



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

MARIO RODRIGUES PINTO DE SOUSA FILHO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO NA CIDADE DE QUIXADÁ COM
BASE NAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS (LCZ)**

FORTALEZA

2023

MARIO RODRIGUES PINTO DE SOUSA FILHO

ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO NA CIDADE DE QUIXADÁ COM
BASE NAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS (LCZ)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia. Área de concentração: dinâmica territorial e ambiental.

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

FORTALEZA

2023

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

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

S697e Sousa Filho, Mario Rodrigues Pinto de.

Estudo do comportamento térmico na cidade de Quixadá com base nas Zonas Climáticas Locais (LCZ) / Mario Rodrigues Pinto de Sousa Filho. – 2023.

120 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Maria Elisa Zanella.

1. Clima urbano. 2. Quixadá. 3. SIG. 4. Transecto móvel. 5. LCZ. I. Título.

CDD 910

MARIO RODRIGUES PINTO DE SOUSA FILHO

ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO NA CIDADE DE QUIXADÁ COM
BASE NAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS (LCZ)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia. Área de concentração: dinâmica territorial e ambiental.

Aprovada em: 31/08/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Maria Elisa Zanella (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dra. Gislaine Cristina Luiz
Universidade Federal de Goiás (UFG)

Prof. Dr. Jorge Ricardo Félix de Oliveira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Aos meus pais: Maria Auxiliadora (*in
memorian*) e Mario Rodrigues.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, pois foi a pessoa que sempre me incentivou nos estudos e, quando esteve em vida, me aconselhou por várias vezes tentar o mestrado. Infelizmente ela não verá seu filho com essa titulação, mas me sinto realizando um de seus desejos.

Ao meu pai, que sempre me incentivou a estudar e trabalhar.

À professora Dra. Maria Elisa Zanella, que confiou em mim na missão de elaborar este trabalho, na orientação, dicas e paciência, mesmo eu estando distante da academia por 12 anos. No passado eu não me via escrevendo uma dissertação devido esse afastamento acadêmico. Muito obrigado, professora.

Agradeço também à professora Dra. Marta Celina Linhares Sales, colega há vários anos, que sempre me incentivou a tentar o mestrado na Geografia da UFC, pois confiava no meu potencial.

Aos professores participantes da banca examinadora (Prof^a. Dra. Gislaíne Cristina Luiz, Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante e Prof. Dr. Jorge Ricardo Félix de Oliveira) pelas considerações e ideias que me auxiliaram na escrita da dissertação. Vocês esclareceram várias dúvidas minhas.

Aos colegas que foram comigo à Quixadá realizar os trabalhos de campo: Marília Damasceno, Augusto Reis, Emanuel Pereira e Bruna de Sousa. Sem vocês, a realização da pesquisa seria impossível, pois coletar dados primários é algo trabalhoso, mas compensador. Obrigado, de coração.

Ao Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos (LCGRH/UFC), onde pude trocar ideias e aprender com seus professores e demais integrantes.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), que financiou minha pesquisa por alguns meses.

Enfim, um trabalho desse porte é feito por várias mãos e direcionamentos, pois, como diria um famoso músico brasileiro: “nunca se vence uma guerra lutando sozinho”.

“É sempre mais fácil achar que a culpa é do outro.” (Raul Seixas - Por quem os sinos doam).

RESUMO

O surgimento da cidade causa transformação intensa da paisagem natural, e, conforme os elementos construtivos vão avançando sobre o espaço, impacta na sua morfologia e atmosfera. A urbanização produz diferentes paisagens e realidades climáticas em uma cidade, com temperatura e umidade diferentes daquelas de ambientes naturais. Isso acarretará no surgimento do clima urbano (com uma variedade de microclimas) e que, para estudá-lo, é necessário o entendimento da paisagem, pois, as suas diferentes escalas são fruto da relação entre as condições geológicas (meio natural) e condições geourbanas (morfologia da cidade e função) na cidade. Com o avanço do crescimento de ambientes urbanos, se fez necessário um olhar com maior atenção sobre o clima urbano (também em cidades no semiárido nordestino), no entendimento de sua gênese, seus efeitos na população e a formação de ilhas de calor, por exemplo. A cidade de Quixadá passa por esse processo de crescimento ao longo do tempo, conta hoje com a maior população da região do Sertão Central cearense e, pelos elementos que a constituem, já apresenta diferentes microclimas em seu interior, por isso a importância do estudo de seu clima urbano e investigação da existência de ilhas de calor. Assim, ao longo dos capítulos será analisado o comportamento térmico do ar na cidade de Quixadá através da metodologia de classificação das paisagens denominada Zonas Climáticas Locais (LCZ). Foi feita uma abordagem de como o SIG (Sistema de Informações Geográficas) é uma ferramenta importante na climatologia, a importância do entendimento da paisagem na concepção das LCZ, a geração das zonas climáticas e a realização de transectos móveis para coleta da temperatura do ar. Para a análise do clima urbano de Quixadá, houve a junção entre a elaboração das LCZ e o registro da temperatura do ar através dos transectos móveis (para validar as zonas climáticas) no período chuvoso e seco. Através dessa junção, foi analisado o campo térmico da cidade, mostrado pelas fichas técnicas de cada LCZ, figuras, mapas e gráficos, cujo resultado foi a identificação das ilhas de calor no ambiente urbano. Ao fim, são apresentados os principais resultados e sugeridas medidas que atenuem a temperatura na cidade, trazendo um maior conforto térmico para a população.

Palavras chave: clima urbano; Quixadá; SIG; transecto móvel; LCZ.

ABSTRACT

The emergence of a city causes intense transformation of the natural landscape, and, as the construction element advances over the space, it impacts its morphology and atmosphere. The urbanization produces different landscapes and climate realities in a city, with temperature and humidity different from those in natural environments. This will result in the emergence of urban climate (with a variety of microclimates) and, to study this, it is necessary to understand the landscape, as its different scales are the result of the interaction between geo ecology (natural set) and geo urbanism (city morphology and function) in the city. With the advance growth of urban environments, a greater attention has been needed on urban climate (also in semiarid cities in the northeastern), in understanding its genesis, its effects on the population and formation of heat islands, for instance. The city of Quixadá goes through this process of growth over time, it has the largest population of the Sertão Central region and its elements present different microclimates, for this reason, the importance of studying its urban climate and investigating the existence of heat islands. Thus, throughout the chapters will be observed the thermal behavior of the air in the city of Quixadá through the classification method named Local Climate Zones (LCZ). There was an approach on how GIS (Geographical Information System) is a crucial tool in climatology, the importance of understanding the landscape in the design of LCZ, the generation of the climate zones and conduct of mobile transects for temperature measurement of the air. As for the analysis of urban climate of Quixadá, there was the combination between the creation of LCZ and the air temperature registration through mobile transects (to validate the climate zones) in the rainy and dry seasons. Through this combination, it was analyzed the thermal field of the city, shown by LCZ technics file, figures, maps and charts, whose result was the identification of heat islands in the urban environment. At last, there are presented the main results and suggested some measures to reduce the temperature of the city, bringing greater thermal comfort for the population.

Keywords: urban climate; Quixadá; GIS; mobile transect; LCZ.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da sede municipal de Quixadá.....	18
Figura 2 – Escalas climáticas horizontais urbanas e camadas verticais.....	22
Figura 3 – LCZ e suas classes.....	31
Figura 4 – Resumo para digitalização de TAs no Google Earth Pro.....	37
Figura 5 – Áreas de treinamento para obtenção das LCZ.....	38
Figura 6 – Exemplos de classes em Quixadá.....	38
Figura 7 – Mapa LCZ com classes e arquivo raster gerado pós classificação.....	39
Figura 8 – Acurácias após análise das TAs pelo LCZ Generator.....	40
Figura 9 – Transectos, eventos e qualidade dos dados.....	43
Figura 10 – Mapa do transecto móvel realizado.....	44
Figura 11 – Abrigo para sensor do termohigrômetro.....	45
Figura 12 – Início do séc. XX e 2022. Igr. Sag. Cor. de Jesus em destaque.....	49
Figura 13 – População, PIB e IDH dos municípios do Sertão Central.....	50
Figura 14 – Visão geral da geomorfologia e vegetação próxima da cidade.....	51
Figura 15 – Cobertura e uso da terra em 2021.....	52
Figura 16 – Comparativo de desvios percentuais de precipitação.....	54
Figura 17 – Comportamento da ZCIT durante o ano.....	56
Figura 18 – Distribuição espacial da pluviometria de Quixadá em 2022.....	58
Figura 19 – Fotos panorâmicas da Praça do Leão com pouca arborização.....	60
Figura 20 – Fluxo intenso de veículos na parte central da cidade.....	61
Figura 21 – Mapa das Zonas Climáticas Locais na cidade de Quixadá.....	62
Figura 22 – LCZ da sede urbana de Quixadá e suas taxas de ocupação.....	63
Figura 23 – Pedra do Cruzeiro, um dos inselbergs na cidade de Quixadá.....	64
Figura 24 – Distribuição espacial da LCZ 2 ₃	65
Figura 25 – Ficha técnica da LCZ 2 ₃	66
Figura 26 – Distribuição espacial da LCZ 3.....	67
Figura 27 – Ficha técnica da LCZ 3.....	68

