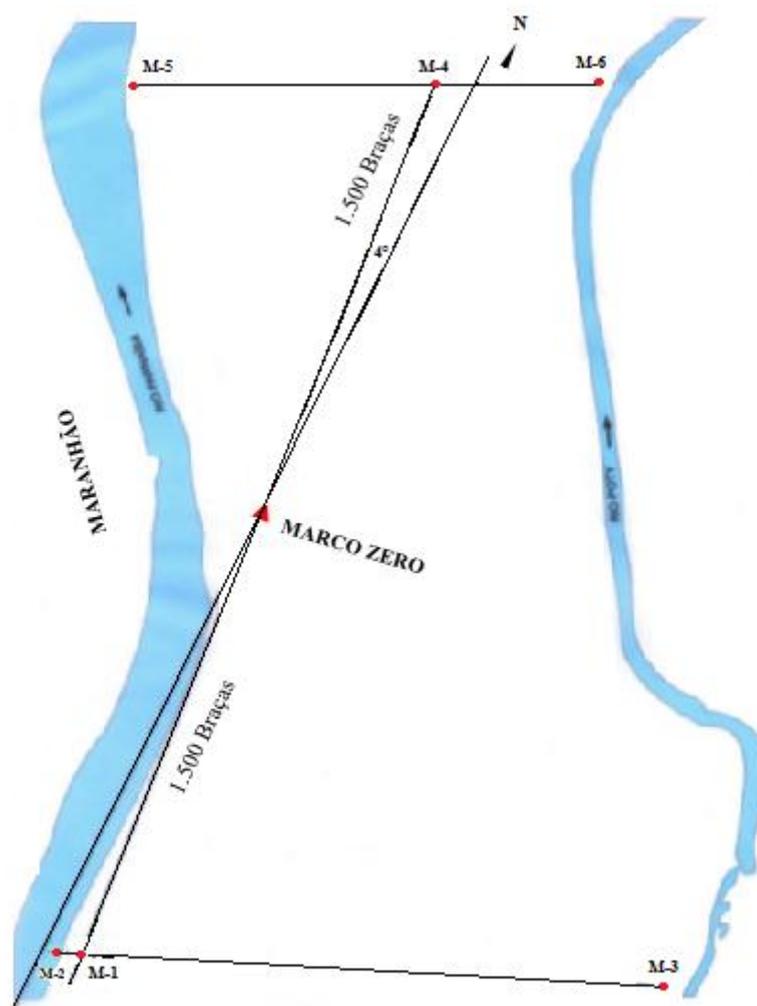
Façanha (1998) ressalta ainda que à época da instalação da nova sede da província do Piauí, mediada pelo então Conselheiro Saraiva¹⁶, a área escolhida foi a Vila do Poti, sediada na confluência dos rios Parnaíba e Poti e hoje correspondente ao bairro Poti Velho na região Norte da cidade. Esta área fornecia as condições de uso da navegabilidade do rio Parnaíba. No entanto, pelas características de proximidade dos dois rios, a Vila do Poti estava constantemente sujeita a inundações, fato que culminou com a transferência da sede para uma nova área, denominada Vila Nova do Poti (FAÇANHA, 1998).

Nesse contexto, o traçado inicial da cidade Teresina, ocorrido na segunda metade do século XIX, apresenta um modelo de plano em xadrez, concebida dentro dos preceitos de imagem moderna que se desejava alcançar. Em seu plano inicial, a cidade teve seu núcleo urbano escolhido e planejado para ser cidade-capital, sendo a primeira nesse quesito dentre todas as cidades brasileiras (LEITE, 2013).

Tomando-se por base o mapa disponibilizado no trabalho de Lima (2016), que apresenta os vértices que delimitavam o perímetro urbano de Teresina em 1852, o espaço delimitado da cidade compreendia uma extensão de 1500 braças para o Norte e para o Sul, tendo o seu marco de partida a Igreja do Amparo. No sentido oeste-leste, a área compreendia o espaço entre os rios Parnaíba e Poti, seguindo um traçado geométrico, com suas ruas paralelas.

¹⁶ José Antônio Saraiva (o Conselheiro Saraiva) foi um político e estadista brasileiro, nascido em 1823 em Bom Jardim, município de Santo Amaro (BA). Foi conselheiro do império e nomeado a presidente da província do Piauí (1850), onde ficou conhecido por transferir a capital da província de Oeiras para Teresina em 1852. Faleceu em Salvador em 1895 aos 72 anos. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias>. Acesso em 01/2016.

Figura 9 – Localização dos marcos de delimitação do patrimônio territorial de Teresina-1850



Fonte: Lima (2016).

Nesse contexto, é oportuno fazer aqui a seguinte ressalva: no geral, os textos que mencionam a versão oficial sobre a área inicial da cidade de Teresina em 1852, informam um valor em torno de 40 km^2 (Figura 9). No entanto, considerando as distâncias e o polígono formado pelos vértices anteriormente mencionados, essa área estaria mais próxima de 20 km^2 . Esse valor foi obtido a partir da reprodução dos vértices no *software Google Earth Pro*. A partir dos vértices, definiu-se um polígono e foi calculado sua área, chegando-se a um valor bem distante dos 40 km^2 , valor esse que seria aproximadamente a metade.

Durante os primeiros cinquenta anos de sua fundação, a cidade de Teresina pouco se alterara, tanto em termos espaciais como populacionais, pois “sem uma base econômica que impulsionasse o desenvolvimento do Estado, e, por

consequente, de Teresina, a cidade foi aumentando seu contingente populacional de forma lenta” (LIMA, 2011a, p.75).

Essa conjuntura de Teresina vai perdurar até o final dos anos 1930, levando-se em conta que as atividades desenvolvidas na nova sede não foram capazes de atrair grande contingente populacional que viesse expressar maior ocupação do espaço urbano (LIMA, 2011a).

Já nas décadas de 1940 e 1950, algumas transformações espaciais são observadas em Teresina, com o surgimento de novas áreas de crescimento, a exemplo dos bairros Mafuá, Vila Operária e Matadouro, na região Norte (FAÇANHA, 1998). Assim, com o surgimento desses novos bairros produz-se novas dinâmicas e, conseqüentemente, novas configurações no espaço geográfico da cidade. Pádua (2006) destaca que embora projetada inicialmente como tabuleiro de xadrez, na segunda metade do século XX, a cidade se expandiu de forma contínua e desordenada, revelando uma característica em comum com as outras capitais brasileiras.

Nas décadas de 1950 e 1960, tem-se o processo de expansão da cidade em direção às regiões Sul e Leste. Na direção leste a expansão foi propiciada pela construção da ponte sobre o rio Poti, até então um obstáculo natural a esse processo. A partir desse período tem-se o surgimento de bairros como Fátima, Jóquei e São Cristóvão, já delineando naquela época, uma zona segregada da população de alto poder aquisitivo (FAÇANHA, 1998; MELO, 2009). Atualmente, esses bairros, juntamente com o Horto Florestal, Planalto Ininga, entre outros, formam a “área nobre” da cidade.

Para a zona sul, a expansão também foi motivada pela implementação de serviços de infraestrutura, propiciada pelas condições topográficas da região, sem muitos obstáculos naturais (LIMA, 2011a), como a abertura das avenidas Barão de Gurguéia e Miguel Rosa. Acrescenta-se à esta dinâmica, a instalação do Distrito Industrial e a construção do conjunto habitacional Parque Piauí nos últimos anos da década de 1960 (FAÇANHA, 1998).

Com essas intervenções, a cidade ganha novos contornos em direção ao sul e ao leste, na medida em que cria novas demandas, e com as novas frentes de ocupação vai se delineando o espaço urbano nestas direções. É oportuno ressaltar que um dos primeiros planos que trataria do planejamento na cidade é exatamente

dessa mesma época, o Plano de Desenvolvimento Local Integrado de Teresina (PDLI) de 1969.

Este documento traria as diretrizes que deveriam ser seguidas para fins de promover um crescimento urbano planejado em Teresina, considerando suas especificidades. No entanto, na realidade, as práticas que se materializaram no espaço urbano teresinense após esse período estiveram bem distantes dos parâmetros indicados no documento. Dessa forma, o PDLI ficou bem distante da viabilidade, não obstante ser bem documentado, diga-se de passagem, sua efetividade e/ou aplicação ficou muito aquém, salvo algumas intervenções de melhoria do sistema viário. Araújo (2009) relata que as intervenções propostas no plano eram muito audaciosas, além de exigirem um grande volume de investimentos e uma articulação eficiente entre os órgãos envolvidos. Talvez por isso, a proposta de cidade bem estruturada, racional e funcional, tenha ficado somente no papel.

As décadas de 1970 e 1980 caracterizaram-se, em termos de expansão urbana, pela construção de vários conjuntos habitacionais¹⁷ numa tentativa de resolver o problema do déficit habitacional. Datam deste período a construção de grandes conjuntos habitacionais como o Bela Vista I, Saci, Dirceu Arcoverde I e II, Promorar, Mocambinho, Renascença, etc. (MELO, 2009; LIMA, 2011a). É importante anotar que à época da construção, esses conjuntos eram considerados como áreas de segregação residencial uma vez que encontravam-se “totalmente desconectados da área urbana” (MELO, 2009, p. 25), pois eram habitações destinadas às populações de baixa renda. Além disso, segundo Lima (2011a) esses conjuntos eram desprovidos de infraestrutura mínima, pelo menos inicialmente, e localizados nas regiões periféricas da cidade.

Na década de 1990, a construção dos conjuntos habitacionais é retomada, após a extinção do BNH, tendo agora a participação de outros órgãos como agentes fomentadores dos recursos, a exemplo da Companhia de Habitação do Piauí (COHAB-PI) e do Instituto de Assistência e Previdência Privada do Estado do Piauí (IAPEP). É desse período a construção do Bela Vista III, Verde te Quero Verde, Vamos ver o Sol, Nova Teresina, Deus Quer, Saturno, entre outros (MELO, 2009;

¹⁷ A construção da maioria dos conjuntos habitacionais nesse período foi promovida tendo como fonte de recursos o Banco Nacional de Habitação (BNH), criado em 1964 e extinto em 1986.

LIMA, 2011a; RODRIGUES, 2013), todos localizados nas regiões periféricas do espaço urbano da época, nas distintas regiões da cidade.

Tratando-se das atividades econômicas desenvolvidas nesta cidade, destaca-se para Teresina os setores do extrativismo mineral, a indústria de transformação e construção civil, comércio e serviços da administração pública, além de outros serviços ligados a educação, saúde, etc., tendo a base econômica assentada sobre o setor terciário, que compreende as atividades de governo, comércio e de prestação de serviços (LIMA, 2011_a; VIANA, 2013).

Conforme Viana (2013), no setor secundário, os destaques para a capital piauiense são a indústria de transformação e a indústria da construção civil, destacando-se quanto aos estabelecimentos industriais, as microempresas. No que tange ao nível de escolaridade dos trabalhadores teresinenses, aqueles que possuem maior nível são os que atuam no setor de serviços. No setor da construção civil, encontram-se os trabalhadores com menor índice de qualificação, apresentando este setor o maior índice de informalidade (VIANA, 2013).

Em relação a dinâmica de sua população, de acordo com os dados do IBGE (2015) a população do município de Teresina é estimada em 844.254 habitantes. Comparando com os dados do último censo demográfico IBGE (2010), que aponta um total de 814.439 habitantes para este município piauiense, tem-se um acréscimo populacional de cerca de 3,2% em 4 anos. Desse total, cerca de 94,27% dos residentes vivem na área urbana (Tabela 5).

Tabela 5 – Evolução da população no município de Teresina (1980-2015)

Ano	População Total	População Urbana		População Rural	
		Absoluta	%	Absoluta	%
1980	377.774	339.042	89,75	38.732	10,25
1991	598.323	555.985	92,92	42.338	7,07
1996	654.276	613.767	93,80	40.509	6,19
2000	715.360	677.470	94,70	37.890	5,30
2010	814.230	767.557	94,27	46.673	5,73
2014*	840.600	-	-	-	-
2015*	844.245	-	-	-	-

Fonte: adaptado de Castelo Branco (2012); IBGE (2010, 2014, 2015); SEMPLAN (2014).

* Os dados de 2014 e 2015 referem-se à população estimada

A partir da análise dos dados da Tabela 5 é possível inferir que a população do município de Teresina apresentou forte crescimento entre 1980 e 1991, com crescimento relativo de cerca de 58%. Entre 1991 e 2000, o crescimento foi de cerca de 19%. De 2000 a 2010, o crescimento foi aproximadamente de 13%. Então, apesar de continuar crescendo, observa-se uma tendência relativa de diminuição do crescimento populacional do município considerando o intervalo de um censo para outro.

Considerando ainda os dados de população, só que agora relacionados à cidade de Teresina, tem-se os que se apresentam na Tabela 6.

Tabela 6– Evolução da população na cidade de Teresina (1991-2010)

Região/Ano	1991	2000	2010
Sul	181.771	209.300	237.059
Centro/Norte	196.115	213.304	228.906
Sudeste	89.048	118.442	134.105
Leste	85.694	132.340	167.443
Total	552.628	673.386	767.513

Fonte: IBGE (censos demográficos); SEMPLAN, 2014.

A análise dos dados da Tabela 6 permite concluir que a região Leste foi a que obteve maior incremento populacional relativo no período. O crescimento relativo de 1991 a 2010 foi cerca de 95,2%. Em segundo lugar aparece a região Sudeste, cujo incremento ficou em cerca de 50,5%. Em seguida, tem-se a região Sul, com 30,4%. E por último, aparece a região Centro-norte, com um incremento populacional de cerca de 16,7%.

Relacionando esses dados à dinâmica urbana é possível observar uma característica espacial da cidade de Teresina no período considerado, que é o seu crescimento horizontal em direção aos limites da zona rural do município, à medida que novos conjuntos residenciais são construídos, sendo estes, produtos das novas demandas por moradia na cidade. Considerando que o município dispõe ainda de 83% de área correspondente à zona rural, projeta-se que essa dinâmica tende a

continuar. Se mantido o atual modelo de expansão urbana, com essas transformações, projeta-se também a intensificação dos problemas urbanos.

4.2 Caracterização geocológica da área de estudo

4.2.1 Arcabouço geológico e geomorfológico

Estudos que abordam as características geológicas sobre as quais se assentam esta cidade ainda são incipientes, devido à pouca disponibilidade de dados direcionados especificamente sobre a área urbana. Por esse motivo, apresentamos aqui alguns dados de forma sintética, mas que nos dão uma boa contribuição sobre a geologia de Teresina.

Conforme Lima (2011b) município de Teresina encontra-se situado na porção centro-oriental da Bacia Sedimentar do Parnaíba, com presença de formações datadas do Paleozoico ao início do Mesozoico. Nesta área afloram duas formações geológicas:

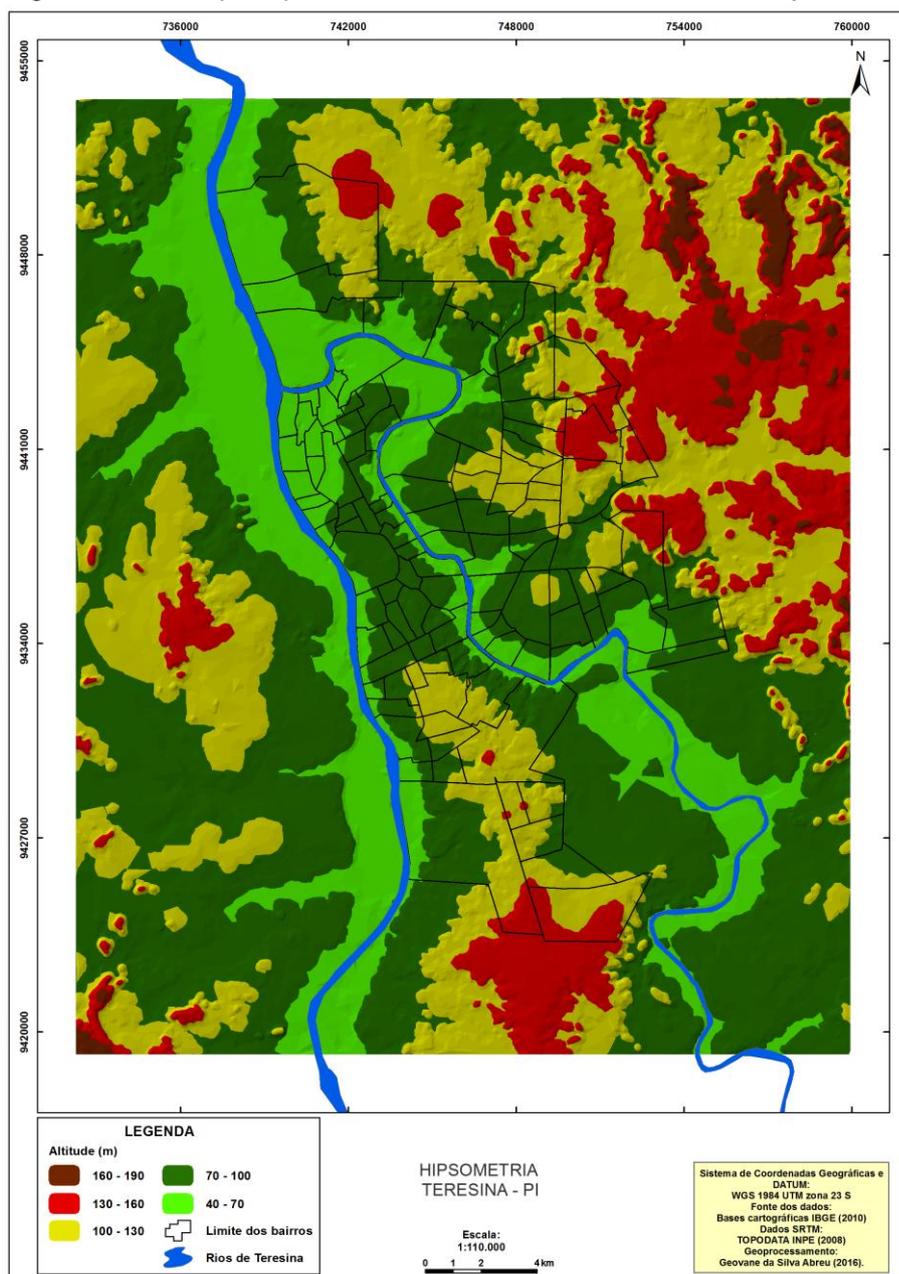
- **Formação Piauí** (datada do Carbonífero Superior): com ocorrências (na sua porção inferior) de arenitos finos a médios, pouco argilosos, róseo-avermelhado, sub-arredondado e (correspondendo a sua porção superior) uma sequência de folhelhos e argilitos de cor variegada e com intercalações de dolomito. Esta corresponde a formação topograficamente mais rebaixada e aflora ao Sul e ao Norte da cidade, próximo ao rio Parnaíba (PMT, 2006; LIMA, 2011b).
- **Formação Pedra de Fogo**: é a formação sobreposta à Piauí (datada do período Permiano), correspondendo a maior área de ocorrência tanto no limite urbano como no município como um todo, sendo a que apresenta as maiores altitudes. É composta predominantemente por bancos espessos de folhelho e siltito, com intercalações de chert sillexito e evaporitos de coloração variegada. Considerando a escala do município, na sua porção Sul, é comum a ocorrência de afloramentos de diques e soleiras de diabásio, sendo explorado como matéria prima para a construção civil. Na área urbana, a Formação Pedra de Fogo pode ser identificada nas áreas da periferia e nos

topos dos platôs do interflúvio Parnaíba/Poti, correspondendo áreas do sítio urbano, capeadas por asfalto ou calçamento (PMT, 2006; LIMA, 2011b; REIS FILHO, 2012).