Figura 28 – Distribuição espacial da LCZ 5.....	69
Figura 29 – Ficha técnica da LCZ 5.....	70
Figura 30 – Distribuição espacial da LCZ 6.....	71
Figura 31 – Ficha técnica da LCZ 6.....	72
Figura 32 – Distribuição espacial da LCZ 7.....	73
Figura 33 – Ficha técnica da LCZ 7.....	74
Figura 34 – Distribuição espacial da LCZ 8.....	75
Figura 35 – Ficha técnica da LCZ 8.....	76
Figura 36 – Distribuição espacial da LCZ 9.....	77
Figura 37 – Ficha técnica da LCZ 9.....	78
Figura 38 – Distribuição espacial da LCZ B.....	79
Figura 39 – Ficha técnica da LCZ B.....	80
Figura 40 – Distribuição espacial da LCZ C.....	81
Figura 41 – Ficha técnica da LCZ C.....	82
Figura 42 – Distribuição espacial da LCZ D.....	83
Figura 43 – Ficha técnica da LCZ D.....	84
Figura 44 – Distribuição espacial da LCZ F.....	85
Figura 45 – Ficha técnica da LCZ F.....	86
Figura 46 – Distribuição espacial da LCZ G.....	87
Figura 47 – Ficha técnica da LCZ G.....	88
Figura 48 – Imagens GOES 16 às 17:30h (à esquerda) e 19:40h (à direita).....	90
Figura 49 – Imagem GOES 16 às 05:00h.....	91
Figura 50 – Imagem GOES 16 às 19:40h.....	92
Figura 51 – Imagem GOES 16 às 05:00h.....	92
Figura 52 – Imagem GOES 16 às 19:40h.....	93
Figura 53 – Imagem GOES 16 às 05:00h e mapa de precipitação.....	94
Figura 54 – Imagem GOES 16 às 19:40h.....	95
Figura 55 – Imagem GOES 16 às 05:00h.....	96
Figura 56 – Mapa da temperatura do ar: transecto manhã período chuvoso.....	98

Figura 57 – Mapa da temperatura do ar: transecto noite período chuvoso.....	99
Figura 58 – Mapa da temperatura do ar: transecto manhã período seco.....	100
Figura 59 – Mapa da temperatura do ar: transecto noite no período seco.....	101
Figura 60 – Temperaturas com intervalos iguais em cada transecto.....	102
Figura 61 – Amplitudes térmicas entre os períodos do ano e turnos do dia.....	107
Figura 62 – Ranqueamento entre as LCZ de maior e menor média térmica.....	108
Figura 63 – Ranqueamento entre as LCZ de maior temperatura.....	109
Figura 64 – Ranqueamento entre as LCZ de menor temperatura.....	110
Figura 65 – Distribuição das classes 2 ₃ , 3, 7 e 8 na cidade.....	111
Figura 66 – Exemplo de expansão urbana: bairro Planalto Renascer.....	112
Figura 67 – Pontos do transecto que apresentam ilhas de calor.....	112
Figura 68 – Quadro síntese: temperaturas, bairros e ilustração de cada LCZ.....	114

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – F1 metric (acurácias por cada LCZ).....	40
Gráfico 2 – Média da precipitação mensal da cidade de Quixadá.....	57
Gráfico 3 – Temperatura do ar na manhã do período chuvoso.....	103
Gráfico 4 – Temperatura do ar na noite do período chuvoso.....	103
Gráfico 5 – Temperatura do ar na manhã do período seco.....	104
Gráfico 6 – Temperatura do ar na noite do período seco.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAN	Anticiclone do Atlântico Norte
AAS	Anticiclone do Atlântico Sul
BDIA	Banco de Dados de Informações Ambientais
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CDU	Camada de Dossel Urbano
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CLP	Camada Limite Planetária
CLR	Camada Limite Rural
CLU	Camada Limite Urbana
DSA	Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LCZ	<i>Local Climate Zones</i> (Zonas Climáticas locais)
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NEB	Nordeste Brasileiro
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto

ROI	<i>Region of Interest</i>
SCU	Sistema Clima Urbano
SIG	Sistema de Informações Geográficas
TAs	Áreas de Treinamento
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
TST	Temperatura de Superfície Terrestre
UHI	<i>Urban Heat Islands</i>
UTZ	Zonas de Terrenos Urbanos
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
VCAS	Vórtices Ciclônicos de Ar Superior
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	A utilização do SIG em estudos de clima urbano.....	26
2.2	A paisagem na concepção das LCZ.....	28
2.3	Transectos móveis em estudos de clima urbano.....	32
3	METODOLOGIA DA PESQUISA: GERAÇÃO DAS LCZ E AQUISIÇÃO DE REGISTROS DA TEMPERATURA DO AR	34
3.1	LCZ Generator como ferramenta de classificação da paisagem.....	35
3.2	Aquisição de dados de temperatura do ar através de transectos móveis.....	41
4	CONDIÇÕES GEOECOLÓGICAS DO SÍTIO URBANO	47
4.1	Informações gerais sobre Quixadá.....	48
4.2	Características geoecológicas.....	50
4.3	Regime de precipitação e dinâmica atmosférica no Ceará.....	53
4.4	Características climáticas do município.....	56
5	RESULTADOS: AS DIFERENÇAS TÉRMICAS NA CIDADE DE QUIXADÁ E ILHAS DE CALOR	59
5.1	Caracterização das LCZ na cidade de Quixadá.....	60
5.1.1	<i>Condições geourbanas em cada zona climática</i>	62
5.2	O campo térmico da cidade de Quixadá a partir de transectos móveis	88
5.2.1	<i>Condições sinóticas nos dias das medições</i>	89
5.2.2	<i>Comportamento da temperatura na cidade e as ilhas de calor</i>	96
6	CONCLUSÕES	115
	REFERÊNCIAS	117

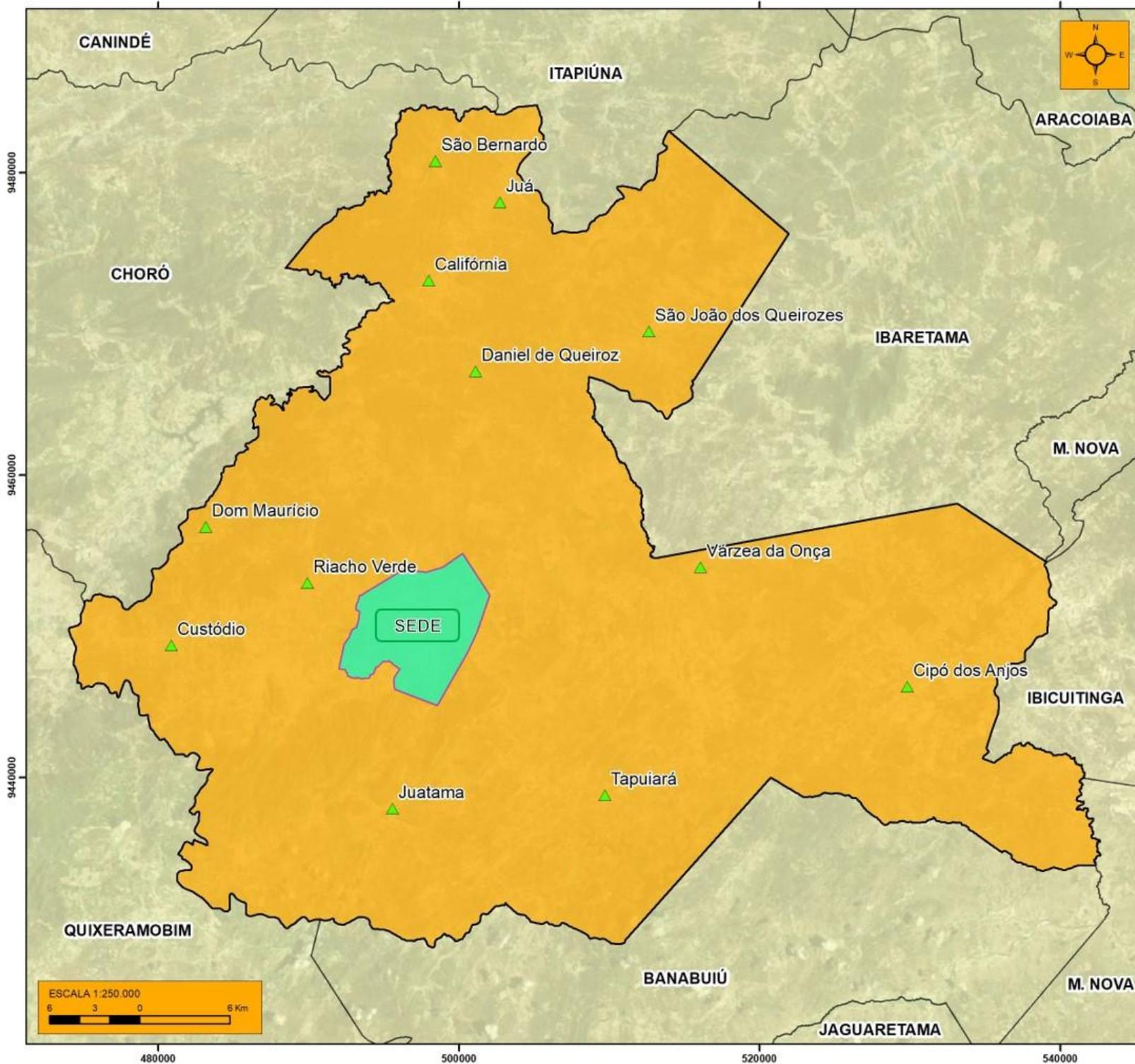
1 INTRODUÇÃO

Embora ocupando pequenas parcelas do território, a cidade constitui uma forma de transformação intensa da paisagem natural, cujo impacto se associa tanto às alterações da morfologia do terreno, quanto às modificações do ambiente e da atmosfera (GARCIA, 1995; MONTEIRO e MENDONÇA, 2011) e, conforme a ocupação das cidades vai avançando e a configuração espacial se transformando, os elementos estruturais/construtivos vão se sobrepondo aos elementos naturais.

Essa transformação cria a estrutura urbana, com os diferentes tipos de uso do solo, as funções desenvolvidas na cidade e as condições topográficas, resultando em efeitos térmicos específicos nos espaços intraurbanos que é dado pelo grau de reflexão e absorção provenientes dos tipos de conjuntos de características existentes (MONTEIRO; MENDONÇA, 2011), gerando um clima específico que difere do clima dos ambientes naturais.

Dentre as modificações climáticas evidenciadas, uma é a elevação da temperatura do ar, o que repercute em condições de desconforto térmico humano, principalmente nas cidades tropicais, já naturalmente quentes pela sua localização geográfica, repercutindo no bem-estar e qualidade de vida dos seus moradores.

Isso é evidenciado no espaço urbano de cidades como Quixadá (figura 1 a seguir), com diversos tipos de usos do solo, urbanização intensificada, pavimentação cada vez mais baseada em asfalto, redução dos sistemas hídricos pelo aterramento para a construção civil e supressão da cobertura vegetal original, contribuindo para a formação de um clima urbano.



LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE QUIXADÁ e sede municipal

Ceará em relação ao Brasil



Quixadá em relação ao Ceará



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Oceano Atlântico
- Estados brasileiros
- Estados do Nordeste
- Município de Quixadá
- Municípios cearenses
- Sede municipal
- Sedes distritais

Projeção: sistema de coordenadas planas UTM
 Datum: Sirgas 2000 - Zona 24 S
 Fonte dos dados: divisas dos estados: IBGE
 Limites municipais do Ceará (IPECE 2019)
 Sede municipal de Quixadá: Prefeitura Municipal de Quixadá
 Elaborado pelo autor

Essa característica urbana de Quixadá dita no parágrafo anterior é um reflexo do crescimento de cidades distantes das metrópoles, que já acontece há alguns anos no Ceará, e, sobre a supressão vegetal, é possível notar em Sobral, que “no espaço intraurbano as áreas verdes dos sistemas fluviais e lacustres seguem o mesmo ritmo acelerado de degradação, promovida pelas atividades de especulação imobiliária, principalmente na última década” (MESQUITA et al., 2017, p. 2594).

Somado ao espaço urbano, existe a questão de o município estar inserido no semiárido nordestino, onde as temperaturas são elevadas, a umidade chega nos menores índices durante a primavera (INMET, 2020) e as precipitações são mal distribuídas anualmente, concentradas em sua maior parte entre os meses de fevereiro e maio.

Este comportamento da dinâmica climática, aliada à produção do espaço faz com que o microclima na sede urbana de Quixadá tenha características higrotérmicas (temperatura e umidade) desfavoráveis ao conforto térmico o ano inteiro, havendo o surgimento de ilhas de calor.

Essa modificação da paisagem e diferenciação térmica intraurbana faz com que, nos estudos sobre clima urbano, seja necessário compreender a estrutura das cidades (espaçamento entre as edificações e largura de suas vias), a cobertura da sua superfície (vegetada ou pavimentada), seu tecido (construção e materiais naturais) e o seu metabolismo¹ (calor e poluentes) (OKE, 2004).

Considerando o exposto, a presente pesquisa teve como **objetivo geral** analisar o comportamento térmico do ar da sede urbana do município de Quixadá utilizando o sistema de classificação das paisagens denominado “Local Climate Zones” (LCZ), ou Zonas Climáticas Locais. Os **objetivos específicos** buscam evidenciar a ocorrência das ilhas de calor urbano através da obtenção da temperatura do ar nos períodos chuvoso e seco, a comparação dos registros das temperaturas com as LCZs geradas a fim de validar tais zonas climáticas e a proposição de melhoria da sensação do conforto térmico (além de outras melhorias ambientais) através de intervenções no sentido de amenizar os efeitos do clima urbano da cidade.

¹ De acordo com Ostachevski, Pagani e Pietrovski (2020), as cidades podem ser comparadas metaforicamente a organismos vivos, consumindo recursos e excretando resíduos durante seu processo de construção.

Para o alcance dos objetivos da pesquisa, foram necessários seguir alguns passos. O primeiro deles foi definir as LCZ da sede de Quixadá através de um classificador automático elaborado por Demuzere, Kittner e Bechtel (2021), baseando-se na proposta de Stewart e Oke (2012) sobre a divisão de classes num ambiente. Esta parte será apresentada no capítulo 3.

O segundo passo foi a realização de trabalhos de campo para coleta da temperatura do ar. Ela foi obtida através de transectos móveis em dois momentos distintos no ano: período chuvoso (primeiro semestre do ano, no mês de maio) e período seco (segundo semestre do ano, no mês de novembro), com o intuito de comparar o campo térmico da sede de Quixadá em tempos distintos no ano. Os horários das coletas foram no início da manhã e início da noite. Os registros da temperatura do ar serviram para validar as LCZ e detectar os locais que apresentaram ilhas de calor. Detalhes sobre este processo foram descritos no capítulo 3.

Determinadas as zonas climáticas locais e realizados os registros da temperatura do ar, o terceiro momento da pesquisa foi compilar as fichas técnicas detalhando as condições geourbanas em cada LCZ (adaptadas com base em Oke (2012)), os mapas das temperaturas em cada ponto nos transectos, seus gráficos (gerando o perfil térmico da cidade), amplitudes térmicas entre os turnos, períodos do ano e entre as LCZ, além da detecção dos locais que apresentaram as ilhas de calor. Esta parte foi debatida nos resultados, no capítulo 5.

As sugestões de medidas que contribuem para atenuar a sensação de desconforto térmico na cidade na população também foram apresentadas nas conclusões da pesquisa (capítulo 6).

O trabalho contido nas páginas seguintes é uma forma de entendimento do clima urbano não somente nas metrópoles, mas também em cidades médias e que estão inseridas no Semiárido nordestino.