No que diz respeito à geomorfologia, as condições de localização geográfica da cidade de Teresina dão conta da existência de baixas altitudes, considerando que a cidade desenvolveu-se na área correspondente à confluência dos rios Parnaíba e Poti, justificando tais características. As unidades de relevo definidas para este município e que compreendem a zona urbana são as seguintes, conforme Lima (2011b):

- **Planícies e terraços fluviais:** compreende as feições de acumulação por processos fluviais sobre a Formação Piauí. Acompanham os trechos dos rios Parnaíba e Poti, que banham a cidade, sobretudo nos trechos com meandros mais acentuados, onde essa faixa se alarga, devido a um maior processo de deposição. As altitudes variam entre 50 a 70 m;
- **Superfícies intensamente retrabalhadas pela drenagem com morros residuais:** variando entre as altitudes de 70 e 100 m, essa feição corresponde as formas modeladas sob intensos processos erosivos, incidindo sobre a Formação Pedra de Fogo, e que cobre a maior parte da superfície urbana de Teresina;
- **Morros com tendência ao arredondamento limitados por relevo escalonado:** relevo moldado em rochas da Formação Pedra de Fogo, compreendendo formas erosivas com topos definidos, mas com tendência ao arredondamento, sendo recortados por vales encaixados. As altitudes são superiores aos 100 m e a aparecem, dentro do limite urbano, em porções das zonas Leste, Norte e Sul. A Figura 10 mostra o Modelo Digital de Elevação, para a cidade de Teresina.

Figura 10 – Mapa hipsométrico da cidade de Teresina e adjacências



Fonte: elaboração do autor (2016)

Com base na Figura 10 percebe-se que as maiores altitudes na cidade de Teresina, como se afirmou anteriormente, abrange trechos da região Norte (Jacinta Andrade, Chapadinha, etc.), região Sul (Monte Castelo, Bela Vista, Santo Antônio, Esplanada, Polo Sul, etc.), região Leste (Satélite, Vale Quem Tem, Vale do Gavião, etc.) e região Sudeste (Todos os Santos, Gurupi, etc.). Ao longo dos cursos dos rios Parnaíba e Poti as altitudes variam entre 40 e 70 m. No geral, as baixas altitudes verificadas nesta cidade também são responsáveis pelas altas temperaturas observadas durante o ano.

Ainda com base nos aspectos da geologia e geomorfologia, Reis Filho (2012) afirma que no geral não há obstáculos relevantes que possam obstruir a expansão urbana em Teresina, com exceção dos espaços ribeirinhos, terraços fluviais e zonas de configuração aluvionar dos rios Parnaíba e Poti.

4.2.2 Caracterização hidrográfica

No que se refere à hidrografia, o município de Teresina encontra-se localizado em parte da área de pequenas bacias hidrográficas difusas do médio Parnaíba e Poti. O município é banhado pelo Rio Parnaíba (que corresponde ao nível de base regional) em toda sua extensão Norte-Sul, num percurso de 83,408 km formando o limite oeste com o Maranhão, sendo o trecho da área urbana de 26,311 km de extensão (LIMA, 2011b).

Nesse contexto, as áreas de assoreamento do rio Parnaíba (conhecidas como popularmente como “coroas”), presentes em grande parte do trecho urbano do rio, estão relacionadas à menor capacidade de transporte de sedimentos, uma vez que nesse trecho já há consequente perda de energia (PMT, 2006), por ser uma área de transição do médio para o baixo curso. As causas maiores do processo, no entanto, revelam a incúria de atividades realizadas à montante de Teresina, como por exemplo o desmatamento e as queimadas, que expõem as margens do rio a processos erosivos mais intensos.

O rio Poti, que possui sua nascente nos contrafortes da serra da Ibiapaba, no estado do Ceará, com altitude de cerca de 600 m, possui extensão de 55,48 km no município de Teresina, sendo 24,48 km na área urbana. Ao atravessar a cidade, o traçado do rio caracteriza-se pelo seu aspecto meandrante, até sua foz no rio Parnaíba, na região Norte (Figura 11), no bairro Poti Velho (PMT, 2006; LIMA, 2011b). Medeiros (2014) destaca ainda sobre o rio Poti que no seu trecho urbano na cidade de Teresina, o fato de formar muitos meandros, forma também muitas lagoas, até sua foz, onde forma uma vasta planície, juntamente com o rio Parnaíba.

Figura 11 – Encontro dos rios Parnaíba e Poti, no bairro Poti Velho (região Norte)



Fonte: arquivo do autor (2015)

Na área urbana de Teresina, desaguam ainda a ocorrência de vários rios/riachos afluentes tanto do Parnaíba como do Poti, que são canalizados em galerias pluviais, para onde convergem também os esgotos de muitas residências de áreas ainda não contempladas com esgotamento sanitário (LIMA, 2011b).

A materialização desses fatos na superfície da capital piauiense, é bastante visível no período chuvoso, onde devido às características de impermeabilização do solo urbano tem-se a ocorrência de inúmeros pontos de alagamentos e inundações nos distintos espaços da cidade, produzindo sérios prejuízos às populações de menor poder aquisitivo que geralmente ocupam áreas sujeitas a esse processo.

4.2.3 Tipos vegetacionais

A vegetação que recobre o município de Teresina apresenta-se como uma área transicional entre as distintas ocorrências vegetacionais que ocorrem no estado do Piauí. Assim, na área do município encontra-se uma zona de contato entre a floresta subcaducifólia, o cerrado e caatinga (PMT, 2006).

Na área urbana predomina a vegetação subcaducifólia, com mesclas de babaçu (*Orbignya Speciosa* (Mart.)). O babaçu pode ser observado nas áreas do

Jardim Botânico de Teresina¹⁸, no Parque da Cidade e no Zoobotânico, além de manchas presentes no entorno do Santa Maria da Codipi e Jacinta Andrade. Segundo Moraes (2004), além das localizações descritas, o babaçual em Teresina ocupa algumas vertentes e, eventualmente, topo de morros.

Figura 12 – Vegetação preservada no Jardim Botânico de Teresina



Fonte: arquivo do autor (2015).

Figura 13 – Remanescentes de babaçu na área do bairro Jacinta Andrade, região Norte



Fonte: arquivo do autor (2015).

No espaço urbano do município está presente ainda a vegetação de mata de galeria, que margeia os rios da cidade, caracterizando-se por uma variedade de espécies como o angico branco (*Albizia niopoides*) (Benth.), angico preto (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.), caneleiro (*Cenostigma macrophyllum*), embaúba (*Cecropia hololeuca*), ipê (*Tabebuia*), etc. (MORAES, 2004; PMT, 2006).

Espalhadas nas distintas regiões da cidade tem-se também a vegetação urbana que compõe fisionomia das praças e que representam ilhas de amenidades encravadas na monotonia da massa de edificações. Conforme Moura (2010) no centro de Teresina existem 66 espécies de árvores, distribuídas em 12 praças, tendo papel fundamental como regulador de temperatura no espaço urbano. Dentre as espécies identificadas por Moura (2010), para as praças do centro, destacam-se a algaroba (*Prosopis juliflora* DC), o oitizeiro (*Licania tomentosa* (Benth)), o ipê

¹⁸ O Jardim Botânico de Teresina corresponde ao antigo Parque Ambiental do Mocambinho, doado a Prefeitura de Teresina pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) em 2011.

(amarelo, rosa e roxo), o caneleiro, o jatobá (*Hymenaea courbaril* Y.T), a mangueira (*Mangifera indica* L), a embaúba, o angico branco, a aroeira (*Myracrodruon urundeuva* (Allemão)), a faveira (*Parkia pendula* (Benth)), entre outras.

Em algumas avenidas da cidade, encontra-se a vegetação que adorna seus canteiros centrais, representando o verde que também serve como contraste em meio a homogeneidade das cores sem graça que predominam ao longo das principais vias da malha viária urbana. Nesse quesito, destaca-se a vegetação que acompanha todo o comprimento da Avenida Frei Serafim (Figura 14), no centro da cidade.

Figura 14 – Vegetação urbana ao longo do canteiro central da Avenida Frei Serafim



Fonte: arquivo do autor (2015).

Na periferia da cidade, as áreas recentes de expansão urbana, representam uma das graves ameaças à supressão da vegetação nativa em Teresina. Grandes áreas que outrora apresentavam uma cobertura vegetal densa, hoje encontram-se substituídas por uma crescente massa de edificações. Assim, o verde vai dando lugar ao preto do asfalto e o cinza das construções diversas. Para uma cidade que naturalmente apresenta expressivos valores de temperaturas anuais, essa dinâmica,

da maneira que se materializa no espaço urbano em tela, coloca em cheque a qualidade do conforto ambiental. A Figura 15 apresenta um exemplo desse processo.

Figura 15 – Vegetação nativa na área de expansão urbana do bairro Chapadinha (região Norte)



Fonte: arquivo do autor (2015)

A Figura 15 mostra a vegetação remanescente que ainda resiste ao processo de expansão urbana na direção da região Norte. Na área que hoje é o substrato do bairro Jacinta Andrade, nesta mesma região, antes predominava uma vegetação de porte semelhante. Contraditoriamente, após a construção desse conjunto, mudas de árvores (na maioria das vezes exóticas) são plantadas ao longo das principais avenidas, revelando o caráter da ausência de planejamento na implantação do conjunto habitacional.

Na direção sul, a expansão urbana também provoca profundas transformações na cobertura vegetal, imprimindo uma nova fisionomia nos espaços que antes eram recobertos por vegetação e que agora se revestem por uma mistura de telhados, concretos e pavimentações diversas. A retirada da vegetação, por ser o elemento que primeiro é afetado, representa um fio do novelo representado pelas alterações no espaço resultantes do crescimento das cidades. Em linhas gerais, a vegetação é transformada, e sua função reduzida, isso quando não é efetivamente sucumbida. Em seguida o substrato é impermeabilizado artificialmente, e depois, o

impacto pluvial imprime danos na superfície vulnerável e também naqueles que sobre ela, constroem suas vidas e suas esperanças.

4.3 A dinâmica do clima em Teresina

Os tipos climáticos de determinada área são estabelecidos conforme a dinâmica atmosférica sobre essa área. Os climas se individualizam, pensando numa escala global, segundo a faixa da Terra em que estão localizados, no sentido das latitudes. Esse parâmetro vai definir a taxa de radiação anual, bem como os valores de insolação¹⁹, sintetizando-se nas grandes faixas climáticas do globo. Na escala regional ou mesmo local é importante ter em mente que

Uma vez que o clima sobre uma localidade é a síntese de todos os elementos meteorológicos e climáticos em uma combinação singular, a qual resulta da interação dos **controles** e dos **processos climáticos** a partir da sucessão habitual dos tipos de tempo, pode-se reconhecer uma variedade de tipos climáticos sobre a superfície terrestre (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 114, grifo nosso).

Nessa perspectiva, uma classificação climática pretende agrupar o máximo possível as características da atmosfera terrestre sobre os distintos lugares da Terra, numa tentativa de identificar as tendências de repetições de um dado parâmetro climático, e entendendo que a classificação trata da compartimentação do espaço, e que consiste em classificar para regionalizar e regionalizar para facilitar a representação do conhecimento (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Nesse contexto, tem-se a classificação climática de Arthur Strahler, elaborada em 1951, que utiliza como indicadores do clima, a gênese, as características e a dinâmica das massas do ar atmosférico sobre o espaço geográfico. Esta classificação tem grande aceitação pelo fato de contribuir para o estudo de previsões de chuvas, dando subsídios ao planejamento de ações preventivas e de convivência com os períodos das irregularidades pluviométricas (ARAÚJO et al., 2006).

¹⁹ Segundo Torres e Machado (2011, p. 29) a “insolação é a duração do período do dia com luz solar ou a duração do brilho solar, e a radiação solar é a energia recebida pela Terra na forma de ondas eletromagnéticas provenientes do Sol. A radiação solar é a fonte de energia de que o globo terrestre dispõe”.

Ao discorrer sobre esse tema, Monteiro (2015, p. 63) destaca a classificação climática de Strahler “pela sua adoção da noção de climatologia dinâmica, incluindo a utilização dos centros de ação atmosférica na tipologia dos climas regionais”. Completando esse raciocínio, Sant’Anna Neto (2013) escreve que a aceitação, até então da obra deste renomado geógrafo norte-americano, deve-se ao fato de ele ter incorporado em sua proposta um paradigma dinâmico, associando aspectos da circulação atmosférica aos elementos estáticos regionais. Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.126) acrescentam que a classificação de Strahler está baseada “nos *controles climáticos* (centros de ação, massas de ar e processos frontológicos) e nas características das precipitações sobre os lugares”. A classificação climática de Arthur Strahler será tomada como base para a caracterização do clima de Teresina.

Inserida na porção setentrional do Nordeste brasileiro, a cidade de Teresina tem seu clima controlado pelos mecanismos atmosféricos reinantes nessa região. Assim, segundo as informações de Medeiros (2014) destacam-se para a definição do clima de Teresina, os seguintes sistemas:

- **Variabilidade temporal e espacial da Zona de Convergência Intertropical²⁰** (ZCIT), quando da sua atividade mais ao sul do Equador. A ZCIT é o principal mecanismo causador das precipitações sobre a capital no período correspondente ao verão/outono;
- **Contribuição dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis** (VCANs) às formações das linhas de instabilidade e aglomerados convectivos, desde que seu centro esteja no oceano. Costa (2009) escreve que os VCANs são sistemas com núcleo de baixa pressão em escala sinótica, tendo sua formação inicial localizada na alta troposfera podendo se estender até os níveis mais inferiores e cuja circulação ciclônica fechada possui o centro mais frio que sua periferia. Esse sistema pode influenciar fortemente o regime pluviométrico (produzindo grandes

²⁰ A ZCIT é uma banda de nuvens que oscila anualmente em torno do Equador, variando entre as latitudes de 5°S em março a 10°N em setembro, na América do Sul (TORRES e MACHADO, 2011). Conforme Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.90) a ZCIT “forma-se na área das baixas latitudes, onde o encontro dos ventos alísios provenientes de sudeste com os de nordeste cria uma ascendência das massas de ar, que são normalmente úmidas. Essa zona limita a circulação atmosférica entre o hemisfério Norte e o hemisfério Sul, sendo também chamada de *Equador Meteorológico* (EM), *Descontinuidade Tropical* (DT), *Zona Intertropical de Convergência* (ZIC) e *Frente Intertropical* (FIT), entre outros”.

totais pluviométricos ou inibindo a formação de nuvens) de uma localidade, sendo que no Nordeste brasileiro (próximo à costa e Oceano Atlântico adjacente) costuma atuar nos meses de verão.

A combinação dos mecanismos anteriormente descritos com os efeitos locais aumenta a cobertura de nuvens e a umidade relativa, sendo o fenômeno La Niña o principal fator causador de chuvas acima da média histórica, evento que pode trazer consequências para a cidade (MEDEIROS, 2014).

4.3.1 A variação do campo térmico

Conforme Ayoade (2007, p. 50) “a temperatura é a condição que determina a condição que determina o fluxo de calor que passa de uma substância para outra. O calor desloca-se de um corpo com maior temperatura para outro com menor temperatura”. A temperatura do ar, nesse sentido, é o grau de calor medido por um termômetro.

Tomando-se como lastro a classificação de Strahler, em tela, a maior parte do estado do Piauí encontra-se na faixa do clima tropical alternadamente úmido e seco, caracterizado por apresentar uma estação chuvosa, concentrada no período do verão ou de outono (com índices pluviométricos variando entre de 800 mm a 1800 mm anuais), alternada com uma estação seca, no período de inverno e primavera. As temperaturas máximas anuais estão em torno de 30°C e a média das mínimas acima de 18°C (ARAÚJO et al., 2006).

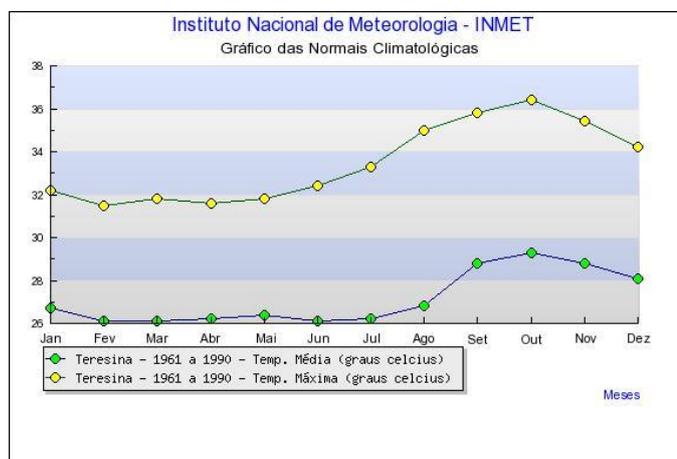
Na porção centro-norte do estado de abrangência do clima Tropical alternadamente úmido e seco encontra-se a cidade de Teresina. Mendonça e Danni-Oliveira (2007) usam a terminologia clima Tropical-Equatorial com seis meses secos, para se referir a Teresina. Esses autores, com base na temperatura média da cidade, identificam a formação de dois períodos térmicos durante o ano: um mais longo, que se estende de janeiro a agosto, cujas temperaturas situam-se em 24°C (no mês de junho) e 26,7°C (no mês de janeiro); e outro mais curto e mais quente, que se estende de setembro a dezembro, com temperaturas de 28°C (dezembro) e 29°C (outubro).

De acordo com Medeiros (2014), as temperaturas médias mensais oscilam entre 26,9°C a 30,1°C e com valor anual de 28,1°C, tendo elevada amplitude

térmica, situando entre 6,0°C e 19,5°C. No ano, as médias mensais de temperatura máxima giram em torno de 33,8°C, com oscilações mensais de 31,8°C a 37,1°C. A temperatura mínima anual fica em torno 22,4°C, e suas variações mensais oscilam entre 20,7°C a 23,8°C.

Para o mês de março, nesta cidade, tem-se as médias das temperaturas máximas situadas entre 28°C e 34°C, enquanto as médias das mínimas estão sempre abaixo de 24°C, oscilando quase sempre entre 21°C e 24°C. No período de julho a dezembro, verifica-se que todas as temperaturas se elevam, em relação aos meses observados no primeiro semestre (Gráfico 3). As mínimas alcançam os 25°C, as médias ultrapassam os 30°C, valores bem acima das médias anuais. Já as máximas atingem as cotas de 40°C. Durante esta época do ano, encontram-se registros de temperaturas máximas absolutas acima dos 40°C, com o aumento do desconforto térmico humano, favorecido pelas condições atmosféricas (ANDRADE, 2009).

Gráfico 3 – Variação anual da temperatura média e máxima em Teresina (1961-1990)



Fonte: disponível em <http://www.inmet.gov.br/> Acesso em abril de 2016.