2

REFERENCIAL TEÓRICO

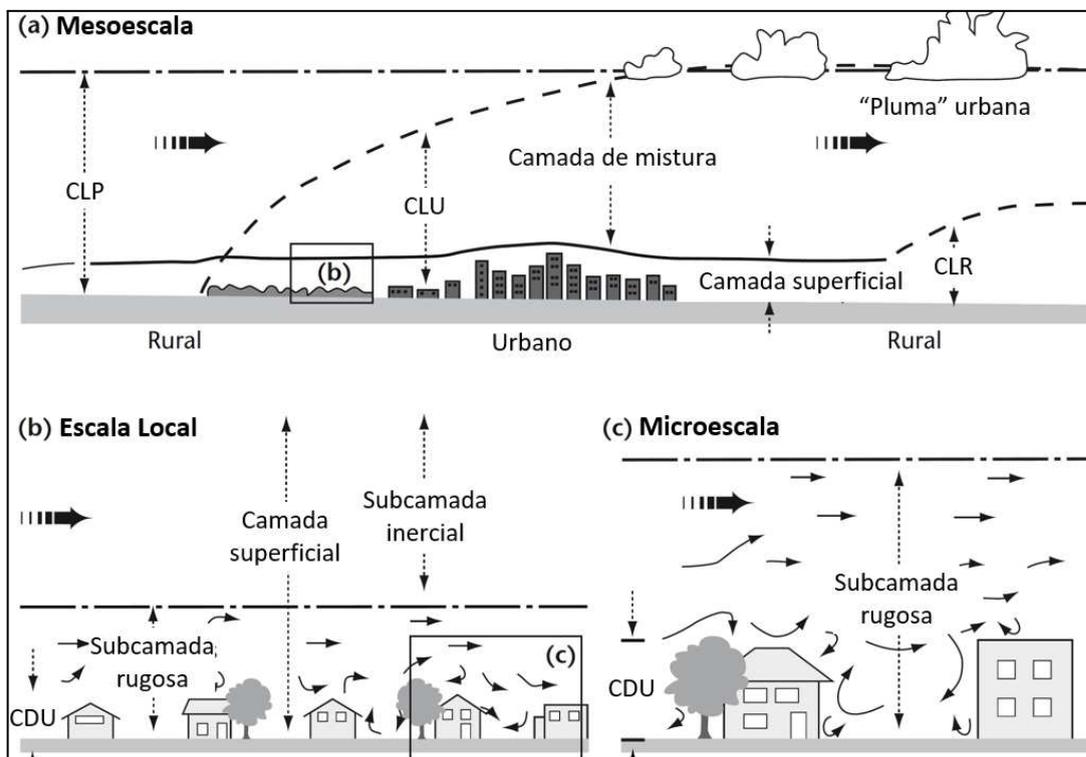


A análise do comportamento térmico do ar na sede urbana de Quixadá se deu na perspectiva do Sistema Clima Urbano (SCU), no subsistema termodinâmico de Monteiro (1976, 1990, 2003). Além deste subsistema, Monteiro abrange o estudo do clima urbano também na percepção hidrometeorológica (impactos meteorológicos, ou tipos de precipitação) e físico-química (qualidade do ar).

O SCU dá uma conotação de ritmo climático, como algo não estável, que se transforma em um dia (mudanças de tempo atmosférico), em alguns meses (estações do ano) ou ao longo dos anos (transformação do tipo climático em alguns locais ou paleoclimas).

Sendo o clima algo dinâmico, que envolve trocas energéticas e complexas, o surgimento dos centros urbanos (principalmente aqueles onde ocorre uma expansão desordenada) modificou a atmosfera das cidades ao longo do tempo, e que pode ser em diferentes camadas, como mostra a seguir o esquema feito por Oke (2006).

Figura 2 - Escalas climáticas horizontais urbanas e camadas verticais²



Fonte: Caneppele (2018), adaptado de Oke (2006).

As camadas, de acordo com Oke (1976), podem variar de escalas de compreensão, indo desde a camada do dossel urbano - CDU (que se estende da

² Camada Limite Planetária (CLP), Camada Limite Urbana (CLU), Camada Limite Rural (CLR) e Camada de Dossel Urbano (CDU).

superfície até o nível médio das coberturas das edificações, onde seu clima é determinado pela geometria do local e materiais construtivos), passando pela camada de limite urbana - CLU (logo acima da CDU), até a camada limite planetária - CLP (local onde ocorrem as trocas de energia entre a superfície e a baixa atmosfera, por volta de 1km de altura).

Essas diferentes escalas do clima urbano são fruto de uma relação íntima entre as condições geoecológicas (meio natural ou sítio) e as condições geourbanas, (morfologia da cidade, composta pelo tráfego de pessoas e veículos, tipos de edificações, uso do solo, etc, além e sua função). Essa relação se transforma em um ambiente tridimensional, euclidiano, e é a forma que o clima urbano deve ser melhor observado (MONTEIRO, 1990).

A urbanização cria diferentes realidades microclimáticas, com áreas de diferentes higrotermias, níveis de poluição, ou o surgimento das ilhas de calor no nível da camada do dossel urbano (OKE, 1976, p.274), que podem ser detectadas nos estudos na perspectiva monteiriana, no subsistema termodinâmico.

Ynoue et al. (2017, p.129) explica que as ilhas de calor são anomalias térmicas onde o ar da cidade se torna mais quente do que o seu entorno, causadas principalmente pela redução de áreas verdes (que diminui o resfriamento dos locais), construção de prédios mais altos e ruas estreitas (causando o aprisionamento do ar quente), emissão de calor por veículos e outros equipamentos (calor antropogênico), além da poluição atmosférica (radiação terrestre mais absorvida).

Os tipos de materiais construtivos mais comuns também contribuem para a geração das ilhas de calor em áreas urbanas e suburbanas, pois eles absorvem e retêm mais o calor do sol do que aqueles materiais naturais (GARTLAND, 2010, p. 9). Edificações cobertas por telhas de fibrocimento ou alumínio tendem a permanecer mais quentes que as cobertas por telha cerâmica, pois, possuem menor albedo e absorvem mais radiação, transmitindo mais calor para seu entorno (MELLO, MARTINS e SANT'ANNA NETO, 2009, p.31).

O tipo de pavimentação também é fator que potencializa as ilhas de calor, principalmente o uso do asfalto, pois ele possui um baixo albedo e maior estocagem de energia, que é liberada no período vespertino e noturno. O asfalto tem maior efusividade térmica (capacidade de absorção de energia) se comparado à locais que

se resfriam mais rapidamente, como solos descobertos ou vegetados (CALLEJAS, DURANTE e ROSSETI, 2015, p.71).

Mesmo em locais onde não há arborização, mas a pavimentação é feita com terra batida, possuem temperaturas do ar menores e umidade relativa do ar maiores do que em locais onde há uma certa arborização, mas a pavimentação é feita por asfalto, como mostra Barboza, Alencar e Alencar (2020) na cidade de Missão Velha (CE), em que, nos locais de solo exposto e sem arborização, a umidade do ar ficou em média 54,5% pela manhã e 47,9% pela tarde, enquanto a temperatura do ar pela manhã teve média de 32,2°C e pela tarde de 33,3°C. Já nos locais mais arborizados mas com pavimento asfáltico, a umidade pela manhã teve média de 53,2% e pela tarde de 43,9%; já a temperatura se comportou entre 32,5°C em média pela manhã e 33,9°C pela tarde.

Uma das formas de atenuar as ilhas de calor é a adoção de pavimentos frescos, deixando-os mais claros através de pigmentos em sua composição (elevando o albedo e reduzindo o armazenamento de energia solar) ou aumentando sua capacidade de armazenar e evaporar água (GARTLAND, p.105). A implementação do concreto poroso, piso intertravado e implantação de cobogamas (NETO, 2015) e se for possível aumentar o número de edificações com coberturas feitas com telha cerâmica, são exemplos de elementos construtivos que ajudam a reduzir os efeitos das ilhas de calor .

As ilhas de calor podem ser detectadas no início da noite, pois, conforme Amorim et al. (2009), este é o melhor período para sua detecção e a tomada da temperatura na cidade na perspectiva de análise destas:

Entre 20:00h e 20:45h, por se tratar do horário mais adequado para a medição de ilhas de calor no mundo tropical, uma vez que as temperaturas do ar não experimentam mudanças rápidas e com o pôr do sol, os materiais construtivos liberam o calor conservado. (AMORIM et al., 2009, p. 8).

Além disso, as ilhas de calor são mais intensas em dias claros e calmos, sendo mais fraca em dias nublados e com ventos, pois, a energia solar é captada em maior quantidade em dias claros, além do vento mais brando remover o calor de forma mais lenta, fazendo com que a ilha de calor seja mais presente (GARTLAND, p.18).

Dada à essa realidade nos grandes centros urbanos, exemplos de estudos sobre o clima urbano no Brasil foram feitos por Lombardo (1985), na cidade de São Paulo, realizando transectos em diferentes locais de uso e ocupação do solo, além de coleta de dados pontuais, detalhando assim o comportamento térmico do ar na cidade e seu ritmo. Já Magalhães Filho (2006) analisa o clima urbano em Belo Horizonte na perspectiva da distribuição espacial de suas ilhas de calor através de uma metodologia que as mensurasse e mostrasse suas intensidades.

Ainda sobre pesquisas em grandes centros urbanos, mas realizados na capital cearense, Moura (2008) faz uma pesquisa sobre o comportamento higrotérmico na cidade de Fortaleza através de dez locais, analisando a ocupação urbana, verticalização e caracterização dos diferentes microclimas, identificando ilhas de calor que ultrapassam os 5°C, se concentrando à sudoeste, oeste, noroeste e centro da cidade. Lima Júnior (2023) fez um diagnóstico do campo térmico na cidade de Fortaleza (indicando as áreas mais amenas e aquecidas) com o objetivo de indicar locais na cidade que necessitam de medidas mitigadoras dos efeitos térmicos adversos, principalmente no centro da cidade e Regional 1 (bairros à noroeste).

As ilhas de calor não ocorrem exclusivamente nos grandes centros urbanos, pois já existem pesquisas nessa temática em cidades médias no Brasil. Cardoso (2021) investigou as ilhas de calor em Presidente Prudente (SP) em bairros densamente edificadas, com baixas e médias elevações, e simulou estratégias para mitigação do calor nesses locais através do *software* ENVI-met, sugerindo a adoção de telhados e pavimentos reflexivos como estratégias de mitigação do calor urbano. Já PifferDorigon e Amorim (2017) analisaram o clima urbano da cidade de Paranavaí (PR) através dos diferentes usos do solo, utilizando o Sensoriamento Remoto na detecção da temperatura de superfície da cidade correlacionando-a com o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), detectando áreas que houve um aumento da temperatura devido supressão vegetal durante o crescimento urbano.

No Ceará, Mesquita et al. (2017) pesquisou sobre as variações térmicas do campo térmico em Sobral, realizando transectos móveis e fazendo uma análise estatística dos locais onde houve maior e menor contraste térmico, além de apontar as horas de maior desconforto (entre 12 e 15h). Estevão (2016) detectou núcleos de ilhas de calor no município de Juazeiro do Norte no período seco e chuvoso nos

anos de 1986, 1996 e 2010 através da mensuração da temperatura de superfície terrestre (TST) e evolução de áreas vegetadas através do NDVI.

Ainda sobre estudos no Ceará, Castro (2019) também utiliza a técnica da extração da TST para a cidade de Eusébio, chegando à conclusão de que a temperatura da superfície terrestre vem aumentando ao longo dos anos devido às novas formas de ocupação urbana. Brasileiro e Zanella (2021) foram outros pesquisadores que utilizaram a extração da TST para o município de Sobral, apontando as áreas com maiores temperaturas devido ao avanço da cidade e potenciais ilhas de calor.

2.1 - A utilização do SIG em estudos de clima urbano

Nos parágrafos anteriores foram citados estudos em clima urbano, onde estes utilizam técnicas para a análise de dados. Elas servem para auxiliar, mostrar e revelar a dinâmica dos elementos climáticos dentro da cidade, sendo realizadas dentro do ambiente SIG (ou Sistema de Informações Geográficas).

O SIG é composto por ferramentas computacionais utilizadas para elaboração de mapas temáticos (que aborda parâmetros específicos) através de análises complexas, integrando dados de diversas fontes, criando um banco de dados geo-referenciados. Assim, os elementos básicos de um SIG são “equipamentos (*hardware*), os aplicativos (*software*), o pessoal especializado (*peopleware*) e o banco de dados (*dataware*)” (SILVA, 2003 p.47).

Para a elaboração dos mapas, existem alguns *softwares*, podendo ser gerais ou específicos, e de uso livre ou que exigem licença. O SPRING geralmente é utilizado para classificação de imagens de satélites e é de uso livre. O ArcMap, desenvolvido pela ESRI (Environmental Systems Research Institute), possui uma diversidade de ferramentas para criação e edição de vetores, manipulação de imagens de satélites e suas diversas bandas, análises geoestatísticas, dentre outros, mas é necessário licença paga para sua utilização.

O Qgis é outro *software* de uso geral, que, assim como o ArcMap, possui diversas ferramentas, sendo de uso livre. Hoje ele é bem aceito por profissionais e órgãos que utilizam *softwares* SIG como ferramenta, pois os produtos feitos por ele têm boa qualidade e é possível trabalhar com um grande volume de dados.

Estes *softwares* irão possibilitar a utilização das técnicas que servem como ferramenta de análise em estudos de clima urbano. O NDVI, que se baseia na reflectância das folhas, é um exemplo de indicação de como o uso do solo esteja causando supressão vegetal para a expansão de áreas urbanas ao longo do tempo, por exemplo, podendo gerar alterações no microclima nesses locais.

Outra forma de utilização do SIG auxiliando o entendimento do clima urbano é na extração da TST a partir de imagens dos satélites Landsat e Sentinel (ambos mais utilizados). A tomada da temperatura da superfície terrestre identifica os locais mais e menos quentes da cidade, e, caso seja possível fazer um recorte temporal, mostrará a evolução da temperatura ao longo da produção urbana, sendo também mais uma técnica para identificar as ilhas de calor.

Importante lembrar que o NDVI e a extração da TST se além do Sensoriamento Remoto, no qual é a obtenção de dados da superfície terrestre (registro dos eventos, processos e fenômenos) sem contato físico, através de imagens obtidas por satélites ou aeronaves que possuem sensores embarcados, onde irão registrar as interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem o planeta (NOVO, 2010).

Sobre o SIG ter importância na climatologia, pode-se citar ainda a possibilidade da modelagem numérica nos *softwares* como o ENVI-met, IDRISI e os citados anteriormente, interpolação de diferentes dados atmosféricos, projeções climáticas, além da geração de estatísticas diversas.

Hoje, parte destes processos e análises podem ser feitas utilizando plataforma em nuvem, através de uma rede de servidores, agilizando a entrega de resultados. O exemplo é na geração das LCZ da cidade de Quixadá, assunto discutido mais adiante.

Assim, o SIG entrega uma possibilidade de análises no campo da Geografia e, mais precisamente, na climatologia focada no estudo do clima urbano. Foi devido ao uso do Sistema de Informações Geográficas que este estudo obteve parte dos resultados.

2.2 - A paisagem na concepção das LCZ

Vários autores e pesquisas citadas anteriormente possuem algo em comum: a compreensão do uso do solo nas cidades e sua diversificação paisagística. O estudo de Oke (2006) é um exemplo da dimensão de o quanto diferentes paisagens podem interferir na dinâmica climática nas suas diferentes escalas, como visto anteriormente na figura 2.

A paisagem faz parte da convivência humana desde seu início. seu conceito vem sendo formulado desde a antiguidade a partir de observações de artistas, poetas e pesquisadores, como Humboldt, no século XVIII, que fez referência à paisagem através dos aspectos da vegetação, clima e sua influência sobre os seres (MAXIMIANO, 2004, p. 85).

Mas ela vai além disso. A paisagem é uma determinada porção do espaço, resultado de uma combinação dinâmica de elementos físicos biológicos e antrópicos, que interagem dialeticamente, fazendo da paisagem um conjunto único e em perpétua evolução (BERTRAND, 2004, p. 141).

Essa dinâmica produziu (e produz) diferentes locais, criando espaços, à grosso modo, rurais e urbanos, a partir da interferência humana nos ambientes naturais. Um ambiente rural seria, basicamente, uma área pouco povoada, onde prevalece a atividade agrícola, sem grandes estruturas construídas, e com menos adensamento das edificações. Já o urbano, simplificando, seria o oposto: mais povoada, a atividade econômica seria mais diversificada (bens, serviços, indústrias, dentre outras), com grandes estruturas construídas e maior adensamento das edificações.

Devido à transformação espacial, econômica e social ao longo dos anos, a classificação da paisagem do que é “urbano” e “rural” está em desuso, ultrapassada, pois os efeitos urbanos já estão além das suas fronteiras (LOWRY, 1977, p.132). O uso da terra, capital e commodities fluem continuamente entre a cidade e o campo, além de diversas cidades serem descentralizadas de um grande centro. Nestas cidades, o urbano e o rural coexistem (STEWART e OKE, 2012).

Em estudos diversos, a paisagem pode ser dividida, classificada, possuindo diferentes objetivos, e, na análise do clima urbano, não é diferente. Uma cidade que possui diferentes usos do solo, edificações com diferentes alturas e materiais que as

constituem, possuirá diversos tipos de paisagens. Essa diversificação paisagística terá reflexo no balanço de radiação das cidades, fazendo com que a temperatura do dossel urbano seja mais quente do que a que está logo acima dele (STEWART e OKE, 2012, p.1880).

No passado, ocorreram pesquisas que tinham como objetivo a classificação das paisagens urbanas e rurais. Stewart e Oke (2012) elencam algumas delas: Chandler (1965), um dos pioneiros, Auer (1978), que propôs uma classificação urbano-rural, e Elefsen (1991), que criou um sistema de classificação a partir da geometria, configuração das ruas e materiais construtivos, chamado Zonas de Terrenos Urbanos (UTZ's) são alguns destes.

Dessa forma, pesquisas anteriores deram suporte para a elaboração da metodologia de classificação do uso do solo denominado Zonas Climáticas Locais (LCZ), sendo utilizada na cidade de Quixadá.

Este é um sistema de classificação automatizada (ou não supervisionada) que gera diferentes áreas, levando em conta as propriedades físicas da superfície e atividade humana. O produto gerado são classes que diferenciam os tipos de ocupação na cidade.

Diversos autores utilizam a metodologia das LCZ em estudos de clima urbano, alguns exemplos como Stewart e Oke (2009 e 2012), onde constituíram o formato atual das zonas climáticas locais (e que nortearam a elaboração destas na sede urbana de Quixadá); Dimitrov, Popov e Lliev (2021) os quais utilizaram as LCZ no estudo de ilhas de calor em Sofia, na Bulgária; Cardoso e Amorim (2017), que estimaram a temperatura do ar tendo como base as LCZ; e Castro (2022), que faz uma relação entre a temperatura e a morfologia urbana utilizando o uso do solo através das zonas climáticas locais.

Para a geração das LCZ, a pesquisa buscou em Demuzere, Kittner e Bechtel (2021) a base para o entendimento do processo da geração das zonas climáticas locais. Os autores criaram um método automatizado de classificação de áreas mais e menos urbanizadas de acordo com os parâmetros determinados nas pesquisas de Stewart e Oke.