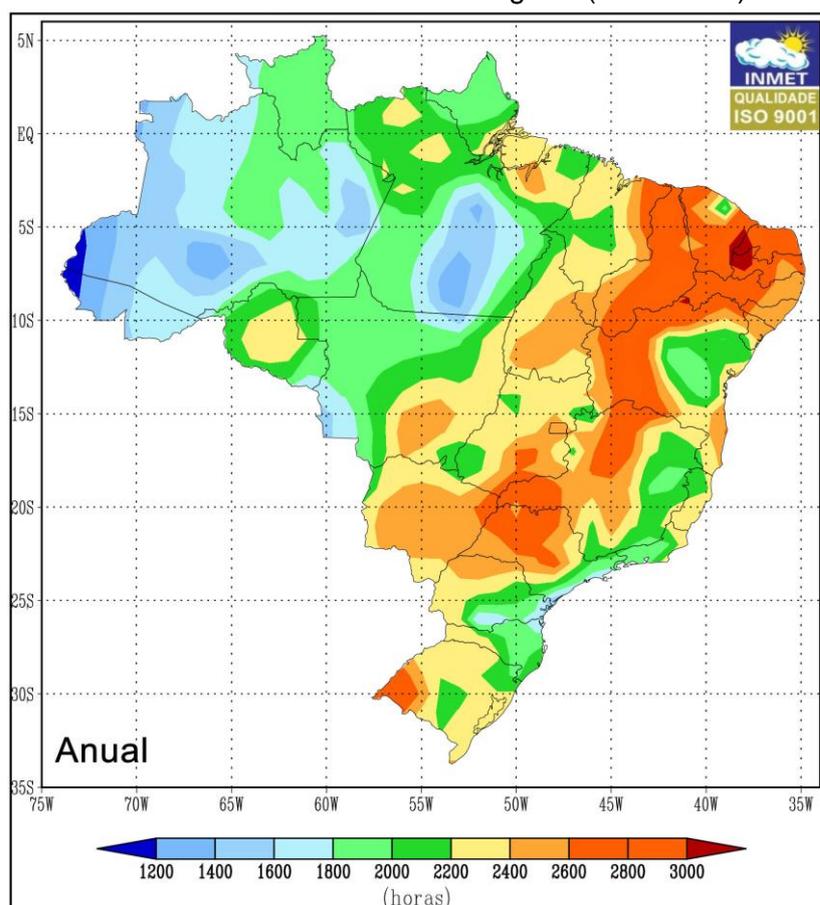
Analisando o Gráfico 3, das normais climatológicas de Teresina (1961-1990), é possível verificar que as temperaturas se elevam bastante no segundo semestre, principalmente nos meses que correspondem ao período conhecido como BR-Ó-BRÓ²¹. Ainda sobre o Gráfico 3, observa-se que a cidade de Teresina possui singularidades no que diz respeito à variação sazonal da temperatura. No primeiro

²¹ BR-Ó-BRÓ é como a população de Teresina denomina os meses, a partir de setembro, terminados em BRO, até dezembro. Correspondem aos meses mais quentes do ano, nos quais, principalmente em outubro, as temperaturas podem chegar facilmente aos 40°C.

semestre, as temperaturas mantêm-se mais ou menos constantes, motivadas pela circulação atmosférica que predomina na região Nordeste, principalmente sob a influência do sistema ZCIT e a Massa Equatorial Continental (MEC), responsáveis pela maior nebulosidade registrada nesse período (ANDRADE, 2009). Com efeito, as temperaturas apresentam seus valores mais baixos no primeiro semestre.

A partir de julho, há uma tendência das temperaturas se elevarem, até atingir os valores mais altos, observados no mês de outubro. Nesse período a alta insolação registrada, associada à baixa nebulosidade e umidade, contribuem para a predominância dessas características. A faixa latitudinal onde se localiza a cidade de Teresina, proporciona, então, altos valores de insolação anual, como observado na Figura 16.

Figura 16 – Mapa que mostra a insolação total no Brasil, conforme as normas climatológicas (1960-1991)



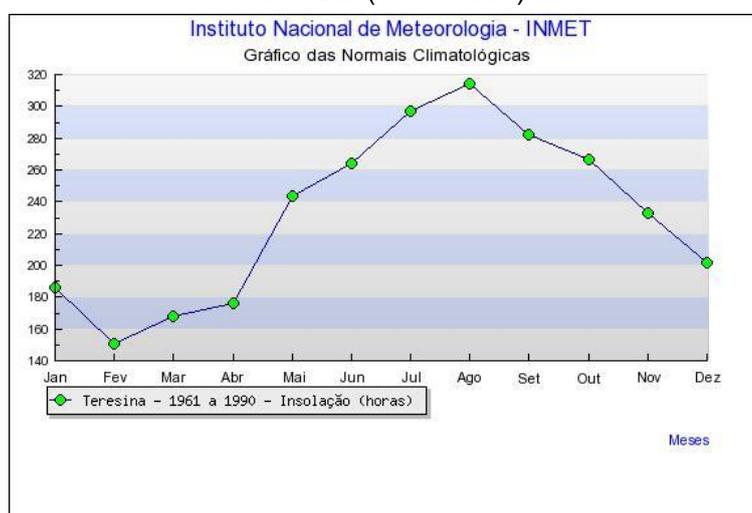
Fonte: disponível em <http://www.inmet.gov.br/> Acesso em agosto/2016.

Conforme a Figura 16, observa-se que os destaques da quantidade de insolação anual são para a região Nordeste e para região Norte. Na região Norte,

embora possua grande parte de sua área situada na faixa equatorial, a presença uma extensa rede hidrográfica e de uma densa cobertura vegetal, lhe proporciona grande nebulosidade ao longo do ano, o que significa menores valores de insolação. A região Nordeste, no entanto, no geral, apresenta maior parte de sua área dentro da faixa correspondente às 2800 horas anuais de insolação, configurando-se como a que possui os valores mais elevados.

Especificamente para Teresina, apresenta-se o Gráfico 4, que evidencia as informações constantes na Figura 16, e acrescenta a variação ao longo do ano.

Gráfico 4 – Variação anual da insolação em Teresina (1960-1991)



Fonte: disponível em <http://www.inmet.gov.br/> Acesso em outubro/2016

As informações constantes no Gráfico 4 demonstram que a quadra formada pelos meses julho-agosto-setembro-outubro representa a época do ano com maiores valores de insolação. Esse fato verificado em Teresina está associado à baixa latitude em combinação com a baixa umidade e nebulosidade verificada nesse período. Porém, a partir de dezembro, mesmo ainda com altas temperaturas, estas começam a declinar, à medida que aumenta a nebulosidade, indicando a aproximação do período chuvoso.

Para a realidade teresinense, no entanto, é preciso considerar ainda, além das informações anteriormente descritas, os seguintes fatores climáticos naturais:

- 1) As *baixas altitudes* reinantes, que condicionam maior pressão atmosférica sobre a cidade e, conseqüentemente, maior armazenamento de calor;
- 2) A distância em relação ao oceano, que potencializa o efeito da *continentalidade*²²;
- 3) Considerando o segundo semestre, tem-se o recuo dos sistemas que provocam nebulosidade sobre a cidade, propiciando dias com presença de pouca ou nenhuma nuvem. É importante reiterar que numa abordagem dinâmica do clima, o que sobressair é a conjugação dos diversos fatores acima mencionados, juntamente com os fatores climáticos resultantes da atividade humana na organização espacial da cidade.

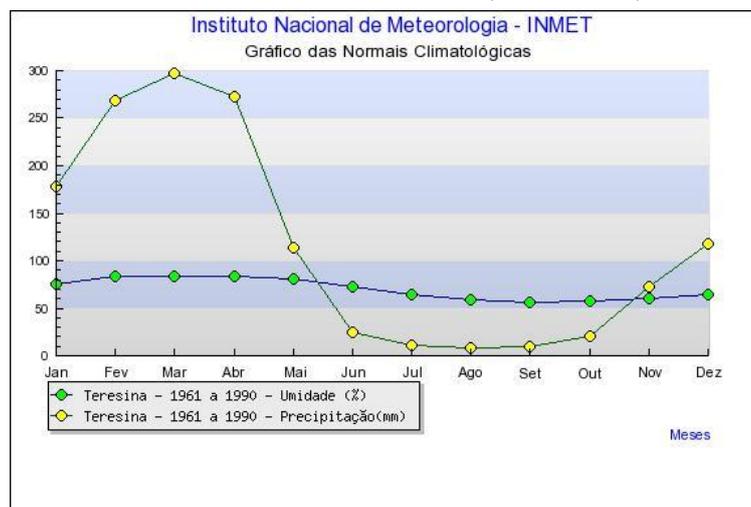
Para os fatores climáticos produzidos pelo homem e que se materializam em Teresina, tem-se a densidade de áreas edificadas, o traçado e a impermeabilidade do solo urbano e as atividades humanas, que vão impactar sobre as condições atmosféricas na cidade (ANDRADE, 2009).

4.3.2 A variação do campo higrométrico e o regime de chuvas

A umidade do ar diz respeito a quantidade de vapor de água em suspensão na atmosfera, e os dados relativos à Teresina dão conta de uma grande variabilidade anual para a cidade, ocorrendo maior umidade nos quatro primeiros meses do ano. De acordo com Andrade (2009) as maiores médias pluviométricas e dos percentuais de umidade do ar acontecem entre os meses de fevereiro e abril, sendo que no segundo semestre do ano, principalmente, nos meses de setembro a novembro, observa-se grande diminuição dos índices de umidade. Nesse período, quando o ar atinge o seu momento mais seco, a ocorrência de chuvas, é praticamente reduzida a zero (Gráfico 5).

²² Conforme Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.49) “a continentalidade de um lugar é dada pelo distanciamento dos oceanos e mares, que deixam de exercer de forma direta os efeitos amenizadores sobre as temperaturas.”

Gráfico 5 - Variação anual da precipitação e umidade relativa em Teresina (1961-1990)



Fonte: disponível em <http://www.inmet.gov.br/> Acesso em abril/2015

O período chuvoso na cidade de Teresina, caracterizado pela precipitação de mais de 80% do total anual nos cinco primeiros meses, reflete a atuação dos sistemas atmosféricos produtores de instabilidades sobre a capital piauiense, com destaque para a ZCIT e os VCANs. Andrade (2009) chama atenção também para a atuação da massa de ar Equatorial continental (Ec), que é quente e úmida, durante o verão austral, influenciando a quantidade de chuvas que cai sobre a cidade, tendo atuação reduzida no inverno.

Neste texto, já foi discutido que o clima específico da cidade reflete a atuação conjunta dos fatores climáticos naturais e antrópicos sobre os elementos climáticos. Para a realidade da cidade de Teresina, no que se refere aos fatores climáticos naturais, Andrade (2009) destaca que são

relevantes os seguintes: a vegetação, fator importante no controle da umidade do ar, da irradiação solar e das temperaturas do ar próximas à superfície. Este fator climático é de grande importância ecológica e de produção de conforto ambiental para a cidade de Teresina devido às características naturais de temperaturas elevadas que possui. Outros fatores locais, também importantes, são os corpos d'água naturais – rios e lagoas -, fator relevante na produção de conforto ambiental e térmico devido à sua influência na umidade do ar atmosférico, elemento essencial para a produção do conforto ambiental e térmico de qualquer lugar. A topografia, também deve ser considerada como um importante fator climático local, pois interfere diretamente no padrão da temperatura do ar produzindo microclimas (ANDRADE, 2009, p. 106).

Então, para a compreensão da dinâmica do clima em Teresina, não basta somente a consideração isolada de um ou mais fatores climáticos. É determinante considerar todos os que se aplicam para essa cidade, e, sobretudo, suas inter-relações ao longo do ano, fato produtor das singularidades climáticas na cidade em tela.

A seguir, apresentam-se as discussões relativas aos produtos cartográficos produzidos com o uso das imagens de satélite. Primeiramente, tem-se os mapas de cobertura do solo para a cidade, relativo a cada ano trabalhado na pesquisa, fazendo-se a devida correlação com a repercussão que os distintos tipos de cobertura do solo trazem para a temperatura de superfície nesta cidade.

5 TERESINA: DISTRIBUIÇÃO TÊMPORO-ESPACIAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

A abordagem que aqui apresentamos, reveste-se em duas etapas, considerando aqui a natureza das informações apresentadas. Este trabalho aborda essencialmente a discussão das informações obtidas por meio da produção de mapas temáticos, levando-se em conta que cada produto cartográfico é um subsídio para a compreensão do mapa seguinte. Assim, iniciamos a discussão com os dados relativos à cobertura do solo para a cidade de Teresina, correlacionando-o à dinâmica urbana da área, e tendo sempre em vista o impacto que isto pode trazer sobre a temperatura de superfície. Em seguida, estabelecemos a discussão acerca do mapa da temperatura de superfície, para cada ano considerado, a saber: 1985, 2001 e 2015.

5.1 Temperatura de superfície: dinâmica observada em outubro de 1985

No início da década de 1980, a população da cidade de Teresina já alcançava a faixa de 350.000 habitantes com reflexo na dinâmica espacial. Nesse período, a cidade já contava com vários conjuntos habitacionais, construídos nas décadas anteriores, como reflexo da política nacional do BNH, a exemplo dos conjuntos Parque Piauí, Dirceu Arcoverde I, Mocambinho, Saci, etc. Esta realidade atraía ainda mais a população da zona rural e dos municípios do interior, demandado, com isso, a construção de novas unidades habitacionais.

Com a extinção do BNH em 1986, a retomada da instalação dos conjuntos habitacionais é protagonizada por outros órgãos de financiamento. Assim, nos anos que se seguiram ao ano de 1986, novos conjuntos foram terminados em todas as regiões da cidade, a exemplo do Bela vista III, Saturno I, Nova Teresina, Deus Quer, etc.

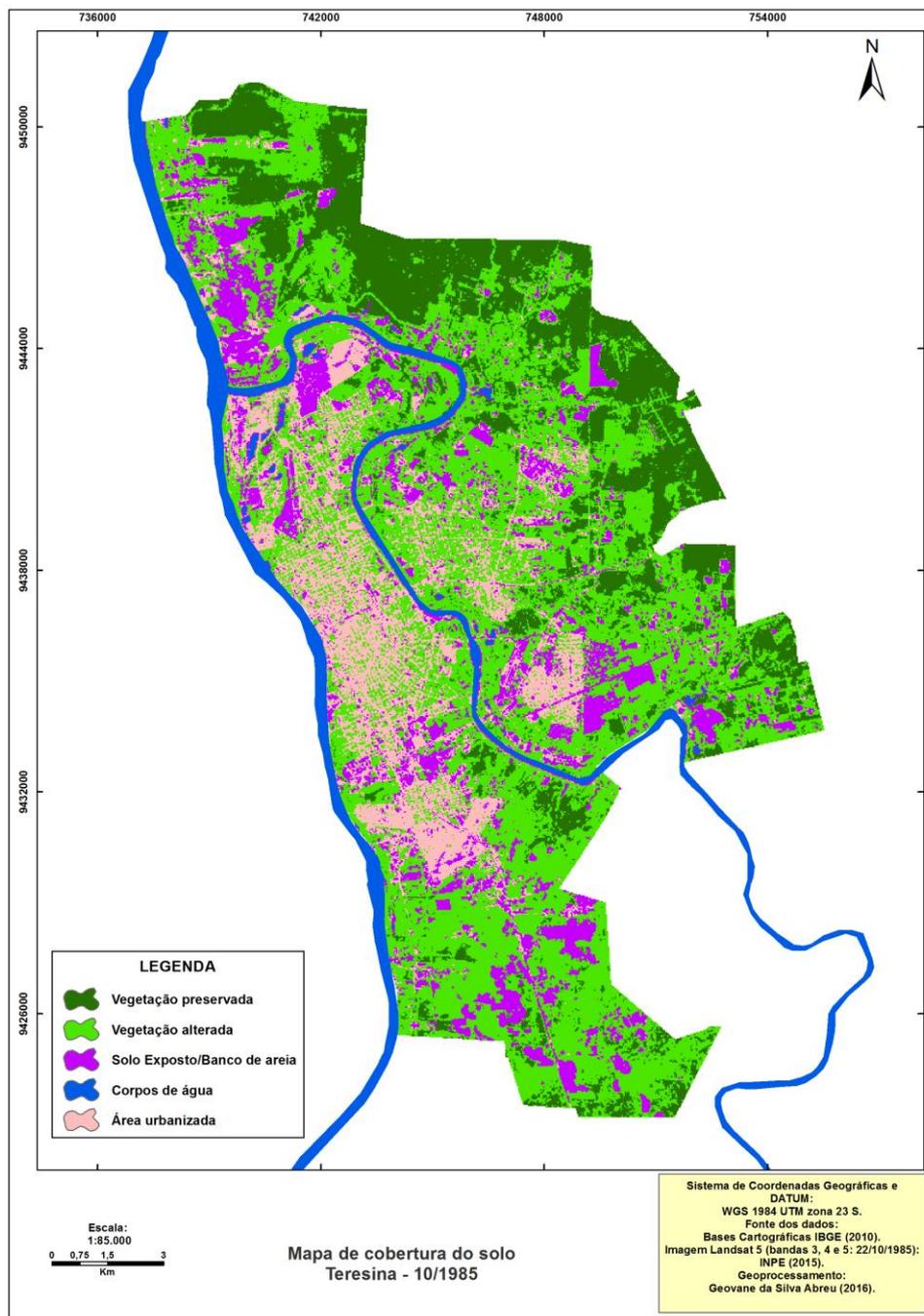
No tocante à dinâmica urbana, pode-se dizer que a construção desses conjuntos representou, desde a preparação do terreno e nos anos seguinte à fase de conclusão, grandes transformações no espaço, uma vez que provocaram o avanço da zona urbana sobre as áreas até então rurais, resultando em novas alterações no perímetro urbano.

Essas intervenções urbanas, por meio da construção de moradias, têm em comum o fato de provocarem grandes alterações no espaço, tanto na época de implantação dos projetos, com a terraplanagem do terreno, como após sua conclusão. Com efeito, obras viárias de asfaltamento, para ligação dessas áreas com as já urbanizadas, tornaram-se necessárias, como também a realização de outras obras estruturantes. Novas alterações no espaço se sucederam, pois a construção de escolas, postos de saúde, mercados, etc., produzem novas demandas.

A grande discussão reside no fato de que tais obras são produtoras de grande impacto ambiental, pois em linhas gerais, resultam na substituição de áreas com cobertura vegetal pelas áreas edificadas, sem que se façam projetos de compensação desses impactos. No geral, a lógica segue a regra de primeiro se produz o problema, depois buscam-se as soluções, ao invés de antes se pensar em evitar esses problemas.

Assim, o primeiro elemento alterado com esses projetos de intervenção urbana para a construção de moradias é a cobertura vegetal, com conseqüente substituição desses espaços por áreas edificadas, visto que a preservação da vegetação dificilmente estaria inclusa nesses projetos. A Figura 17, a seguir, mostra o comportamento das classes de cobertura do solo para o ano de 1985.

Figura 17* – Mapa de cobertura do solo para Teresina relativo a outubro de 1985



Fonte: elaboração do autor (2016)

*Todos os mapas de cobertura do solo e temperatura de superfície foram disponibilizados no formato A3 na versão impressa.

Na Figura 17 observam-se cinco classes de cobertura do solo que foram estabelecidas com base no Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013) e adaptadas para a realidade teresinense. Desse modo, é preciso esclarecer o que se considera em cada uma das classes identificadas ao lembrar que as imagens que deram origem ao mapa foram geradas a partir das bandas 3, 4 e 5 do *Landsat 5*, no caso dos anos de 1985 e 2001, e depois classificadas com base na *Classificação supervisionada*. Então, para esse fim foi realizada a composição colorida falsa-cor das bandas acima mencionadas com posterior interpretação das mesmas. Assim consideramos as respectivas classes:

Vegetação preservada: representa a vegetação de porte arbóreo e com maior densidade de ocorrência, embora seja possível observar manchas isoladas, mas que na imagem falsa-cor apresenta-se com textura mais rugosa e uma tonalidade mais escura, indicando uma cobertura vegetal de maior porte;

Vegetação alterada: compreende a vegetação que já sofreu algum tipo de transformação no que diz respeito a sua densidade e/ou ocorrência, apresentando-se como pequenas manchas isoladas ou contínuas, porém com textura mais lisa e tonalidade mais próxima do branco (no caso da imagem em tons de cinza), indicando maior reflexão de energia;

Solo exposto/Banco de areia: que abrange distintas superfícies, mas que se enquadram em pelo menos uma das seguintes características: superfícies sem vegetação e/ou uma vegetação rasteira e seca, superfície desmatada e que sofreu queimada. Essa última característica se deve ao fato de ser muito comuns as queimadas na cidade no segundo semestre, facilitada pelo tempo quente e seco e também por ser uma prática utilizada pela população para limpar os terrenos. Com isso, tem-se a piora da qualidade ambiental nesse período. O solo exposto já é uma superfície que tende a apresentar valores mais baixos de albedo e emissividade. Quando se trata de uma superfície após um evento de queimada, esses valores se tornam menores ainda, possuindo, portanto, alta temperatura superficial;

Corpos de água: as superfícies líquidas que ocorrem na cidade, a exemplo dos rios e lagoas;

Área urbanizada: correspondem a todas as superfícies que apresentam empreendimentos urbanos resultantes da dinâmica da cidade, como ruas e avenidas, conjuntos habitacionais, comércio e indústrias, hospitais, etc. Ressalta-se

que optou-se por não categorizar pelo tipo de uso desse espaço, considerando que o tipo de uso conduz ao tipo de cobertura.

Assim, para o ano de 1985, considerando o comportamento das classes verificado na Figura 16, as respectivas classes apresentaram os seguintes valores e percentual de cobertura, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de cobertura do solo para Teresina relativos a outubro de 1985

Classe	Área ²³ (km ²)	Percentual de cobertura (%)
Vegetação preservada	49,9	19,9
Vegetação alterada	123,3	49,2
Solo exposto	36,5	14,6
Área urbanizada	36,8	14,7
Corpos de água	4,1	1,6
Total	250,6	100

Fonte: elaboração do autor (2016).

Analisando os dados da Tabela 7 e considerando os valores relativos às classes de vegetação, percebe-se que a cobertura de vegetação no geral correspondia a cerca de 70% do total da superfície urbana, evidenciando que naquela época a cidade ainda dispunha de uma quantidade significativa de áreas verdes. Há praticamente uma equivalência entre os percentuais de cobertura do solo e área urbanizada, indicando que as áreas com solos expostos refletiam a dinâmica da expansão horizontal da cidade, que mais tarde iriam compor a classe de área urbanizada.

Tendo-se a dinâmica espacial da cidade como um todo, e o processo de expansão horizontal nesse período, destaca-se as seguintes alterações urbanas que, antes de 1985, imprimiram no espaço as características detectadas pelo satélite em outubro de 1985 e registradas aqui por meio do mapa de cobertura do solo e mais a frente, pelo mapa de temperatura de superfície, conforme as regiões:

²³ A área total da superfície urbana de Teresina levada em consideração nesta tabela é 250,6 km², que corresponde ao recorte feito conforme a base cartográfica do IBGE relativa à área urbana.

Região Sul: nesta direção destacam-se as transformações ocorridas por intermédio da construção dos conjuntos Parque Piauí (Figura 18) (concluído em 1968) com 2.294 unidades; Bela Vista I e II (terminados, respectivamente, em 1976 e 1981), com 1.605 unidades, os dois; Saci (terminado em 1979), com 2.034 unidades e Promorar (terminado em 1982) com 4.696 moradias.

Figura 18 – Vista da construção do conjunto Parque Piauí, na região Sul, em 1968



Fonte: Lima (2011a, p. 90)

Na Figura 18 observa-se a alteração na região Sul à época da construção do conjunto Parque Piauí. Fica evidente que, considerando as características desse bairro hoje e adjacências, não houve qualquer intenção em se deixar áreas que pudessem servir para preservação da vegetação nativa e áreas livres para o lazer.

Região Norte: construção dos conjuntos residenciais Mocambinho (Figura 20) I, II e III (concluídos entre os anos de 1983 e 1986), com um total de 5.139 unidades habitacionais, e do conjunto São Joaquim (concluído em 1984), com 824 unidades habitacionais. Seguramente as transformações impostas por essa nova dinâmica na região impactaram sobre a cobertura do solo, como visto na Figura 19, haja vista que se tem a retirada da cobertura vegetal original, com exposição do solo e posterior substituição pelas edificações.

A Figura 19 induz a reflexão a partir da perspectiva do conforto ambiental sobre o padrão que foi “pensado” para a construção desse conjunto habitacional,

bem como nos diversos conjuntos, com ruas estreitas e desprovidos de grandes áreas livres e com cobertura vegetal.

Figura 19 – Fase de finalização do conjunto Mocambinho I em 1982



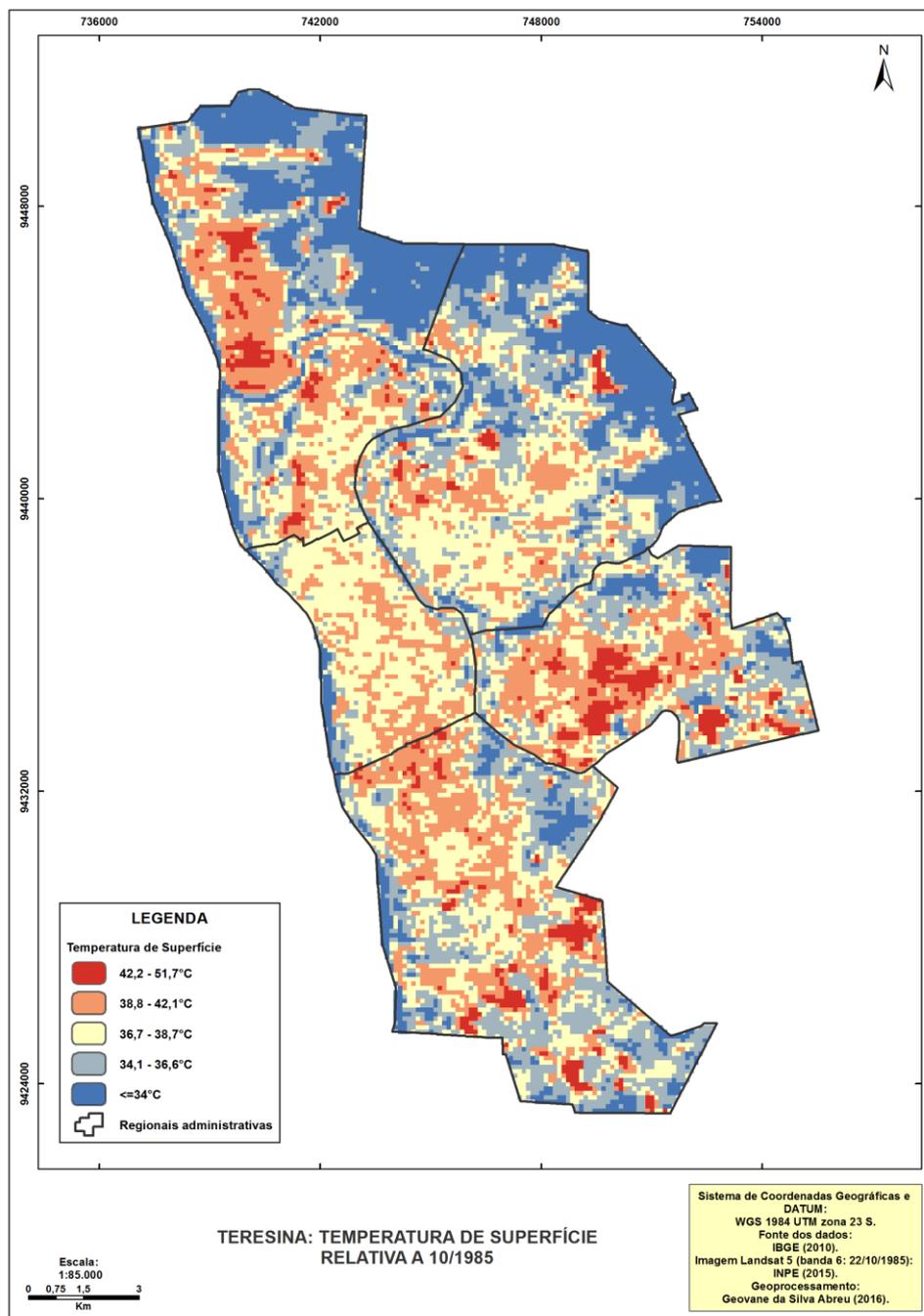
Fonte: teresinaantiga.com. Acesso em maio de 2016.

Região Sudeste: nesta região destacamos a construção dos conjuntos Dirceu Arcoverde I e II (concluídos respectivamente em 1977 e 1980), com 7.294 unidades habitacionais, e dos conjuntos Tancredo Neves e Renascença I (concluídos respectivamente em 1985 e 1986), contendo juntos 1.656 unidades.

Região Leste: nessa região, a dinâmica observada dá conta que nesse período embora todas as outras regiões já contassem com conjuntos habitacionais populares, que conforme Lima (2011, p.91) eram destinados “para as classes menos favorecidas socialmente”, a exceção era a região Leste. Nesta, apesar de já transposto o limite natural, com a construção da ponte Juscelino Kubitschek na década de 1950, era ocupada nessa década, “por sítios e chácaras, onde poucas pessoas residiam” (ARAÚJO, 2009, p. 28), espaços que mais tarde se tornaria a “zona nobre” da cidade, com a constituição dos bairros Jockey Club e Fátima.

O reflexo dessas intervenções urbanas sobre a cobertura do solo e, conseqüentemente, sobre a temperatura de superfície pode-se observar na Figura 20.

Figura 20 – Mapa da temperatura de superfície da banda termal do satélite *Landsat 5* para Teresina, outubro de 1985



Fonte: elaboração do autor (2016).

Na Figura 20, percebe-se que a concentração dos *pixels* que representam temperaturas mais elevadas acompanha as regiões da cidade com maior densidade de solo exposto e área edificada, caso das regiões Norte, Sul, Sudeste e Centro. A região Leste, na época ainda com poucas alterações em sua superfície, apresentava uma cobertura vegetal mais extensa, resultando em *pixels* de temperatura menos elevados. Há ainda uma grande concentração de *pixels* nas classes $\leq 34^{\circ}\text{C}$ e $34,1$ a $36,6^{\circ}\text{C}$, que corresponde as classes de vegetação e água, conforme observado na Figura 19 anteriormente exposta, correspondendo a uma superfície de mais de 173 km^2 , demonstrando a importância da vegetação no contexto da cidade.

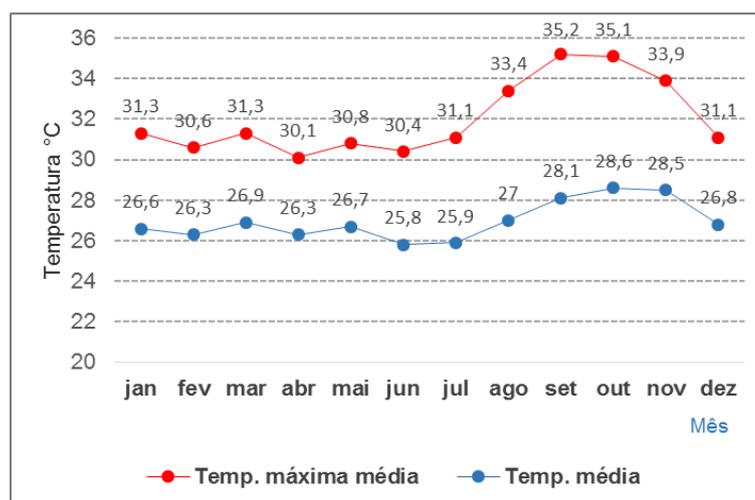
Nesse aspecto, Sams et al. (2009), ao relatarem a importância da vegetação no ambiente urbano discorrem que dentre as várias funções desempenhadas tem-se a *função química*: no sentido de que as copas das árvores oferecem sombra, proteção térmica e absorve ruídos; *função paisagística*: quebra da monotonia da paisagem urbana dominada pelas edificações; *função ecológica*: serve de abrigo e alimento para diversos animais e proteção dos recursos naturais, como o solo e água e *função psicológica*: as árvores tem influência sobre o bem estar do ser humano, além de proporcionar lazer e diversão. No entanto, ressaltam ainda essas autoras que, é no controle da temperatura, como atenuante em grande parte da radiação, que as árvores em grupo ou isoladas desempenham seu papel mais importante. A importância desses espaços também é relatada por Monteiro (2015) a seguir.

na estrutura urbana, as áreas verdes – vistas em geral, do ponto de vista estético, e, agora, como focos de purificação do ar – desempenham grande papel pela riqueza das combinações dos seus atributos na qualidade ambiental urbana. Além daquelas que geralmente lhes imputam, elas constituem verdadeiras válvulas regulares do escoamento, pela possibilidade de infiltração em meio à massa de edificações e ruas pavimentadas. Deveriam, pois, ser elementos obrigatórios nas cidades intertropicais, em vez de serem vistas com certa ojeriza por um verdadeiro complexo de inferioridade que conduz ao abate sistemático de árvores e eliminação de resíduos e nichos de vegetação, inclusive nas cabeceiras dos mananciais. Além do que, são complementos necessários ao lazer, especialmente para as classes que não dispõem de recurso para buscar entretenimento fora da circunscrição urbana (MONTEIRO, 2015, p. 120-121).

As áreas verdes são elementos estruturantes inquestionáveis no quadro da paisagem urbana, seja pela função de regulação térmica, seja pelo papel de embelezamento, ou pela sensação de bem-estar que produz na população, devendo ser preocupação constante a sua preservação ou criação de áreas para esse fim, principalmente quando se considera a realidade teresinense.

No contexto da pesquisa, é importante apresentar também, o comportamento dos elementos climáticos na cidade relativos ao ano de 1985 como um todo, e ao mês de outubro, especificamente, afim de se estabelecer uma correlação com o mapa termal, pois a abordagem que orienta esse trabalho está fundamentada na análise sistêmica. Com essa intenção, apresenta-se o Gráfico 6.

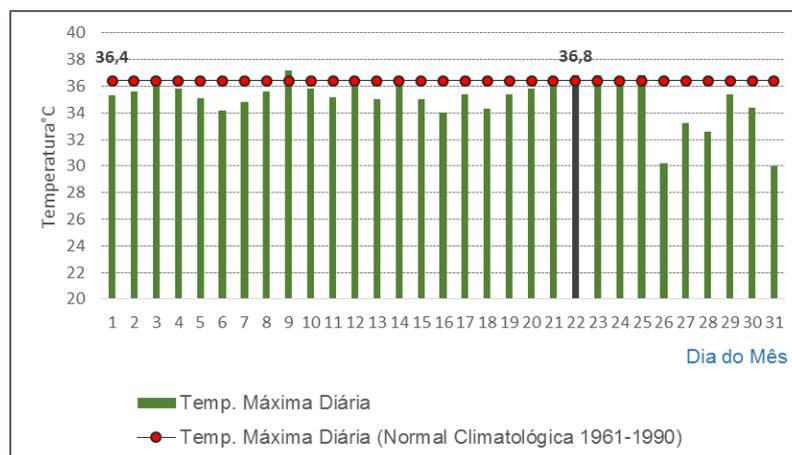
Gráfico 6 – Temperatura máxima e média para Teresina, ano de 1985



Fonte: Elaboração do autor (2016), com base nos dados da Embrapa Meio Norte.

Observando-se o Gráfico 6, percebe-se que o mesmo confirma as características climáticas da cidade de Teresina, que é a elevação de todas as temperaturas no segundo semestre, sobretudo nos meses de agosto, setembro e outubro, com os picos de temperatura observados em outubro. Em relação às temperaturas observadas no mês de outubro de 1985, tem-se as informações do Gráfico 7.

Gráfico 7 – Comparação da temperatura máxima diária (outubro de 1985) em relação à temperatura máxima diária (normal climatológica 1961-1990), para Teresina

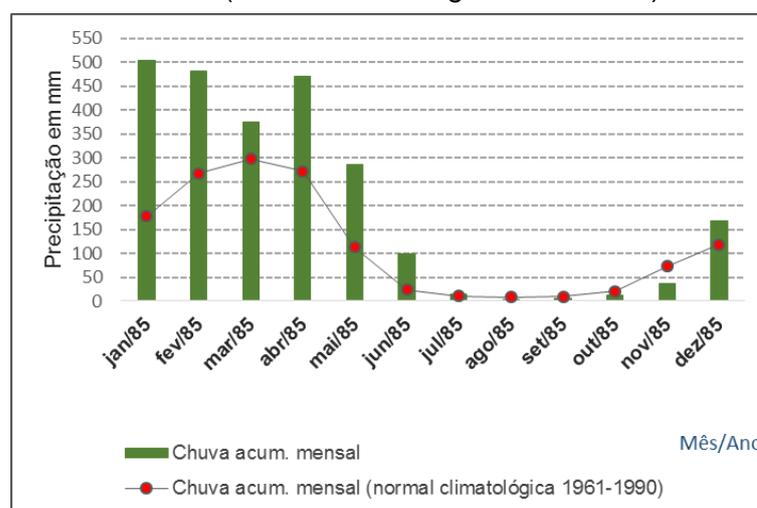


Fonte: Elaboração do autor (2016), com base nos dados da Embrapa Meio Norte.

Analisando os dados do Gráfico 7, temos que o mês de outubro de 1985 apresentou no geral, médias de temperatura máxima um pouco abaixo da normal climatológica, mas que, no dia da passagem do satélite, com destaque no gráfico, a temperatura máxima registrada mostrou-se ligeiramente acima, ficando com 36,8°C contra 36,4°C da média da normal. Em relação à temperatura de superfície, estimada pela banda termal do satélite, Coelho e Correa (2013) informam estas apresentam normalmente valores mais elevados que a temperatura média do ar. Esse dado é importante para compreender as diferenças encontradas. Vale informar ainda, que conforme os dados da Embrapa Meio Norte para o mês de outubro de 1985, no dia da passagem do satélite (22/10/1985), a umidade relativa foi de 46%, a velocidade do vento foi de 2,5 m/s e foi registrado um total de 10,4 horas de insolação, típicos do mês de outubro.

Para o ano de 1985, cabe destacar ainda o comportamento da precipitação, pois esse ano foi considerado excepcional, que corresponde, conforme Monteiro (1971, p.3), a uma “distorção” em relação ao habitual, uma vez que o total de precipitação alcançou mais de 1000mm acima da média, ficando com 2454,7mm contra 1393,2mm da média anual da cidade. O Gráfico 8 a seguir expõe esses dados.