A proposta das LCZ é incluir o maior número de regiões possíveis, um sistema de classificação que leva em consideração áreas urbanas e rurais,

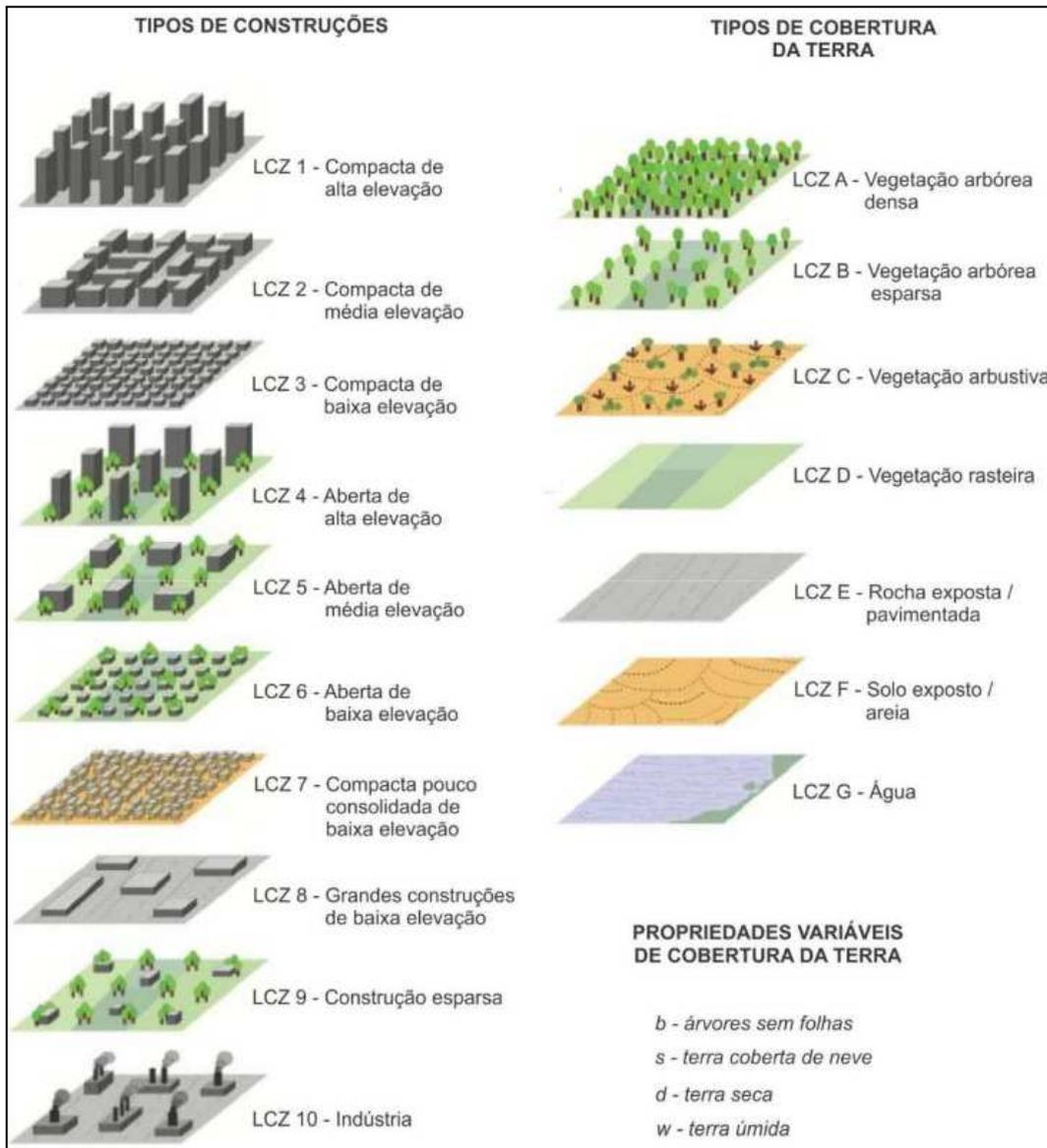
independente de cultura. Um padrão universal, que possa ser usado nos diferentes locais, sempre levando em consideração as propriedades físicas da superfície, estrutura (altura de árvores e edifícios e seu espaçamento), cobertura (permeável ou impermeável), tecido (tipo de materiais) e metabolismo (atividade humana) dos locais (OKE, 2006, p.9).

Cada LCZ é individual, ordenada por uma ou mais propriedades da superfície. O que vai diferenciar, na maioria dos casos, é a altura e rugosidade dos objetos predominantes na cobertura do solo. A temperatura do ar será de acordo com essa altura e rugosidade dos objetos (STEWART e OKE, 2012, p.1887).

Essa individualidade das classes pode ser delimitada através de uma interpretação visual de um mapa de uma cidade, fotografias aéreas, imagens de satélite, ou em uma classificação automática em um banco de dados de imagens orbitais (forma utilizada para a sede urbana de Quixadá e que será detalhada adiante).

O sistema está dividido em 17 classes, que estão divididas em dois grupos: tipo construtivos (1 à 10) e tipos de cobertura da terra (A à G). A seguir, estão apresentadas as classes e suas características.

Figura 3 - LCZ e suas classes



Fonte: Cardoso e Amorim (2017), adaptado de Stewart e Oke (2012)

Devido à heterogeneidade dos ambientes, eles podem conter diferentes tipos de classes. Assim, a classificação das LCZ permite a inserção de subclasses em locais onde haja diferença no conjunto padrão de uma das classes. Elas representam combinações de tipos construídos e propriedades de cobertura do solo.

A anotação para subclasses é da seguinte forma: **LCZXai**, onde "x" é a classe superior, de maior padrão, "a" é a classe inferior e "i" é uma variável ou propriedade da cobertura da terra sazonal. "a" e "i" podem ou não ser aplicáveis. Por exemplo, uma **LCZ2₃** seria uma mescla de edificações compactas de média elevação (predominantes) e de baixa elevação. Já a **LCZC_{dw}** pode apresentar uma área que

combina vegetação arbustiva (predominante) e rasteira, onde o solo esteja úmido. (STEWART e OKE, 2012 pg. 1891)

Dessa forma, a classificação da paisagem através das Zonas Climáticas Locais tem como função a melhoria da descrição das condições da superfície urbana e rural, facilitando a seleção dos locais para coleta de dados para estudos em clima urbano.

As áreas mais urbanizadas podem apresentar as maiores temperaturas, e, para dar suporte a essa hipótese, a coleta de dados da temperatura do ar se faz necessária, pois são os registros que irão mostrar o comportamento térmico em cada LCZ, além de validá-las. A variação das temperaturas, que antes eram entre o urbano e rural, ou magnitude UHI (*urban heat islands*, ou ilhas de calor urbanas), agora serão entre as LCZ, como por exemplo, Δ TLCZ 1 – LCZ D (STEWART e OKE, 2012, p.1893). As diferenças térmicas entre as zonas climáticas locais é uma nova forma de definir a magnitude UHI. Os registros das temperaturas do ar seriam obtidas pelo método dos transectos móveis.

2.3 - Transectos móveis em estudos de clima urbano

A execução de transectos para a obtenção de dados atmosféricos é comum em estudos sobre o clima urbano. Valin Junior e Santos (2020) sugerem formas de abrigos para termo-higrômetros durante a execução de transectos e padronização de procedimentos.

No estado do Ceará, outros exemplos da utilização desse método, além de Mesquita et al. (2017) citado anteriormente, foram realizados nas pesquisas de Oliveira (2014) no município de Caucaia (cujas temperaturas nos transectos tiveram amplitudes térmicas de 1,3°C no verão e 2,1°C no outono, tendo o centro da cidade com as maiores temperaturas) e Oliveira (2020) no município de Crateús (com amplitudes térmicas no inverno de 2,3 e 2,7°C pela manhã e noite, respectivamente, e na primavera com 1,5 e 2,2°C pela manhã e noite, respectivamente, tendo a parte central com os maiores registros).

Também no Ceará, Castro (2022) fez seu trajeto no município de Eusébio, cujos resultados apresentaram amplitude térmica de 1,8°C no mês de outubro de 2021, com picos de temperatura no bairro Tamatanduba.

Os transectos móveis são importantes devido ser possível captar dados da atmosfera ao longo da cidade, dando a noção real do comportamento térmico ou higrotérmico urbano em um curto intervalo de tempo. É uma forma de captação de dados primários que serão utilizados na produção de mapas, gráficos, projeções, dentre outras análises.

Então apoiando-se em diversos autores, com o auxílio do SIG, utilizando a classificação da paisagem pelo método das Zonas Climáticas Locais e obtendo dados da temperatura do ar através de transectos móveis que foi feita a análise do clima urbano da cidade de Quixadá, estudo este que é uma pequena contribuição de como se dá o regime térmico em uma cidade média no Semiárido brasileiro.