Gráfico 8 – Chuva acumulada mensal (1985) x Chuva acumulada mensal (normal climatológica 1961-1990)



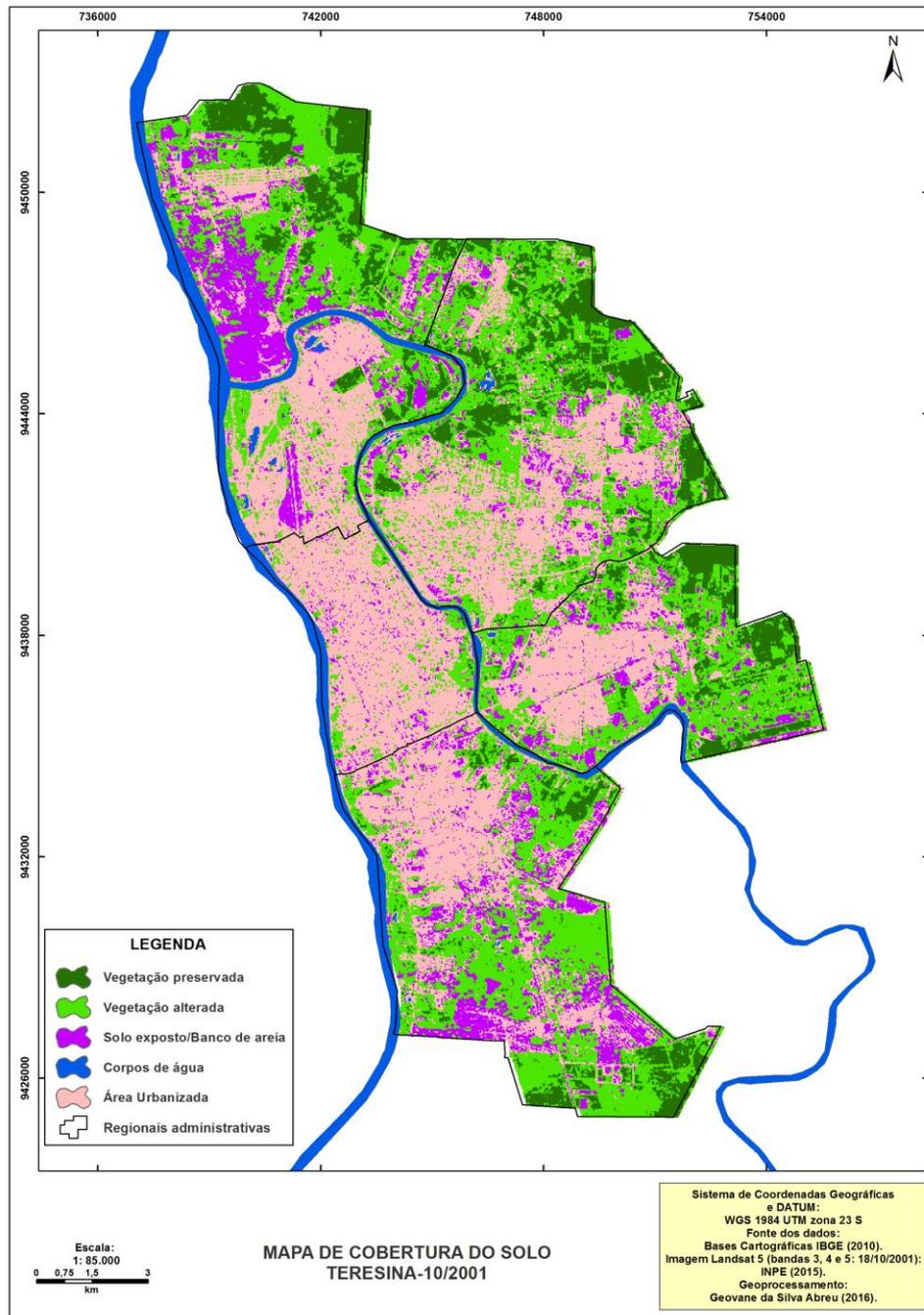
Fonte: Elaboração do autor (2016), com bases nos dados da Embrapa Meio Norte.

Pelos dados do Gráfico 8, observa-se que todos os meses do período chuvoso do ano de 1985 em Teresina estiveram acima da média histórica. Como exemplos, tem-se o mês de janeiro de 1985, que obteve precipitação total de 504,9mm contra 177,7mm da média histórica. O mês de fevereiro registrou 482,9mm contra 268mm da média histórica. Vale acrescentar que o ano de 1985, devido ao grande volume de precipitação, foi marcado por enchentes na região Norte da cidade, inclusive causando problemas aos moradores do recém inaugurado conjunto Mocambinho, na época.

5.2 Temperatura de superfície: dinâmica observada em outubro de 2001

Para o ano de 2001, a dinâmica da cidade já imprimiu muitas mudanças na paisagem urbana de Teresina produzidas nos anos anteriores, configurando cada vez mais a redução da cobertura vegetal na zona urbana. A Figura 21 a seguir mostra o comportamento das classes de cobertura do solo no respectivo ano.

Figura 21 – Mapa de cobertura do solo para Teresina relativo a outubro de 2001



Fonte: elaboração do autor (2016).

Nota-se, a partir da análise da Figura 21 que, diferentemente do ano de 1985, onde se observava ainda uma certa incipiência na expansão da região Leste, em 2001 ela já se encontra bastante transformada e em plena dinâmica, apresentando significantes alterações no que diz respeito a sua cobertura da superfície. Segundo Façanha (2007) a construção dos dois Shoppings (Riverside Walk e Teresina Shopping), entre os anos de 1995 e 1996, impõe nova dinâmica nesse espaço, com novos serviços e comportamentos aos teresinenses. Adicionalmente, tem-se a valorização dos terrenos situados nas proximidades, aumentando a especulação imobiliária. Agora, além da “zona do Jockey Club”, tem-se no mesmo espaço, a “zona dos shoppings”, configurando-se em um novo parâmetro de valorização dos espaços dessa região.

Contraditoriamente à dinâmica de ocupação dessa região, em sua fase inicial, caracterizada por ocupações de chácaras e sítios, e depois por bairros de alto padrão, nos anos finais da década de 1990, tem-se também, a construção de conjuntos habitacionais populares nas áreas mais periféricas, a exemplo dos conjuntos Saturno I e II (concluídos em 1996 e 1997, respectivamente) com 233 e 78 moradias, respectivamente, e os conjuntos Nova Teresina I, II e III (concluídos nos anos de 1996 e 1997), apresentando ao todo, 487 unidades habitacionais.

Nas outras regiões da cidade, a dinâmica da expansão urbana avança em direção aos limites do perímetro urbano, exigindo por parte do poder público municipal a alteração desses limites. Na região Sul, por exemplo, no final da década de 1990 o destaque foi a ocupação de uma grande área, hoje correspondente à Vila Irmã Dulce. Vieira e Façanha (2015) destacam que essa ocupação foi fruto das lutas sociais de acesso à moradia, culminando com a ocupação da referida área em 03 de junho de 1998, data em que ocorreriam, ao mesmo tempo, outras ocupações em outros estados, numa clara intenção de chamar atenção do poder público para o problema. Os dados da Tabela 8 apresentam os valores de cobertura do solo para o ano de 2001.

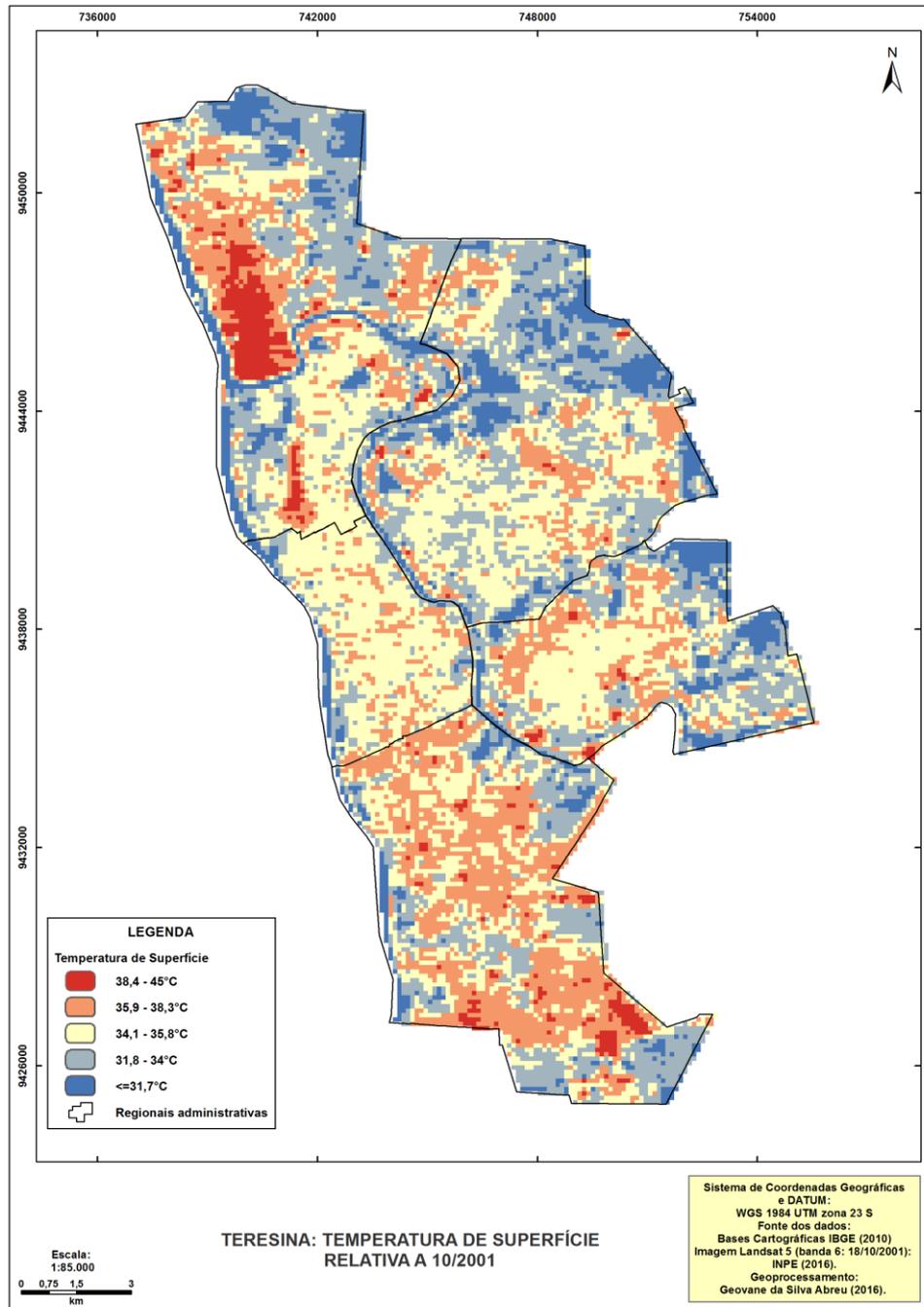
Tabela 8 – Valores de cobertura do solo para Teresina relativos a outubro de 2001

Classe	Área (km ²)	Percentual de cobertura (%)
Vegetação preservada	30,6	12,2
Vegetação alterada	88,4	35,3
Solo exposto	31,8	12,7
Área urbanizada	96,3	38,4
Corpos de água	3,5	1,4
Total	250,6	100

Fonte: elaboração do autor (2016).

O que chama a atenção na Tabela 8, evidenciado pela leitura do mapa, constante na Figura 21 anteriormente exposta, é o aumento da área urbanizada que passou de 36,8 km² em 1985 para 96,3km² em 2001 (quase o triplo), em detrimento da cobertura vegetal, que caiu de 173,2 km² em 1985, para 119 km² em 2001, o que representa uma redução de 31,2%. À medida que a cidade se expande horizontalmente, revelando as novas demandas por espaço e moradia, as novas áreas que então vão sendo alteradas, transformam-se de solo exposto a áreas urbanizadas, considerando que tais áreas normalmente correspondem à construção de conjuntos habitacionais. A Figura 22 expõe o reflexo das características da cobertura do solo do ano de 2001 sobre a temperatura de superfície.

Figura 22 – Mapa da temperatura de superfície da banda termal do satélite *Landsat 5* para Teresina, outubro de 2001



Fonte: elaboração do autor (2016).

As informações constantes na Figura 22 induzem a ter certa cautela ao analisá-las. Espacialmente tem-se uma distribuição maior dos *pixels* referentes às classes com temperatura superior a 34°C, correspondendo a superfícies com menor valor de refletância e emissividade. Tais superfícies são as que se referem às classes de solo exposto e área urbanizada, conforme mapa de cobertura do solo. No entanto, a classe superior registrada (38,4 a 45°C), foi inferior àquela representada no mapa termal de 1985.

Essa característica está relacionada à redução da classe de cobertura do solo exposto na cidade, que teve sua área reduzida em 5 km². Analisando os dois mapas de cobertura do solo, o de 1985 e de 2001, percebe-se que parte das áreas que correspondiam a classe *solo exposto* passaram a integrar a classe *área urbanizada*. Nas áreas urbanizadas, sobretudo as que possuem construções com cobertura de telha cerâmica, geralmente possuem temperaturas superficiais menores quando comparadas com as áreas de solo exposto. Isso deve ao comportamento dos distintos materiais que compõem as estruturas urbanas, utilizados na cobertura das construções, como se pode observar na Tabela 9.

Tabela 9 – Temperatura superficial de alguns materiais

Material	Albedo	Emissividade	Temperatura superficial (°C)	Diferença de temperatura entre o ar e o material
Cerâmica vermelha	0,53	0,9	36,8	-0,1
Cerâmica branca	0,54	0,9	36,2	-0,6
Fibrocimento	0,34	0,9	47,1	+10,3
Alumínio s/pintura	0,57	0,05	69,4	+32,6
Alumínio cores claras	0,40 a 0,47	0,9	De 40,1 a 43,3	De +3,2 a +6,5
Alumínio cores escuras	0,26 a 0,38	0,9	De 45,0 a 51,4	De +8,1 a 14,5
Aço galvanizado sem pintura	0,57	0,25	57,9	21,1
Aço galvanizado branco	0,49	0,9	39,2	2,3
Metal (Al+Z) s/pintura	0,54	0,25	60,1	23,2
Cimento cinza escuro	0,26	0,9	50,8	14,0

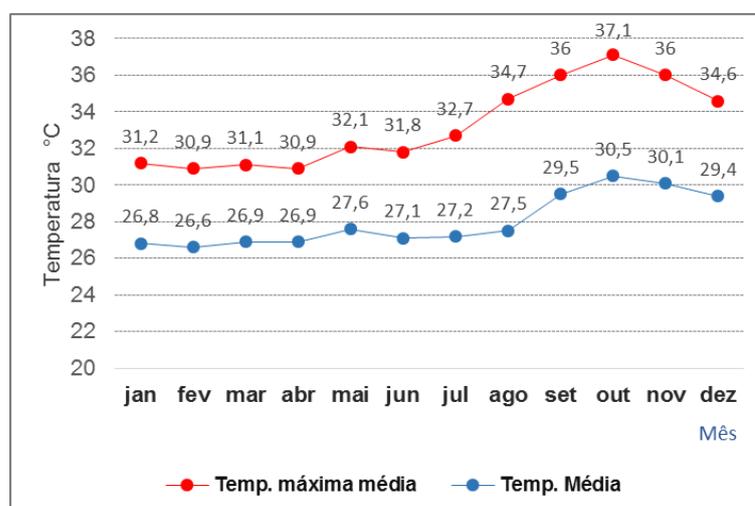
Fonte: Ferreira e Prado (2003); Sant'Anna Neto (2011/2012).

A consideração das informações constantes na Tabela 9 são necessárias, tendo em vista a dinâmica urbana observada na cidade de Teresina, com sua expansão horizontal, caracterizada pela construção de conjuntos habitacionais e condomínios. Isso significa uma espacialização cada vez maior de edificações com coberturas que possuem baixo albedo e emissividade, além da impermeabilização do solo com asfalto e concreto, fatos que elevam a temperatura de superfície, considerando que a temperatura superficial dos materiais é normalmente mais alta que a temperatura do ar.

Adicionalmente, tem-se também o incremento da impermeabilização do solo, com a pavimentação das vias urbanas, com asfalto, concreto, etc. Nesse contexto, autores como Weng (2004), Srivanit e Hokao (2012), Coelho e Correa (2013), Dorigon e Amorim (2013), Cardoso Amorim (2014), entre outros, colocam em cena a participação determinante dessas transformações na superfície urbana como fundamentais na produção do fluxo maior de calor e sua dissipação para o espaço de entorno.

Como enfatizado neste trabalho, é importante a relação da temperatura de superfície com o comportamento dos elementos climáticos de Teresina. Isso é válido, principalmente no que se refere à temperatura do ar, que recebe interferências da variação da temperatura de superfície. Assim, no Gráfico 9 tem-se a variação da temperatura em Teresina para o ano de 2001.

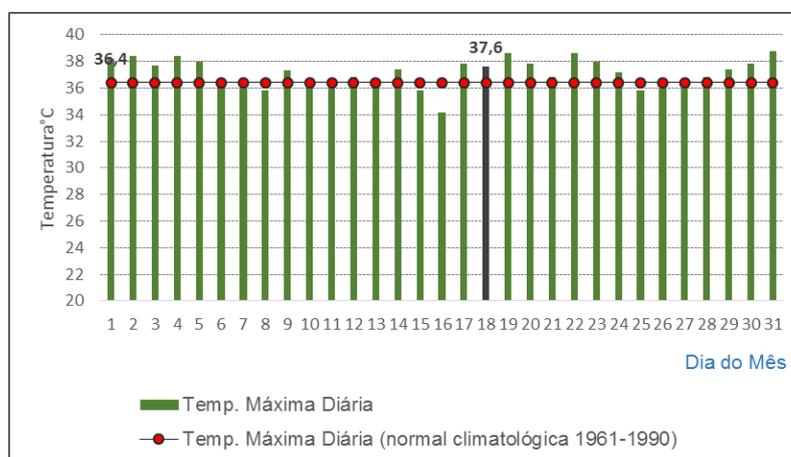
Gráfico 9 – Temperatura máxima e média para Teresina, ano de 2001



Fonte: elaboração do autor com base em Bastos et al. (2002)

Como já afirmado neste trabalho, em Teresina, como parte da dinâmica habitual de seu clima, há a elevação de todas as temperaturas no segundo semestre, evidenciando a dinâmica atmosférica na escala regional, e que reflete nas condições da cidade. O Gráfico 9 atesta essa característica, revelando que no ano de 2001, as temperaturas estiveram dentro da variação normal para o período, considerando os dados da Normal Climatológica 1961-1990, observadas no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Comparação da temperatura máxima diária (outubro de 2001) em relação à temperatura máxima diária (normal climatológica 1961-1990), para Teresina



Fonte: elaboração do autor com base em Bastos et al. (2002)

O Gráfico 10 informa que no dia da passagem do satélite a temperatura máxima registrada foi de 37,6°C, pouco mais de 1°C acima da média da normal para o mês, que é de 36,4°C. Tendo em vista que o horário central no momento da passagem do satélite é por volta das 13:00 tem-se então um registro muito próximo do pico de temperatura, tanto a de superfície como a do ar, que ocorre no período da tarde. No dia da passagem do satélite, conforme os dados de Bastos et al. (2002), as outras variáveis meteorológicas tiveram o seguinte comportamento: a umidade relativa chegou a 47%, a velocidade do vento foi de 1,5 m/s e uma insolação de 10,9 horas. Assim, os dados registrados pelo sensor termal do satélite mostraram-se satisfatórios para a compreensão do campo térmico da cidade, pois evidencia o comportamento espacial da superfície relacionado ao tipo de cobertura que apresenta.

Conforme Ferreira e Prado (2003) as superfícies com elevado albedo e emissividade permanecem mais frias quando expostas à radiação solar, uma vez

que absorvem menos radiação e emitem mais radiação térmica para o espaço e, conseqüentemente, transmitem menos calor para o seu entorno. Com isso, há menos energia para a elevação da temperatura do ar. O contrário acontece com superfícies com baixo albedo e emissividade.