3

METODOLOGIA DA PESQUISA: GERAÇÃO DAS LCZ E AQUISIÇÃO DE REGISTROS DA TEMPERATURA DO AR

3.1 - LCZ Generator como ferramenta de classificação da paisagem

A superfície terrestre é composta de diversos elementos, naturais ou não, formando os diferentes tipos de paisagens, com dinâmicas próprias, como foi apresentado anteriormente.

Para a classificação e diferenciação dos diferentes tipos de ambientes, podemos utilizar imagens de satélites (executando técnicas de geoprocessamento em ambiente do Sistema de Informação Geográfica - SIG, por exemplo), fotografias aéreas obtidas através de aviões ou VANTs (Veículo Aéreo Não Tripulado), levantamentos topográficos, ou pelo método que norteia essa pesquisa, as LCZ.

As zonas climáticas locais podem ser elaboradas através de classificações utilizando imagens de satélite, como nas primeiras pesquisas realizadas por Bechtel (2011) e Bechtel e Daneke (2012), sendo melhor formalizada por Bechtel et al. (2015).

Esse procedimento foi feito por Bechtel et al. (2015), cujo fluxo de trabalho era “off-line”, integrando arquivos gerados no Google Earth e imagens do satélite Landsat 8. No ambiente do Google Earth eram feitos polígonos de locais com diferentes usos do solo denominados áreas de treinamento (ou TAs), norteados pela classificação feita por Stewart e Oke (2012). Essas TAs seriam integradas com imagens do satélite Landsat 8 no ambiente do software SAGA.

O conjunto de dados das TAs são usados para extrair informações espectrais das imagens do Landsat 8, e, através de uma classificação supervisionada, é categorizada toda uma área em diferentes tipos de LCZ (DEMUZERE, KITTNER e BECHTEL, 2021, p.2).

Esta forma de classificar áreas rendeu um banco de dados que conta com aproximadamente 150 cidades mapeadas, mas, o sistema precisava de uma atualização para otimizar seu processo. Assim, buscou-se uma forma de análise dos dados em nuvem, utilizando a plataforma do Google Earth Engine (GEE), onde é possível obter dados orbitais de diferentes fontes (séries dos satélites Landsat, Sentinel, dentre outros), além de um grande número de algoritmos pré definidos. Isso fez com que os mapas de zonas climáticas locais fossem ampliados em análises globais e com maior detalhamento.

Essa otimização na criação dos mapas LCZ fez surgir o **LCZ Generator**, uma plataforma online que analisa uma área de interesse, e que, após a execução das **três etapas** do processo, gera suas as zonas climáticas locais. As etapas consistem em: **inserir** dados pessoais e o **template** no formato *.kml* contendo as áreas de treinamento (TAs) **na plataforma digital; processo de classificação das LCZ**, além do controle de qualidade, gerando seus resultados (controle de qualidade do mapa, estatísticas de metadados e polígonos de TAs suspeitos); **e envio por e-mail destes resultados** (DEMUZERE, KITTNER e BECHTEL, 2021, p.2). A seguir, serão apresentados os dados gerados das LCZ em Quixadá.

Inicialmente deve-se obter no site o *template* base, em formato *.kml*, para gerar as TAs no Google Earth Pro. Os polígonos das áreas de treinamento devem seguir um padrão de mapeamento e devem ser elaborados conforme guia de digitalização disponível no site do *LCZ Generator*. A seguir, um resumo das principais instruções para geração das áreas de treinamento.

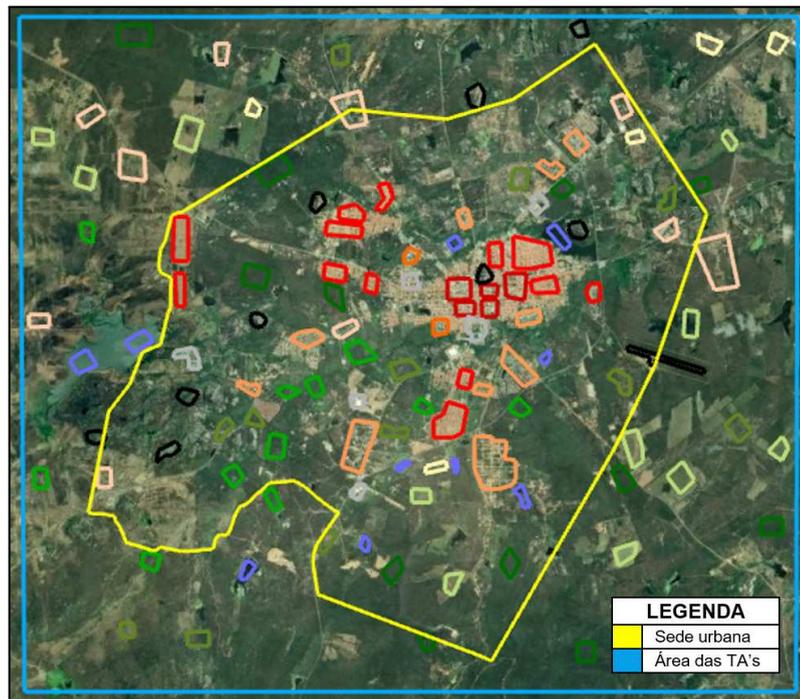
Figura 4 - Resumo para digitalização de TAs no Google Earth Pro

GUIA PARA DIGITALIZAÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS		
TAMANHO		Edifícios individuais não constituem uma LCZ, mas sim, grandes áreas homogêneas com no mínimo 200 m de largura no ponto mais estreito.
FORMA		Evitar formas complexas das TAs. Formatos simples darão homogeneidade da informação espectral e o número de pixels de satélite disponíveis dentro da forma.
HOMOGENEIDADE		As características da superfície devem ser semelhantes. Na dúvida, é melhor digitalizar diferentes TAs que sejam homogêneas do que uma que seja muito heterogênea.
FRONTEIRAS E DISTÂNCIAS		Manter uma distância mínima dos outros LCZs ao classificar. Polígonos de classes diferentes muito próximos, fará com que o classificador receba sinais espectrais mistos e que pode afetar a qualidade da classificação.
SAZONALIDADE		Evitar canteiros de obras, pois é provável que mudem de tipo LCZ durante um curto período de tempo. As características de alguns tipos de LCZ podem depender da sazonalidade, como áreas agrícolas. Observe o comportamento temporal pelo Google Earth. Atenção aos corpos hídricos. Dependendo da hora do dia ou da estação do ano, eles podem estar secos ou conter água.
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL		Distribuir as áreas de treinamento por toda a região de interesse, pois os mesmos LCZs podem diferir em aparência e propriedades espectrais para diferentes partes de sua região de interesse.

Fonte: LCZ Generator, adaptado pelo autor

A sede urbana de Quixadá e seu entorno apresentou diversas classes, onde foi possível detectar uma variedade de áreas de treinamento, **elaboradas através de imagens no Google Earth Pro que datavam de julho de 2021**. A seguir serão apresentadas a abrangência da área das TAs e alguns exemplos de classes da área de estudo.

Figura 5 - Áreas de treinamento para obtenção das LCZ



Fonte: Google Earth Pro

Figura 6 - Exemplos de classes em Quixadá

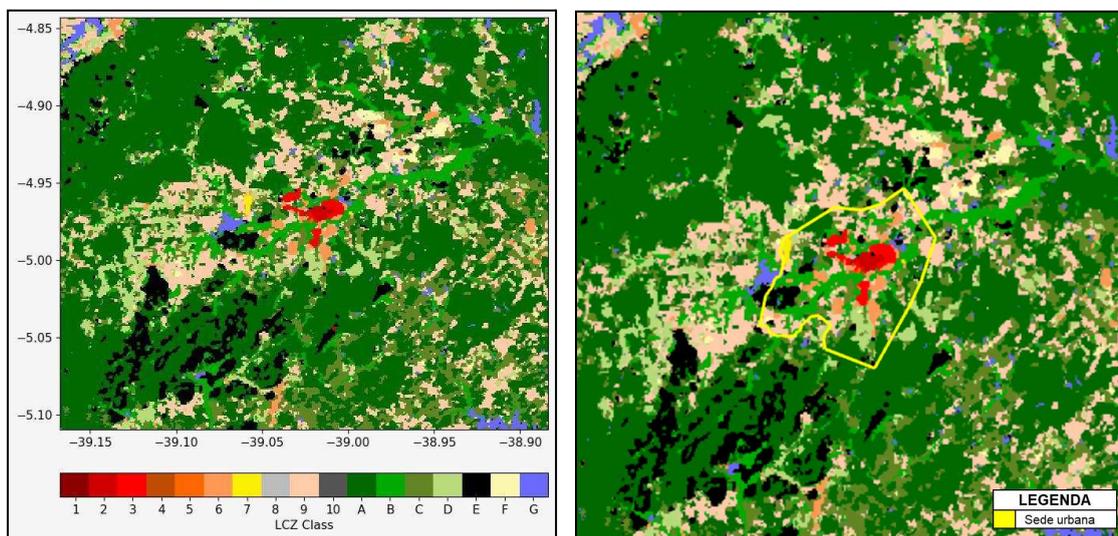


Fonte: elaborado pelo autor

Elaborados os polígonos das TAs e submissão do *template* na plataforma digital, ocorreu o processo de classificação das LCZ com base nas imagens orbitais e algoritmos pré definidos no ambiente do Google Earth Engine, e que, após finalização do processo, os produtos gerados foram recebidos via *e-mail*.