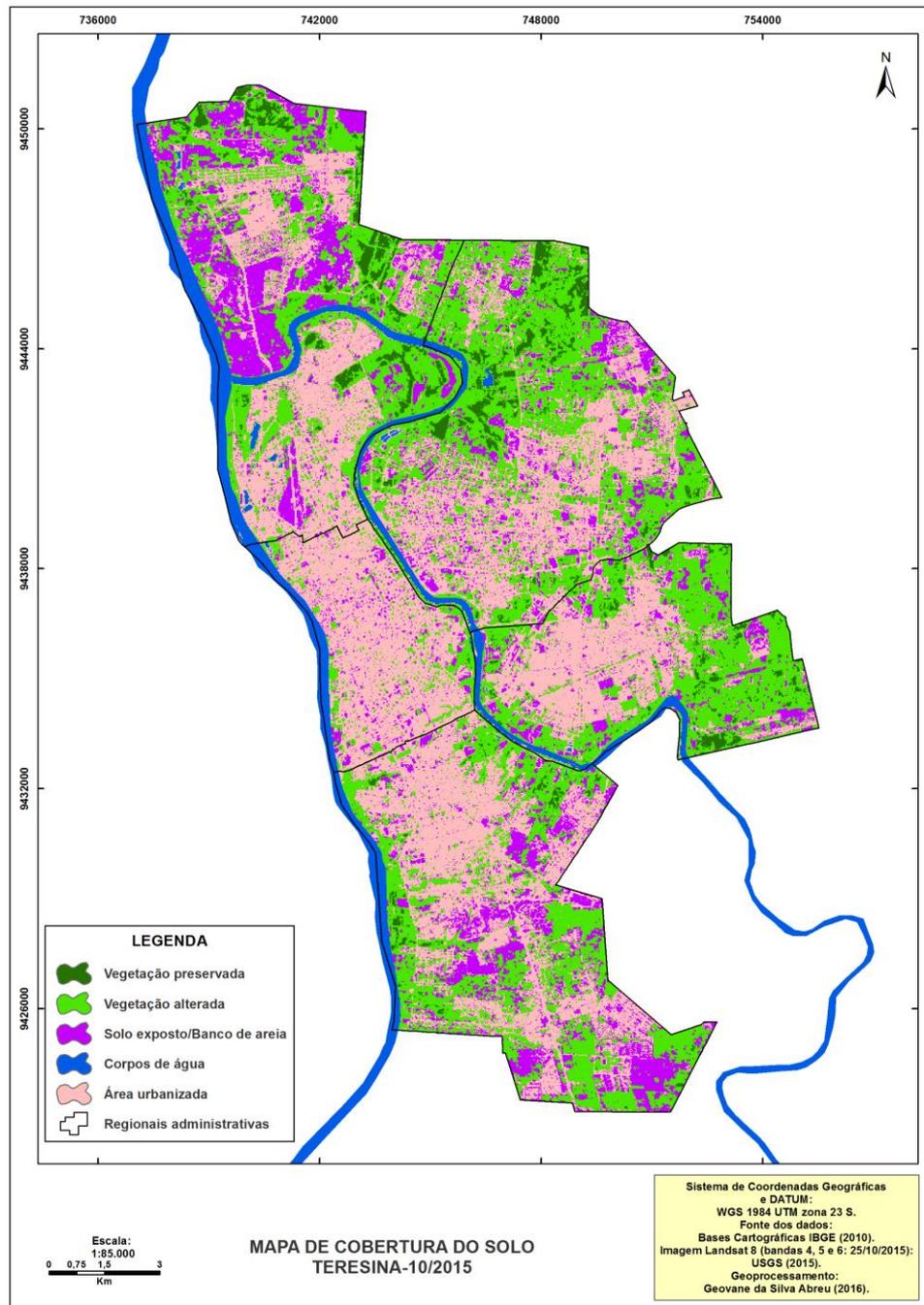
5.3 Temperatura de superfície: dinâmica observada em outubro de 2015

Em 2015, segundo os dados do IBGE, a população teresinense já alcançava 844.245 habitantes. Essa realidade imprime novas demandas no espaço, sobretudo ligadas à questão da habitação. O perímetro urbano se estende cada vez mais em direção aos limites da zona rural, e, em desacordo com as características geográficas da cidade, Teresina continua a suprimir cada vez mais sua cobertura vegetal.

A questão aqui é, mediante ações planejadas, desenvolver intervenções que possam reduzir os impactos negativos que a expansão urbana tem provocado na qualidade ambiental da cidade. Isso significa um olhar mais apurado sobre a dinâmica urbana que engendra incessantemente novas transformações no espaço.

Para o ano de 2015, as características das classes de cobertura do solo podem ser observadas na Figura 23. Aqui o destaque é para o impacto visual do mapa, caracterizado pelo predomínio das classes de área urbanizada e solo exposto, sobretudo nas áreas periféricas, que representam o limite da expansão urbana.

Figura 23 – Mapa de cobertura do solo para Teresina relativo a outubro de 2015



Fonte: elaboração do autor (2016)

Conforme os dados da Figura 23, os valores de cada classe podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores de cobertura do solo para Teresina relativos a outubro de 2015

Classe	Área (km ²)	Percentual de cobertura (%)
Vegetação preservada	8,8	3,5
Vegetação alterada	92,1	36,8
Solo exposto	41,9	16,7
Área urbanizada	102,3	40,8
Corpos de água	5,5	2,2
Total	250,6	100

Fonte: elaboração do autor (2016)

A partir da análise da Figura 23 e comparando com o ano de 2001 e levando-se em consideração as classes de vegetação, tem-se uma redução de 18,1 km² dessas classes (vegetação preservada + vegetação alterada), o que representa uma redução percentual 15,2%. É verdade que a redução foi menor em relação a de 1985 a 2001, que ficou em 31,2%. Já quando se compara com o ano de 1985 a redução chega a 41,7%, ou seja, passou de 173,2 km² para 100,9 km². A classe solo exposto, que em 2001 cobria 31,8 km², saltou para 41,9 km² em 2015, representando crescimento de 31,7%. Nesse contexto, e considerando o atual ritmo de avanço das áreas edificadas sobre os espaços vegetados, aliados à ausência e/ou ineficiência ou ainda a incipiência das políticas de preservação do verde urbano, há uma forte tendência de se continuar reduzindo as superfícies com vegetação.

Quanto à área urbanizada, o aumento de 1985 a 2015 foi de 65,5 km², correspondendo a um incremento de 178%. Já a classe solo exposto saltou de 36,5 km² em 1985 para 41,9 km², representando aumento de 14,8%. Agora, se considerarmos as duas classes de cobertura que mais impactam sobre a temperatura de superfície tem-se que para o ano de 2015, 144,2 km² da superfície

urbana de Teresina cobertos com área urbanizada e solo exposto, ou seja, 57,5% da superfície total. Seguramente essa característica traz impacto sobre a temperatura de superfície, pois essas duas classes são as que apresentam no cômputo geral, menores valores de albedo e emissividade.

O aumento da superfície urbanizada e solo exposto verificado em 2015 resulta da dinâmica inerente ao processo de expansão urbana, como se tem mostrado nesse trabalho. Nesse contexto, nos anos que segue a década de 2000, a política nacional de construção de conjuntos habitacionais de baixo custo continua, como exemplo tem-se a região Norte cujo destaque foi a construção do conjunto Jacinta Andrade, tendo sido iniciado no último ano da década de 2000, com grande impacto sobre a superfície daquela região.

A partir de 2009 com a implantação do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), do Governo Federal, novos conjuntos residenciais foram sendo construídos, nas distintas regiões da cidade, configurando novas áreas de expansão urbana. Na região Sul podem ser citados os conjuntos Parque Sul, Teresina sul, Torquato Neto (Figura 24), Eduardo Costa, etc. Na região Leste, tem-se o residencial Vale do Gavião, conjunto Árvores Verdes, Sigefredo Pacheco I, II e III, Wilson Martins Filho, Mirian Pacheco, etc. (PMT, 2015).

Figura 24 – Imagem do conjunto Torquato Neto (região Sul)

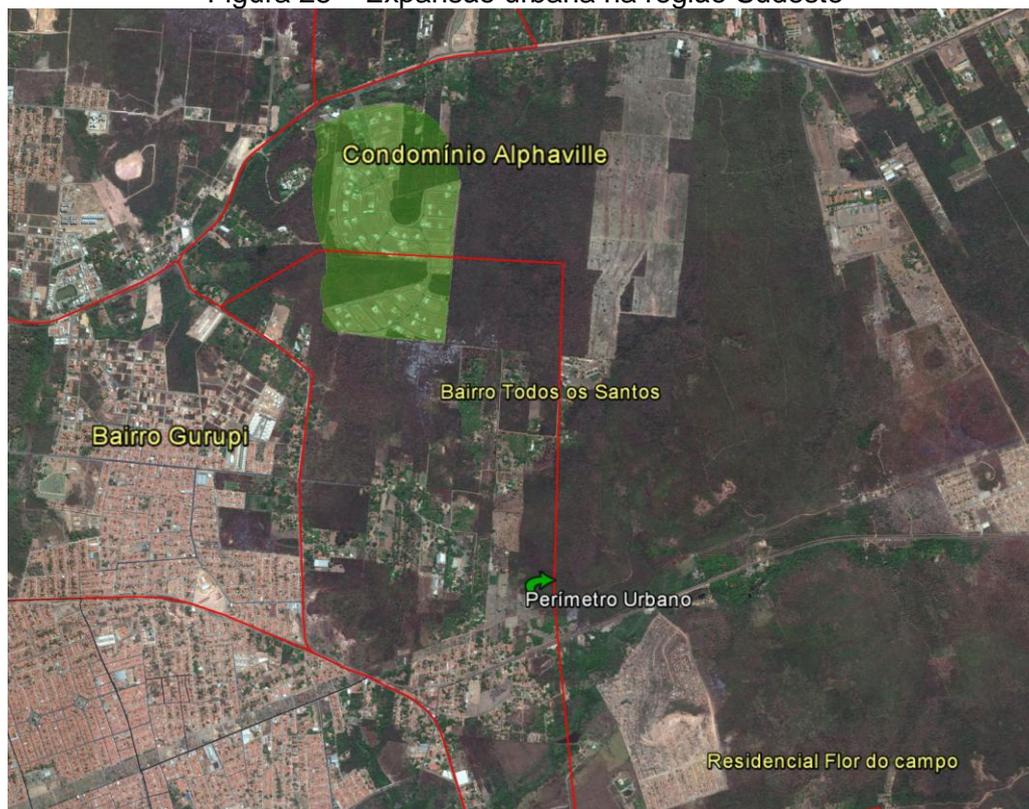


Fonte: arquivo do autor (2015)

Na região Sudeste, a expansão urbana avança, sobretudo, para além do perímetro urbano dos bairros Todos os Santos e Verde Cap. Nesta região encontra-

se o condomínio Alphaville, de alto padrão, que possui sua área dividida entre o bairro Todos os Santos e a zona rural²⁴, revelando o caráter veloz com que as novas dinâmicas são materializadas no espaço. Nos materiais publicitários dos condomínios desse padrão, ficam visíveis a presença do verde e das áreas livres como elementos estruturantes.

Figura 25 – Expansão urbana na região Sudeste



Fonte: adaptado de *Google Earth Pro* (2015)

A figura 25 evidencia uma importante característica da dinâmica urbana de Teresina. A cidade se expande, mas as bases cartográficas dos novos limites do perímetro urbano não acompanham esse dinamismo. Inclusive, ao se procurar nos órgãos municipais informações referentes aos novos limites urbanos, estas resumem-se às leis que legitimam tais alterações, mostrando os novos vértices adotados, mas sem as bases cartográficas como produto final.

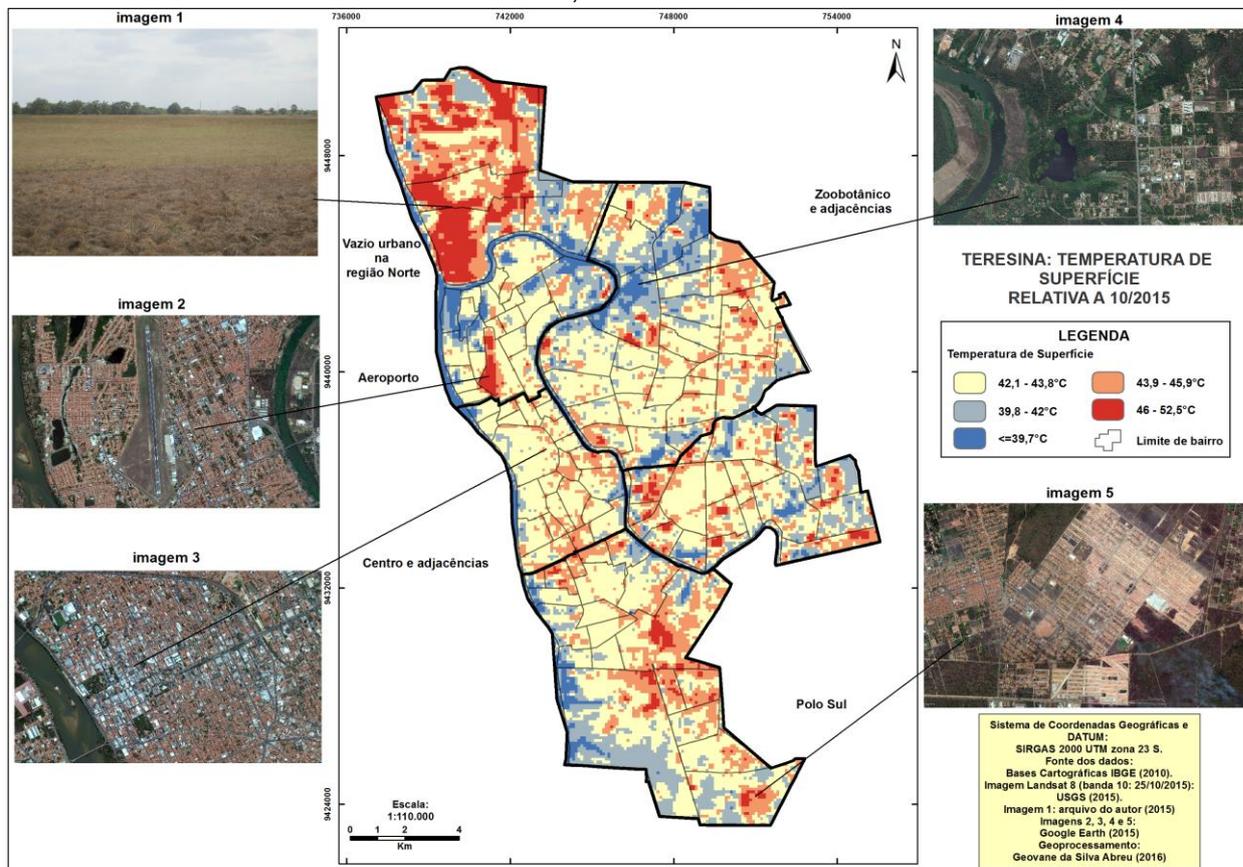
²⁴ É oportuno ressaltar aqui que a Lei nº 4.831, de 26 de outubro de 2015, já alterou esses novos limites do perímetro urbano da região Sudeste. No entanto, esta atualização ainda não consta nas bases cartográficas da cidade. Se a referida atualização já existe, o autor não teve acesso às mesmas.

A constatação evidenciada na Figura 25, para uma cidade com uma população de quase 850.000 habitantes, e capital do estado, coloca Teresina muito aquém de outras capitais, cujos produtos cartográficos são prontamente disponibilizados para o público em geral, facilitando a produção das pesquisas.

As novas faces da superfície urbana em Teresina mostram o resultado do processo de urbanização intenso que tem ocorrido neste país nos últimos 30 anos, ao mesmo tempo em que revela a incúria como essa realidade se desenvolve na capital piauiense, ao não se levar em conta o conforto ambiental da população.

Em Teresina, pelo fato de ser uma cidade com clima quente, as intervenções urbanas deveriam contemplar essa característica natural da cidade. No entanto, não é o que acontece. A cidade se expande, aumenta cada vez mais as áreas de solos expostos e as áreas impermeabilizadas em detrimento das áreas com cobertura vegetal. Em suma, os elementos responsáveis pelo maior acúmulo de calor na baixa atmosfera são aumentados, enquanto aqueles que propiciam amenização das temperaturas são reduzidos. O resultado é a piora das condições de conforto térmico da população. O reflexo dessa nova realidade pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 – Mapa da temperatura de superfície da banda termal do satélite *Landsat 8* para Teresina, outubro de 2015



Fonte: elaboração do autor (2016)

Conforme se observa na Figura 26, as áreas com maior ocorrência de *pixels* situados nas classes superiores de temperatura correspondem àquelas intensamente transformadas pela ação humana, compreendendo a grandes áreas edificadas, alternadas com manchas de solos expostos, como exemplo mostrado na Figura 27.

Figura 27 – Terreno em terraplanagem no bairro Angelim (região Sul)



Fonte: arquivo do autor (2015)

Superfícies como as verificadas na Figura 27 apresentam-se mais aquecidas em virtude da ausência da cobertura vegetal. Outro exemplo dessa situação pode ser verificado na Figura 28, que representa uma área de solo exposto no bairro Santa Maria da Codipi, na região Norte, onde nos últimos anos as transformações da superfície têm sido intensas, como se observa no comportamento desta região no mapa termal de 2015.

Essas áreas têm como característica o fato de se aquecerem mais rapidamente, em comparação com outras nas quais há predomínio de vegetação (mesmo que seja rasteira) ou que possuam superfícies líquidas. Assim, acumula-se mais calor no espaço de entorno.

Figura 28 – Área com solo exposto no bairro Santa Maria da Codipi (região Norte)



Fonte: arquivo do autor (2015).

Como observado na Figura 28, a região Norte tem passado por consideráveis transformações em sua superfície nos últimos anos, com grande perda de sua cobertura vegetal, desencadeadas pela instalação de novos conjuntos habitacionais e abertura de novas vias de acesso.

Ainda na região Norte, a imagem 1 da Figura 26 mostra uma grande área de vazio urbano pertencente ao grupo João Santos²⁵, que apresenta uma vegetação rasteira e que, no período seco, configura-se com uma superfície com baixo albedo e emissividade contribuindo para as altas temperaturas verificadas nesse local. O baixo albedo dessa região explica-se também por ser uma área, em que no período chuvoso, formam-se várias pequenas lagoas com boa concentração de argilas. Pelo fato de ser uma área da margem do Parnaíba deveria passar por processo de reflorestamento contribuindo, ao mesmo tempo, para a preservação da margem do rio e redução da temperatura de superfície.

O contrário pode ser observado na imagem 4 (da Figura 26), que mostra uma superfície com maior presença de água e com maior densidade de vegetação. Esse tipo de superfície funciona como regulador térmico ao absorver grande quantidade de energia, mas sem devolvê-la ao espaço de entorno. As superfícies onde ocorrem grande concentração de coberturas metálicas (Figura 29) (caso do bairro centro e

²⁵ João Pereira Santos é o fundador do Grupo Industrial João Santos, produtor do cimento Nassau e falecido em 2009.

adjacências) tendem a apresentarem maior acúmulo de energia na baixa atmosfera, considerando as características radiantes desse tipo de cobertura.

Figura 29 – Coberturas metálicas e de fibrocimento nas imediações da Avenida Frei Serafim (bairro Centro)



Fonte: arquivo do autor (2015)

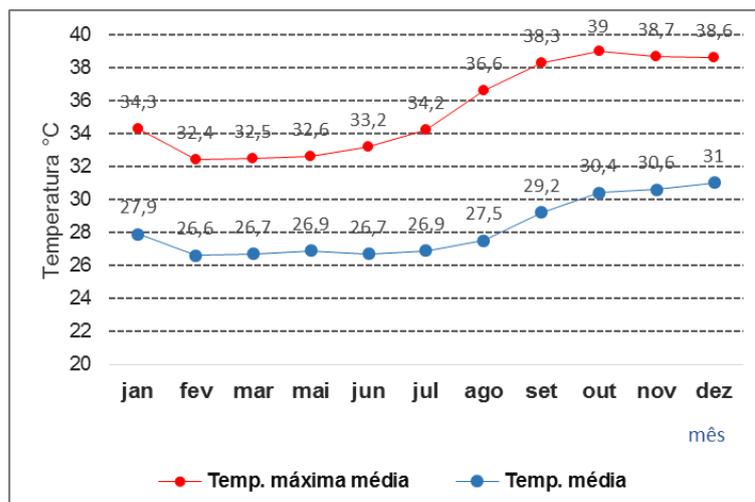
Os tipos de coberturas que predominam nos espaços urbanos são determinantes para o cômputo geral da temperatura de superfície, pois quanto mais alto o albedo e a emissividade dos materiais menor e quantidade de energia armazenada no entorno (FEREIRA e PRADO, 2003; SANT'ANNA NETO, 2011). Assim, conforme Ferreira e Prado (2003, p. 11):

A utilização de “materiais frios” aliadas à ampliação das áreas verdes é uma alternativa viável e com baixo custo, que pode ser implementada nas áreas urbanas e na construção de novos edifícios, como estratégia para contenção dos efeitos nocivos das Ilhas de calor.

Nessa perspectiva, e tendo em vista a abordagem sistêmica, que fundamenta o S.C.U. e este trabalho, a observação dessas orientações é imprescindível, considerando que as ilhas de calor são uma realidade na cidade Teresina, como evidenciado no trabalho de Araújo (2014).

Correlacionando o mapa termal de 2015 com a temperatura do ar no referido ano, e comparando com os anos anteriores, observa-se que dentre os três anos analisados, as temperaturas, tanto a superficial como a temperatura do ar, foram mais elevadas, como se observa no Gráfico 11.

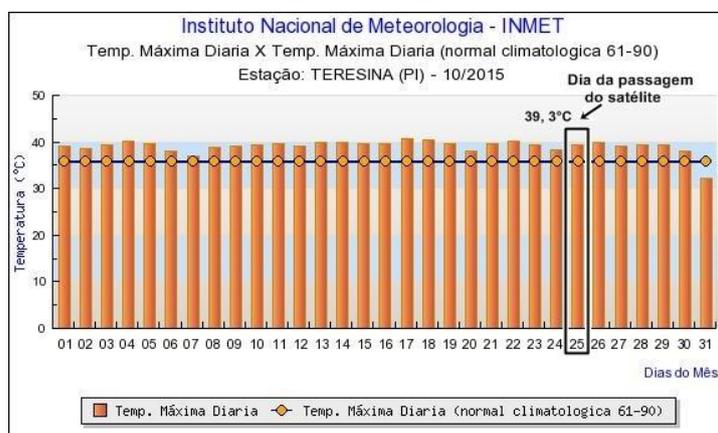
Gráfico 11 - Temperatura máxima e média para Teresina, ano de 2015



Fonte: elaboração do autor a partir dos dados do INMET.
Disponível em: www.inmet.gov.br. Acesso abril de 2016.

Como abordado nesse texto, a elevação das temperaturas para Teresina verificadas no segundo semestre faz parte da dinâmica natural do clima nessa cidade. No entanto, observando o Gráfico 11 observa-se que o ano de 2015 essa elevação foi considerável, ao se comparar com os dados do Gráfico 12, que mostra a variação da temperatura específica para o mês de outubro de 2015, com destaque para o dia da passagem do satélite. Com relação ainda ao dia da passagem do satélite e com base nos dados do INMET, para esse respectivo dia, a umidade relativa ficou em 52%, a velocidade média do vento ficou em 2,7 m/s, com um total de 10,4 horas de insolação

Gráfico 12 – Comparação da temperatura máxima diária (outubro de 2015) em relação à temperatura máxima diária (normal climatológica 1961-1990), para Teresina



Fonte: adaptado a partir dos dados do INMET. Disponível em: www.inmet.gov.br. Acesso abril de 2016.

Os dados do Gráfico 12 evidenciam que em praticamente todos os dias do mês de outubro de 2015, a temperatura máxima diária esteve acima da temperatura máxima diária da Normal Climatológica 1961-1990. No mapa termal do referido ano, a classe superior que representa os *pixels* de maior temperatura superficial ficou entre 46 e 52,5°C, mostrando sua influência sobre a temperatura do ar. Assim, quanto mais transformada a superfície, com alta densidade de áreas edificadas e solos expostos, maior será a temperatura superficial e, conseqüentemente, a temperatura do ar sobre essa área.

No que tange à presença de espaços livres e áreas verdes que podem amenizar as altas temperaturas na cidade, algumas iniciativas desencadeadas pelo poder público municipal, embora ainda incipientes e insuficientes merecem algumas considerações. Podem ser citadas aqui, para efeito de análise, a Lei nº3.563/2006²⁶, Lei nº3.903/2009 e Lei nº 4.632/2014, que abordam temáticas relativas à preservação do verde urbano e construção de espaços livres.

São iniciativas pertinentes, mas que precisam ser melhoradas, uma vez que, no geral, se resumem ao objetivo de “embelezar a cidade e preservar o meio ambiente” ou “transformar as áreas verdes em espaços agradáveis e humanizados” sem uma clara relação dessas áreas com sua função ambiental de amenidades térmicas. Para um resultado mais efetivo, primeiro é necessário uma conscientização coletiva, com dados objetivos e cientificamente construídos, explicando a função que as superfícies com vegetação desempenham no contexto dos microclimas urbanos de Teresina.

Outra iniciativa por parte do poder público municipal refere-se à construção do Parque Ambiental Lagoas do Norte, criado em 2013, em uma Zona de Proteção Ambiental da região Norte, compreendendo uma área de 25.867 km² entre os bairros Matadouro e São Joaquim (SANTOS e LIMA, 2015). A presença desse parque na Figura 25 (anteriormente exposta) pode ser visualizada em um polígono de temperaturas menos elevadas localizadas na direção noroeste do polígono que representa o aeroporto da cidade. Esse fato evidencia a importância da presença de

²⁶ Especificamente a Lei nº3.563/2006 “cria zonas de preservação ambiental, institui normas de proteção de bens de valor cultural e dá outras providências”. A Lei nº3.903/2009 “dispõe sobre a campanha permanente de incentivo à arborização de ruas, praças, jardins e demais áreas verdes da cidade”. Já a Lei 4.632/2014 “dispõe sobre a adoção de Áreas Verdes Públicas, no Município de Teresina, e dá outras providências”

superfícies com vegetação e lâminas d'água na cidade, tendo em vista sua condição climática.

Não obstante o trabalho de Santos e Lima (2015) tenha identificado impactos positivos após a construção do Parque Ambiental Lagoas do Norte, como a existência de áreas de lazer, melhoria da salubridade e infraestrutura do local, considera-se que ainda se constitui em intervenções pontuais, e que há muito tempo deveriam ter sido feitas, e não só na região Norte, mas em todas as outras, dada a complexidade socioambiental evidenciada nesta cidade.

As orientações da preservação ou implantação do verde urbano e áreas livres em Teresina remontam à época de desenvolvimento do PDLI, na década de 1960. Esse documento de “planejamento” recomendava na parte de paisagismo e recreação a:

Criação de áreas de recreação coletivas [...] Visa preencher uma lacuna na estrutura urbana local que não oferece oportunidades de entretenimento à população, em todos os níveis de idades. Deverá funcionar como um agente criador de **microclima** através da **densificação da vegetação** na área urbana em praças, parques, e nas próprias ruas, além das faixas de preservação florística ao longo dos rios que banham a cidade [...] O **sistema integrado** de recreação coletiva abrange **toda a cidade**, inclusive as zonas de **expansão urbana**. (PDLI, 1969, p. 74, grifo nosso)

Decorridos quase 50 anos do PDLI, essas orientações ainda são atuais. O documento é bem claro, pois reconhece a condição geográfica da cidade e propõem intervenções pertinentes, inclusive prevendo o crescimento urbano, uma vez que todo planejamento requer perspectivas de futuro. Agora, na realidade a situação se mostra, na quase totalidade, contraditória aos preceitos do que venha a ser uma cidade planejada. Existe(iu) um planejamento no discurso, mas a materialidade que se apresenta na cidade de Teresina vai de encontro às concepções que inicialmente são pensadas.

Após as discussões aqui apresentadas, embasadas nos produtos cartográficos obtidos e nas características da cidade, faz-se necessário um resgate acerca dos principais achados, direcionando-os às novas perspectivas de pesquisas ou desdobramentos dos mesmos, tendo em vista o caráter dinâmico do fenômeno urbano e as múltiplas possibilidades de abordagens para sua compreensão.

Dessa forma, desenvolveu-se o Quadro 6, que faz um apanhado geral dos principais itens trabalhados e os resultados obtidos.

Quadro 6 – Síntese das principais discussões e resultados obtidos

	Ano de 1985	Ano de 2001	Ano de 2015
% das classes de cobertura do solo	Vegetação preservada: 19,9 Vegetação alterada: 49,2 Solo exposto: 14,6 Área urbanizada: 14,7 Corpos de água: 1,6	Vegetação preservada: 12,2 Vegetação alterada: 35,3 Solo exposto: 12,7 Área urbanizada: 38,4 Corpos de água: 1,4	Vegetação preservada: 3,5 Vegetação alterada: 36,8 Solo exposto: 16,7 Área urbanizada: 40,6 Corpos de água: 2,2
Destaques da dinâmica urbana	Reflexo da construção dos conjuntos habitacionais nas regiões Norte, Sudeste e Sul; região Leste ainda com extensa cobertura vegetal.	A construção dos Shoppings Riverside Walk e Teresina Shopping impõe nova dinâmica na região Leste. Conjuntos habitacionais populares são construídos nessa região; na região Sul o destaque é para a ocupação da atual Vila Irmã Dulce, com grande alteração do espaço nessa área.	Grandes alterações na superfície urbana em todas as regiões da cidade: região Norte , com a construção do conjunto Jacinta Andrade; região Sul , construção de vários conjuntos habitacionais no Polo Sul; região Leste : avanço do perímetro urbano com os conjuntos Vale do Gavião e Árvores Verdes, além da construção de condomínios horizontais de alto padrão; região Sudeste : condomínio horizontal de alto padrão também presente nessa região, além da instalação de novos conjuntos habitacionais populares.
Classes de temperatura conforme a alteração na superfície	Inferior: <=34°C Superior: 42,2 a 51,7°C	Inferior: <=31,7°C Superior: 38,4 a 45°C	Inferior: <=39,7°C Superior: 46 a 52,5°C

Fonte: elaboração do autor (2016)

A partir das informações constantes no Quadro 6, infere-se que quanto mais alterada e maior a distribuição espacial dessas alterações, maior será o impacto

sobre a temperatura de superfície. Em Teresina, esta pesquisa mostrou que o avanço da fronteira urbana sobre as áreas rurais ocorre de forma desordenada, uma vez que não há um planejamento efetivo que ponha em cena a preservação ou criação necessárias das áreas verdes, bem como a adequação das edificações conforme as características do clima local. Com efeito, tem-se a piora da qualidade ambiental na cidade.

6 CONCLUSÕES

Considerando as condições da pesquisa e os resultados aqui apresentados, pôde-se chegar às conclusões seguintes. Ao longo de seus 164 anos, a cidade de Teresina transformou-se consideravelmente, passando de uma área urbana restrita a aproximadamente 20 km² em 1852, para uma superfície ocupada de mais de 250 km², e uma população que ultrapassa os 840.000 habitantes, na segunda década do século XXI. A dinâmica que produz a cidade, e que ao longo do tempo deixou marcas e reinventou outras, se reconfigura a cada momento, com o incessante movimento de transformação da sociedade, deixando seu reflexo na desorganização do espaço.

A expansão urbana em Teresina, marcada originalmente pela construção de conjuntos habitacionais destinados às classes menos favorecidas, deixou marcas visíveis no conforto ambiental da cidade. Essa dinâmica ainda continua, agora marcada também pelo surgimento de condomínios horizontais de alta padrão, nos quais a publicidade vende o contato com o verde e a convivência em espaços livres, que se constituem em novos refúgios às áreas mais adensadas.

O perímetro urbano avança cada vez mais sobre os espaços rurais em Teresina, consequência inerente ao processo de urbanização. No entanto, a maneira como se materializa esse processo na capital piauiense põe em xeque a qualidade ambiental nesta cidade. A zona rural, onde naturalmente predomina uma densidade maior de vegetação nativa, é velozmente incorporada ao espaço urbano com ampla transformação de sua superfície, que é substituída pelas áreas edificadas, e também grandes parcelas do solo são expostas à radiação direta.

As técnicas de geoprocessamento, centradas na interpretação de imagens de satélite, mostraram-se satisfatórias, considerando-se os objetivos pretendidos e os resultados obtidos. Com os mapas de cobertura do solo foi possível observar o processo de expansão urbana nas distintas regiões da cidade e os impactos que os tipos de cobertura trazem sobre a temperatura de superfície. As alterações na superfície decorrentes da urbanização foram mais intensas de 2001 a 2015 do que no período de 1985 a 2001, revelando uma dinâmica urbana cada vez mais rápida, que não é acompanhada por ações efetivas de melhoria da qualidade ambiental urbana pertinentes à complexidade urbana em Teresina.

Nos mapas termais, foi observado a correlação entre as classes que representam os *pixels* mais altos de temperatura superficial com as superfícies representativas das classes de área urbanizada e solo exposto. Por outro lado, nas superfícies urbanas que apresentam uma densidade maior de cobertura vegetal e lâminas d'água, houve menores valores de temperatura superficial, indicando a importância desses tipos de coberturas no contexto do clima das cidades.

A dinâmica do clima de Teresina, caracterizada, sobretudo, pelas altas temperaturas durante o ano todo, expõe a necessidade de se pensar a expansão urbana levando em conta essas características. Tomando-se como base a área urbana do município, que representa cerca de 17% do total, e a atual dinâmica da cidade, projeta-se que há uma tendência de piora do conforto ambiental, caso não seja repensado, de forma urgente, o modelo de crescimento urbano engendrado na capital piauiense.

As intervenções urbanas desenvolvidas pelo poder público ainda são insuficientes para corresponder a complexidade socioambiental em Teresina. Foi demonstrado que as superfícies com maior presença de vegetação e corpos de água desempenham um papel imprescindível no contexto do clima urbano. Então, a preservação ou criação desses espaços livres não se relaciona somente a questão da estética urbana. Ao contrário, em Teresina esses espaços representam uma necessidade e alternativa aos rigores térmicos reinantes, compreendendo elementos do complexo sistema clima urbano da cidade.

Para uma cidade que frequentemente recebe o adjetivo *planejada*, a expansão urbana desordenada, caracterizada pela supressão desenfreada da vegetação urbana, as características predominantes das edificações erguidas nesse espaço, e tantos outros exemplos, induzem a pensar até que ponto a cidade de Teresina foi (é) planejada. A resposta térmica das áreas mais adensadas mostra que os tipos de estruturas, que refletem em suas propriedades radiantes, não correspondem às mais adequadas para a realidade climática de Teresina.

Sobre o aspecto do planejamento urbano, ressalta-se que o mesmo exige, preliminarmente, um estudo multidisciplinar acerca do que é a cidade e o que se projeta pra ela, considerando suas especificidades atuais. A contradição é que esse estudo de planejamento já existiu para Teresina. O PDLI é considerado um estudo aprofundado, de boa cartografia pra época, e com projeções e orientações de

intervenções urbanas tecnicamente viáveis e racionais. Todas essas características foram pensadas e colocadas no papel, mas que, na prática, muito pouco se efetivou.

Portanto, Teresina hoje carece de um estudo mais objetivo, e permanente, que contemple a cidade nas suas singularidades, e na sua dinâmica, mas sobretudo, que possa ser colocado em prática. De nada adiantaria outro estudo amplo se sua efetividade não for exequível.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. M. de. **Relação entre uso e ocupação dos solos e variáveis climáticas**: estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Teresina: PRODEMA-UFPI, 2012, 105p.

ALVES, E. D.L.; VECCHIA, F. A. S. **Influência de diferentes superfícies na temperatura e no fluxo de energia: um ensaio experimental**. Revista *Ambiência*, v.8, n.1, Guarapuava-SP, p. 101-111, 2012.

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. Tese Doutorado em Geografia). São Paulo: USP/FFLCH, 2000, 322p.

_____. Clima urbano: estrutura térmica e ilhas de calor. In: AMORIM, M. C. C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. (orgs) **Climatologia urbana e regional**: questões teóricas e estudo de caso. 1 ed. São Paulo: Outras Expressões, 2013, pp. 191-220.

AMORIM, M. C. C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. (org.) **Climatologia urbana e regional**: questões teóricas e estudo de caso. 1 ed. São Paulo: Outras Expressões, 2013, 352p.

ANDRADE, C. S. P. **Representações do Calor em Teresina-PI**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Recife: Programa de Pós- Graduação em Geografia-UFPE, 2000, 174p.

_____. **A complexidade da natureza e a natureza complexa dos problemas ambientais contemporâneos**: pontos para reflexão. Revista de Geografia. UFPE: DCG/NAPA, v. 24, n.1, jan/abr, p. 35-46, 2007.

_____. **A climatologia da cidade de Teresina-PI**: as variantes topoclimáticas dos espaços livres. Tese (Doutorado em Geografia). Recife: Programa de Pós- Graduação em Geografia-UFPE, 2009, 229p.

_____. **Desafios do crescimento teresinense atual**. Teresina: Jornal O Dia (160 anos de Teresina), 2012, p. 277-283.

ARAÚJO, J. L. L. (coord.) et al. **Atlas escolar do Piauí**: geo-histórico e cultural. João Pessoa, PB: Grafset, 2006, 202p.

ARAÚJO, C. C. **Trilhas e estradas**: a formação dos bairros Fátima e Jockey Club (1960-1980). Dissertação (Mestrado em História do Brasil). Teresina: UFPI, 2009, 114p.

ARAÚJO, K. C. **Espaço urbano e climatologia**: ilhas de calor em evidência na cidade de Teresina-PI. Dissertação (Mestrado em Geografia) Teresina: PPGGEO-UFPI, 2014, 198p.

ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano no município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial**. Tese (Doutorado em Geografia). UFMG: Instituto de Geociências, 2010, 299p.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. 12 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, 332p.

BAPTISTA, G. M. M. Sensores imageadores na faixa do termal (8 - 14 μm). In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org.) **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. UNB: Brasília, 2012, pp. 47-56.

BARBOSA, L. G.; DORIGON, L. P. **Análise temporal da cobertura vegetal no município de Teresina/PI a partir da aplicação de NDVI**. In: Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia – CBC, Gramado, RS, 03 a 07 de agosto 2014. Disponível em: http://www.cartografia.org.br/cbc/anais_listagem_4_fotogrametria-e-sensoriamento-remoto.html. Acesso em fevereiro/2015.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. MEDEIROS, R. M. **Boletim Agrometeorológico de 2001 para o Município de Teresina-PI**. Teresina: Embrapa Meio Norte (Documentos 66), 2002.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. Tradução de Francisco M. Guimarães. 5 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2010, 325p.

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 – USP, volume 28, p.39-64, 2014.

CASTELO BRANCO, A. F. V. **A ação do Estado e do mercado imobiliário no processo de segregação sócioespacial em bairros da zona leste de Teresina**. Tese (Doutorado em Geografia). Rio Claro, SP: Instituto de geociências e ciências exatas, UNESP, 2012, 190p.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. **Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors**. *Remote Sensing of Environment*, n.113, 2009, p. 893-903.

CHAVES, S. V. V. **Vulnerabilidade às inundações em Teresina, Piauí**. Tese (Doutorado em Geografia). Rio Claro, SP: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, 2015, 227p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia: introdução**. São Paulo: Hucitec, 1979, 106p.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999, 236p.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C.; NASCIMENTO, F. H. **Uso de produtos de sensoriamento remoto para a classificação e análise de temperaturas de**

superfície no município de Vila Velha/ES (Brasil). GeoFocus. n. 13, p. 61-76, 2013.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. **Temperatura de superfície celcius do sensor TIRS/Landsat 8:** metodologia e aplicações. Rev. Geogr. Acadêmica, v. 7, n. 1, 2013, p. 31-45.

COLTRI, P. P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo:** análises de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), USP, 2006, 166p.

CONTI, J. B. **Clima e meio ambiente.** 6 ed. São Paulo: Atual, 2007, 88p.

CORREA, W. S. C.; COELHO, A. L. N.; VALE, C. C. **Influência de distintos sistemas atmosféricos na temperatura de superfície do município de Vitória (ES).** Caminhos de geografia, Uberlândia, v. 16, n. 53, 2015, p. 37-54.

COSTA, S. B. **Balances de Vorticidade e Energia aplicados aos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis atuantes no Oceano Atlântico Tropical Sul e adjacências.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia). São Paulo, SP: IAG, USP, 2009, 99p.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente.** Tradução de João Alves dos Santos. 8 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, 206p.

DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. C. T. **Estrutura térmica da superfície de Paranaíba/PR através do Landsat 7.** Caderno Prudentino de Geografia, n.35, v.2, 2013, p.110-129.

FAÇANHA, A. C. **A evolução urbana de Teresina:** agentes, processos e formas espaciais da cidade. Dissertação (Mestrado em Geografia). Recife: UFPE, 1998, 188p.

_____. **Gestão urbana e dilemas no poder local:** internidade e dispersão em Teresina (PI). Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, n.1, jan/abr, p. 77-97, 2001.

FEITOSA, S. M. R. **Alterações climáticas em Teresina-PI decorrentes da urbanização e supressão de áreas verdes.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Teresina: PRODEMA- UFPI, 2010, 112p.

FEITOSA, S. M. R. et al. **Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina – Piauí.** Revista REVSBAU, Piracicaba – SP, v.6, n.2, 2011, p.58-75.

FERREIRA, F. L.; PRADO, R. T. A. **Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em cobertura de edifícios no Brasil.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo: EPUSP, 2003, 12p.

FERREIRA, C. C. M.; ASSIS, D. C. O mapeamento do albedo e análise de sua influência na caracterização de microclimas de áreas urbanas. In: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S.; STEINKE, E. T. **Experimentos em climatologia geográfica**. Dourados, MS: Editora da UFGD, 2014, p.201-220.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos: 2008, 160p.

FLORENZANO, T. G. **Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso**. Revista de Geografia, USP, v. 17, p. 24-49, 2005.

_____. **Iniciação em sensoriamento remoto: imagens de satélite para estudos ambientais**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 100p.

FORTES, R. L. F. (coord.) **Perfil de Teresina: econômico, social, físico e demográfico**. Teresina: SEMDEC, 2010.

FREITAS, R. M. **Entre mitos e limites: as possibilidades e adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano**. Tese (Doutorado em Arquitetura). Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Arquitetura- UFRGS, 2005, 269p.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 7 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003, 243p.

GOUR, D.; SOUMEN, D.; SUJAN, S. **An application of remote sensing and GIS to analyze urban expansion and land use land cover change of Midnapore municipality, WB, India**. *International Research Journal of Earth Sciences*, v.2, n. 5, 2014, p.8-20.

HOLZ, S.; LORENA, R. B.; MARCHIORO, E. **O uso de sensoriamento remoto para análise do campo térmico da superfície urbana completa do município de Vitória (ES)**. Revista Geonorte, Edição Especial, v. 2, n. 4, 2012, p. 1674-1682.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 2 ed. Diretoria de geociências. IBGE: 2006, 91p.

_____. **Censo demográfico**. Coordenação de População e Indicadores sociais – COPIS. IBGE: 2010.

_____. **Estimativa da população**. Coordenação de População e Indicadores sociais – COPIS. IBGE: 2014.

_____. **Estimativa da população**. Coordenação de População e Indicadores sociais – COPIS. IBGE: 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Gráficos climatológicos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em abril/2015.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de José Carlos Neves Epiphânio (coord.). 2 ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2011, 598p.

KALLAS, L. M. E. **Desenhando com o clima e a vegetação**: um estudo de caso do loteamento HBB em Teresina- PI. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Brasília: UNB/IAU, 2008, 167p.

LANDSBERG, H. E. **O clima das cidades**. Revista de Geografia, USP, v. 18, p. 95-111, 2006.

LEITE, N. B. F. **Expansão urbana e seus efeitos sobre a mobilidade e acessibilidade avaliada com o auxílio dos sistemas de informação geográfica (SIG) em Teresina-PI**. Tese (Doutorado em Geografia). Minas Gerais: Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da UFMG – UFMG, 2013, 162p.

LIMA, P. H. G. **A ocorrência de Policentralidade em Teresina - PI**: a formação de um subcentro na região Sudeste. Tese (Doutorado em Geografia). Rio Claro: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”/ Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2011a, 204p.

LIMA, I. M. M. F. **O relevo de Teresina, PI**: compartimentação e dinâmica atual. In: Anais do IX Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia (IX ENANPEGE), Goiânia, 8 a 12 de outubro, 2011b.

_____. **Teresina: o relevo, os rios e a cidade**. Revista Equador (UFPI), vol. 5, n. 3 (Edição Especial 02), 2016, p.375-397.

LI, X.; ZHOU, W.; OUANG, Z. **Relationship between land surface temperature and spatial pattern of greenspace**: what are the effects of spatial resolution? *Landscape and Urban Planning*, v. 114, 2013, p. 1-8.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985, 244p.

LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G. Aplicações do sensoriamento remoto na geografia. In: VENTURI, L. A. B. (org.). **Praticando geografia**: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental. São Paulo: Oficinas de Textos, 2005, p. 33-54.

MASSON, V. et al. **Adapting cities to climate change: a systemic modelling approach**. *Urban climate*, v. 10, 2014, p. 407-429.

MEDEIROS, R. M. **Caracterização de mudanças climáticas por meio de séries meteorológicas para o município de Teresina/Piauí**. Revista Pernambucana de Tecnologia. Recife, v.2, n.2, p. 6-17, 2014.

MELO, C. C. C. J. **Expansão urbana do município de Teresina e as políticas habitacionais a partir de 1966**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). São Paulo: Mackenzie, 2009, 110p.

MELLO, M. A. R.; MARTINS, N. SANT'ANNA NETO, J. L. **A influência dos materiais construtivos na produção do clima urbano**. Revista brasileira de climatologia, 2009, p. 27-40.

MENDES, A. F.; SILVA, A. B; GONÇALVES, N. M. **Estimativa da temperatura da superfície da cidade de Feira de Santana-BA, a partir da imagem do satélite Landsat ETM⁺ - canal 6**. In: Anais do VII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica – SBCG, Rondonópolis-MT, 20 a 25 de agosto de 2006. Disponível em: <abclima.ggf.br/publicacoes.php>. Acesso em 04/2015.

MENDONÇA, F. **O clima e o planejamento urbano de cidade de porte médio e pequeno**: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. Tese (Doutorado em Geografia). São Paulo: USP, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 1995.

MENDONÇA, F.; PINHEIRO, G. M.; LIMA, N. R. **Clima urbano no Brasil**: análise e contribuição da metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. Revista Geonorte, Edição Especial 2, v.2, n. 5, 2012, p. 626-638.

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

MENDONÇA, F. O estudo do SCU – Sistema Clima Urbano – no Brasil: aplicações e avanços. In: MONTEIRO, C. A. F (org.); SANT'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F. A.; ZAVATTINI, J. A. **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. Campinas, SP: Alínea, 2015, p. 155-166.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org.) **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. UNB: Brasília, 2012, 266p.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (org.). **Clima urbano**. 2 ed. 1 reimpressão. São Paulo: Contexto, 2013, 192p.

MONTEIRO, A.; CARVALHO, V. Clima e planejamento regional. In: AMORIM, M. C. C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. (org.) **Climatologia urbana e regional**: questões teóricas e estudo de caso. 1 ed. São Paulo: Outras Expressões, 2013, p. 93-116.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise rítmica em climatologia**: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. Cadernos de Climatologia. IGEOG-USP, São Paulo, 1971.

_____. **Teoria e clima urbano**. Série Teses e Monografias, nº25. São Paulo: IGEOG-USP, 1976, 181p.

_____. **Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil.** GEOSUL, n. 9, Ano V, p.1-19, 1990a.

_____. **Adentrar à cidade para tomar-lhe a temperatura.** GEOSUL, n. 9, Ano V, p.61-79, 1990b.

_____. **A cidade como processo derivador ambiental e a geração de um clima urbano** – estratégias na abordagem geográfica. GEOSUL, n. 9, Ano V, p.80-114, 1990c.

_____. **O homem, a natureza e a cidade:** planejamento do meio físico. Revista Geografar. Curitiba, v. 3, n. 1, p. 73-102, jan./jun., 2008.

_____. **Teoria e clima urbano:** um projeto e seus caminhos. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (org.). **Clima urbano.** 2 ed. 1 reimpressão. São Paulo: Contexto, 2013, p. 9-67.

_____. **A climatologia geográfica no Brasil e a proposta de um novo paradigma.** In: MONTEIRO, C. A. F (org.); SANT'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F. A.; ZAVATTINI, J. A. **A construção da climatologia geográfica no Brasil.** Campinas, SP: Alínea, 2015, p-61-153.

MONTEIRO, C. A. F (org.); SANT'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F. A.; ZAVATTINI, J. A. **A construção da climatologia geográfica no Brasil.** Campinas, SP: Alínea, 2015, 194p.

MORAES, A. M. **Capacidade de uso da terra no município de Teresina:** elementos para uma política de conservação dos recursos naturais. Dissertação (Mestrado Desenvolvimento e Meio Ambiente). Teresina: PRODEMA/UFPI, 2004, 153p.

MOREIRA, E. B. M; GALVÍNCIO, J. D. **Espacialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM-Landsat 7.** Revista de geografia da UFPE, v. 24, n. 3, 2007, p. 101-115.

MOREIRA, E. B. M; NÓBREGA, R. S. **Uso de imagens multiespectrais aplicadas à análise espaço-temporal dos padrões de temperatura e albedo da superfície.** In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba-PR, 30 de abril a 05 de maio de 2011, p.0776-0782. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1177.pdf>. Acesso em fevereiro/2015.

MORIN, E. **Ciência com consciência.** Tradução de Maria D. Alexandre e Maria Alice Sampaio Dória. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 350p.

MOURA, I. R. **Arborização urbana:** estudo das praças do bairro centro de Teresina. Dissertação (Mestrado em Geografia). Rio Claro, SP: UNESP, 2010, 127p.

MOURA, M. O; THIERS, P. R. L. **Estimativa da temperatura da superfície urbana de Fortaleza utilizando imagem Landsat 5 TM.** In: Anais do IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica (Climatologia e gestão do território). Fortaleza, 26 a 30

de setembro de 2010. Disponível em <abclima.ggf.br/publicacoes.php>. Acesso em fevereiro/2015.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010, 387p.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. Vancouver: WMO/TD, report n. 81, 2006.

OLIVEIRA, D. A.; ROSA, R. **Temperatura de superfície obtida com técnicas de geoprocessamento**. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Foz do Iguaçu, PR, 13 a 18 de abril de 2013, p. 4153-4160. Disponível em <www.dsr.inpe.br/sbsr2013/>. Acesso em fevereiro/2015.

ORTIGOZA, S. A. G.; LOMBARDO, M. A. **No “clima” do consumo: implicação do consumo nas mudanças climáticas globais**. Rio Claro – SP: Divisa Gráfica e Editora, 2011, 87p.

PÁDUA, C. M. **Planejamento urbano em Teresina de 1969 a 2006**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). São Paulo: Mackenzie, 2006, 147p.

PAVÃO, V. M. et al. **Estimativa do albedo superficial através do geoprocessamento para o município de Humaitá – AM**. In: Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia – CBC, Gramado, RS, 03 a 07 de agosto 2014. Disponível em: <www.cartografia.org.br/cbc/anais_listagem_4_fotogrametria-e-sensoriamento-remoto.html>. Acesso em março/2015.

PÉREZ, J. C.; SÁNCHEZ, M. de los A. V; BARRADAS, V. **Clima, urbanización, y uso del suelo en ciudades tropicales de México**. Red Nacional de Investigación Urbana, Puebla, México, Ciudades 51, jul/set. 2001.

Plano de Desenvolvimento Local Integrado de Teresina (PDLI). Teresina: Coplan S.A., 1969.

POLIZEL, J. L. **Geotecnologias e clima urbano: aplicação de recursos de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na cidade de Piracicaba, SP**. Tese (Doutorado em Geografia). USP: Faculdade de filosofia, letras e ciências humanas, 2009, 154p.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. **Sensoriamento remoto: refletância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UNB; Planaltina: Embrapa cerrados, 2001, p-157-199.

PONZONI, F. J.; ZULLO JUNIOR, J.; LAMPARELLI, R. A. C. **Calibração absoluta de sensores orbitais: conceituação, principais procedimentos e aplicações**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2007, 68p.

Prefeitura Municipal de Teresina (PMT). **Teresina Agenda 2015: a cidade que queremos. Diagnósticos e cenários: meio ambiente**. Teresina: PMT, 2006.

_____. **Lei Complementar nº 3.563.** Cria zonas de preservação ambiental, institui normas de proteção de bens de valor cultural e dá outras providências. Teresina: PMT, 2006.

_____. **Lei nº 3.903.** Dispõe sobre a campanha permanente de incentivo à arborização de ruas, praças, jardins, e demais áreas verdes da cidade e dá outras providências. Teresina: PMT, 2009.

_____. **Lei nº 4.632.** Dispõe sobre a adoção de Áreas Verdes Públicas, no Município de Teresina, e dá outras providências. Teresina: PMT, 2014.

_____. **Teresina:** dinâmica populacional. Teresina: SEMPLAN, 2014.

_____. **Caracterização do município de Teresina.** Teresina: SEMPLAN, 2015.

_____. **Teresina:** perfil dos bairros. Teresina: SEMPLAN, 2015.

REIS FILHO, A. A dos. **Análise integrada por geoprocessamento da expansão urbana de Teresina com base no Estatuto da cidade:** estudo de potencialidades, restrições e conflitos de interesse. Tese (Doutorado em Geografia). Belo Horizonte, MG: Instituto de geociências, UFMG, 2012, 278p.

RODRIGUES, R. S. **Planejamento urbano em Teresina: análise das projeções de expansão urbana.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Teresina: PPGGEO-UFPI, 2013, 196p.

ROTH, M. **Review of urban climate research in (sub) tropical regions.** *Int. J. Climatology*, n. 27, 2007, p. 1859-1873.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Da climatologia geográfica à geografia do clima:** gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. *Revista da ANPEGE*, v. 4, 2008, p.51-72.

_____. **O clima como risco, as cidades como sistemas vulneráveis, a saúde como promoção da vida.** *Cadernos de geografia, Coimbra*, n. 30/31, p. 215-227, 2011.

_____. Escalas geográficas do clima: mudança, variabilidade e ritmo. In: AMORIM, M. C. C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. (orgs.) **Climatologia urbana e regional:** questões teóricas e estudo de caso. 1 ed. São Paulo: Outras Expressões, 2013, p. 75-91.

_____. As matrizes da construção da climatologia geográfica brasileira. In: MONTEIRO, C. A. F (org.); SANT'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F. A.; ZAVATTINI, J. A. **A construção da climatologia geográfica no Brasil.** Campinas, SP: Alínea, 2015, p.7-60.

SANTOS, L. A. LIMA, I. M. M. F. **Parque Ambiental Lagoas do Norte: saneamento e conservação do ambiente entre os bairros matadouro e São Joaquim, Teresina, Piauí, Brasil.** Caminhos de Geografia, Uberlândia, v.16, n.54, p. 224-238, 2015.

SHAMS, J. C. A.; GIACIMELI, D. C.; SUCOMINE, N. M. **Emprego da arborização na melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos.** REVSBAU, Piracicaba, v.4, n.4, p.1-16, 2009.

SAYDELLES, A. P. **Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria/RS.** Dissertação (mestrado em Geografia e Geociências). Santa Maria, RS: UFSM, 2005, 221p.

SILVA, C. F. **Caminhos bioclimáticos: desempenho ambiental de vias públicas na cidade de Teresina- PI.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Brasília: UNB, 2009, 155p.

SILVEIRA, A. L. R. C. **Parâmetros bioclimáticos para avaliação de conjuntos habitacionais na região tropical subúmida do Brasil.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Brasília: Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UNB, 2007, 312p.

Sistema. In: FERREIRA, A. B. H. **Mini Aurélio: o dicionário da língua portuguesa.** 8 ed. rev. atual., Curitiba, PR: Editora Positivo, 2010.

SOBREIRA, L. C. et al. **Expansão urbana e variações mesoclimáticas em João Pessoa (PB).** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 2, 2011, p. 125-138.

SORRE, M. **Objeto e método da climatologia.** Tradução de José Bueno Conti. Revista do Departamento de Geografia, n. 18, 2006, p. 89-94.

SRIVANIT, M; HOKAO, K. **Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: an application for the city of Bangkok, Thailand.** JARS, n.9, 2012, p. 83-100.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à climatologia.** São Paulo: Cengage Learning, 2011, 256p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat Project Description.** Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php>. Acesso em abril/2015.

VALE, C. C. **Teoria geral dos sistemas: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem.** *Entre-lugar*, Dourados, MS, ano 3, n. 6, 2012, p. 86-108.

VIANA, B. A. S. **Caracterização estratigráfica, química e mineralógica do massará e conflitos socioambientais associados a sua exploração em Teresina, PI, Brasil.** Tese (Doutorado em Geografia). Minas Gerais: Instituto de Geociências, UFMG, 2013, 212p.

VIANA, S. S. M. **Caracterização do clima urbano em Teodoro Sampaio/SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Presidente Prudente, SP: Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, 2006, 189p.

VIEIRA, A. O.; FAÇANHA, A. C. **Ocupação vila Irmã Dulce: uma experiência na luta urbana de Teresina (PI)**. In: Anais do XI Encontro Nacional da ANPEGE, Presidente Prudente, SP, 9 a 12 de outubro, p. 2428-2439, CD ROM, 2015.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. **Complete urban surface temperatures**. *Journal of Applied Meteorology*, v.36, p.1117-1132, 1997.

_____. **Thermal remote sensing of urban climates**. *Remote Sensing of Environment*, n.86, p. 370–384, 2003.

WALAWENDER, J. P.; HAJTO, M. J.; IWANIUK, P. **A new ArcGIS toolset for automated mapping of land surface temperature with the use of LANDSAT satellite data**. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (I GARSS), Munique, 22-27 July. IEEE International, 2012, p.4371-4374. Disponível em <http://ieeexplore.ieee.org>. Acesso em janeiro de 2016.

WENG, Q.; LU, D.; SCHUBRING, J. **Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies**. *Remote Sensing of Environment*, v. 89, p. 467–483, 2004.

WENG, Q. **Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling**. *Journal of Environmental Management*, n. 64, p. 273–284, 2002.

_____. **Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: methods, applications, and trends**. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, n. 64, p.335–344, 2009.

ZANELLA, M. E. **Inundações urbanas em Curitiba/PR: impactos, riscos e vulnerabilidade socioambiental no bairro Cajuru**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Curitiba, PR: UFPR, 2006, 256p.

ZANELLA, M. E.; MOURA, M. O. **O clima das cidades do Nordeste brasileiro: contribuições no planejamento e gestão urbana**. *Revista da ANPEGE*, v. 9, n. 11, p. 75-89, jan./jun. 2013.

ZAVATTINI, J. A. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009, 129p.

ZHIBIN, R. et al. **Estimation of the relationship between urban vegetation configuration and land surface temperature with remote sensing**. *J. Indian Soc. Remote Sens.*, v.43, n.1, 2015, p.89–100.

SÍTIOS CONSULTADOS:

www.abclima.ggf.br/publicacoes.php
www.cartografia.org.br/cbc/anais
<http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias>
www.dsr.inpe.br/sbsr2011
<http://earthexplorer.usgs.gov/>
www.ibge.com.br
www.ieeexplore.ieee.org
www.inmet.gov.br
www.inpe.gov.br
www.landsat.usgs.gov
www.semplan.teresina.pi.gov.br
teresinaantiga.com