Importante destacar que a classificação extrapola os limites das áreas de treinamento. Existe o que se chama de tamanho da região de interesse (ou ROI - region of interest), que é definido como uma extensão além dos limites dos polígonos TAs, gerando um buffer de 10km em todas as direções (DEMUZERE, KITTNER e BECHTEL, 2021, p.5). A seguir, o mapa LCZ em *.jpg* e o arquivo raster em formato *.tiff* como alguns dos produtos gerados.

Figura 7 - Mapa LCZ com classes e arquivo raster gerado após classificação

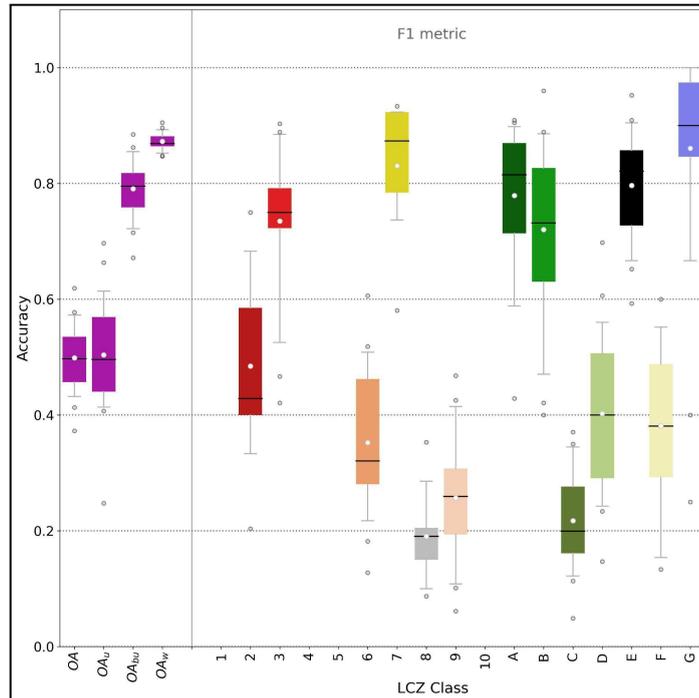


Fonte: LCZ Generator

Sobre o arquivo raster exposto acima, sua resolução espacial de 100 metros e pode ser convertido em formato *shapefile* caso seja necessária alguma correção em algum local onde a classificação foi feita incorretamente. No caso de Quixadá, houve em alguns locais uma confusão entre as LCZ E e G (rocha exposta e água, respectivamente), sendo necessária esta conversão para correção das classes.

O *LCZ Generator* forneceu também um gráfico do tipo *boxplot* (F1 metric) mostrando as acurácias por classe no local de estudo, com base nos polígonos das áreas de treinamentos geradas, e quatro tipos de acurácias de análise, que pode ser visto a seguir.

Gráfico 1 - F1 metric (acurácias por cada LCZ)



Fonte: LCZ Generator

Com esse gráfico é possível analisar onde houve as maiores e menores certezas de análises pelo *LCZ Generator*, sendo possível avaliar, por exemplo se em uma classe que houve baixa acurácia, se deve eliminar ou criar mais TAs para ela, ou seja, alterar o processo na geração de mais polígonos, para obter um melhor resultado.

O F1 metric também apresenta quatro tipos de acurácias que o *LCZ Generator* utiliza na comparação entre TAs e as imagens orbitais. São elas: OA, OA_u, OA_{bu} e OA_w. suas descrições podem ser vistas a seguir.

Figura 8 - Acurácias após análise das TAs pelo LCZ Generator

ACURÁCIAS DE ANÁLISE DO LCZ GENERATOR EM QUIXADÁ		
TIPO	VALOR	SIGNIFICADO
OA	0,5	Precisão geral (percentual de pixels classificados corretamente).
OA _u	0,5	Precisão geral para apenas as classes urbanas (percentual de pixels classificados das classes LCZ urbanas).
OA _{bu}	0,79	Precisão geral das classes LCZ construídas versus naturais apenas (ignorando suas diferenciações).
OA _w	0,87	Precisão ponderada aplicando pesos entre os tipos de LCZ . Exemplo: LCZ 4 é semelhante à outro tipo urbano aberto (LCZ 5). Eles tem pesos maiores em comparação com um par de classes LCZ urbano e natural.

Fonte: LCZ Generator, adaptado pelo autor

As classes que tiveram os **melhores resultados** (observando as medianas de cada boxplot, como abordadas as das precisões, na figura anterior) **foram a G (0,9) e a 7 (0,87)**. Já as que apresentaram os **menores resultados foram a 8 (0,19) e a C (0,2)**. Baixos valores de acurácia podem ser devido ao pouco número de TAs de uma classe, áreas de treinamento heterogêneas, ou que possam pertencer à outra classe (DEMUZERE, KITTNER e BECHTEL, 2021, p.12).

Em Quixadá, as classes que tiveram menor exatidão durante sua classificação foi devido ao baixo número de TAs (classe 8) e dificuldade de encontrar áreas mais homogêneas possíveis (classe C). Isso pode ter gerado alguma confusão durante o processo de classificação no ambiente do *LCZ Generator*, causando baixas acurácias nestas classes.

Essas confusões pontuais em algumas classes das LCZ foram corrigidas através de refinamento visual após a conversão do raster em *shapefile*, como dito anteriormente, sendo possível modificar o tipo de classe de alguns locais onde o *LCZ Generator* afirmou ser uma, mas, na verdade, era outra. Após estas correções, o mapa das LCZ da sede urbana de Quixadá foi gerado, o qual será apresentado mais adiante.

3.2 - Aquisição de dados de temperatura do ar através de transectos móveis

Outro momento da pesquisa foi a coleta de dados da temperatura do ar em campo. A aquisição dos registros deu-se através de transectos móveis em dois momentos: início de maio de 2022 (dias 02, 03 e 04) e início de novembro de 2022 (dias 03, 04 e 05), em dias onde a baixa troposfera esteja em calmaria (tempo aberto e com baixa velocidade do vento). A escolha dessas datas foi com o objetivo de obter o contraste das temperaturas em dois períodos distintos do ano: no período chuvoso (maio) e no período seco (novembro).

A coleta de dados em diferentes períodos mostrou os contrastes térmicos na sede urbana de Quixadá, onde alguns locais tiveram comportamentos diferentes durante esse recorte temporal. No período seco (segundo semestre do ano), temperaturas mais amenas podem ser evidenciadas em locais onde existiam corpos hídricos, áreas verdes e cursos de rios ou riachos. Estevão (2016, p. 93), em sua

pesquisa no município de Juazeiro do Norte, demonstrou esse fato através da análise das temperaturas de superfície terrestre (TST):

Ainda na estação seca, percebeu-se que as classes pertinentes às temperaturas superficiais mais aprazíveis estão integradas as localidades que compreende a colina do Horto e remanescentes de matas ciliares tanto do rio Salgadinho, como do riacho das Timbaúbas, ambos associados à bacia do Salgado. Esta afirmativa pode ser verificada na medida em que localiza-se na extremidade sul, sudeste e sudoeste um rastro da classe que exprime as tst mais agradáveis, moldando os meandros que corresponde ao referido rio e riacho.

Os transectos feitos por automóvel foram no início da manhã (05: 45h no primeiro campo e 04:45h no segundo campo) e início da noite (19h). A escolha desse horário pela manhã foi devido a ocorrência das menores temperaturas, além de evitar a radiação direta pelo sol. Já a escolha das 19h foi devido ser o **período mais adequado para a medição de ilhas de calor** na região tropical, pois não ocorre uma mudança rápida da temperatura do ar, e os materiais construtivos liberam o calor conservado após o pôr do sol (AMORIM et al., 2009, p.8).

Sobre a questão dos horários, é importante um esclarecimento. A decisão de iniciar o trajeto mais cedo no segundo campo foi pelo fato de evitar a radiação direta do sol no sensor de temperatura, caso que ocorreu na coleta de dados na manhã do dia 03/05, sendo o mesmo descartado.

No trajeto da manhã posterior, a saída foi também às 05:45h, mas não houve radiação solar direta sobre o sensor, pois o tempo estava parcialmente nublado, não havendo interferência nos registros, fazendo com que os dados obtidos no transecto da manhã do dia 04/05 foram satisfatórios. Dessa forma, tentando evitar alguma alteração nos registros, os transectos matutinos em novembro iniciaram uma hora mais cedo.

Sobre a quantidade de transectos, foram dois noturnos e dois diurnos, com o intuito de utilizar os dados daquele período onde a atmosfera fosse a estável possível, com a menor interferência possível de eventos meteorológicos. A seguir, um resumo dos eventos ocorridos nos trajetos.

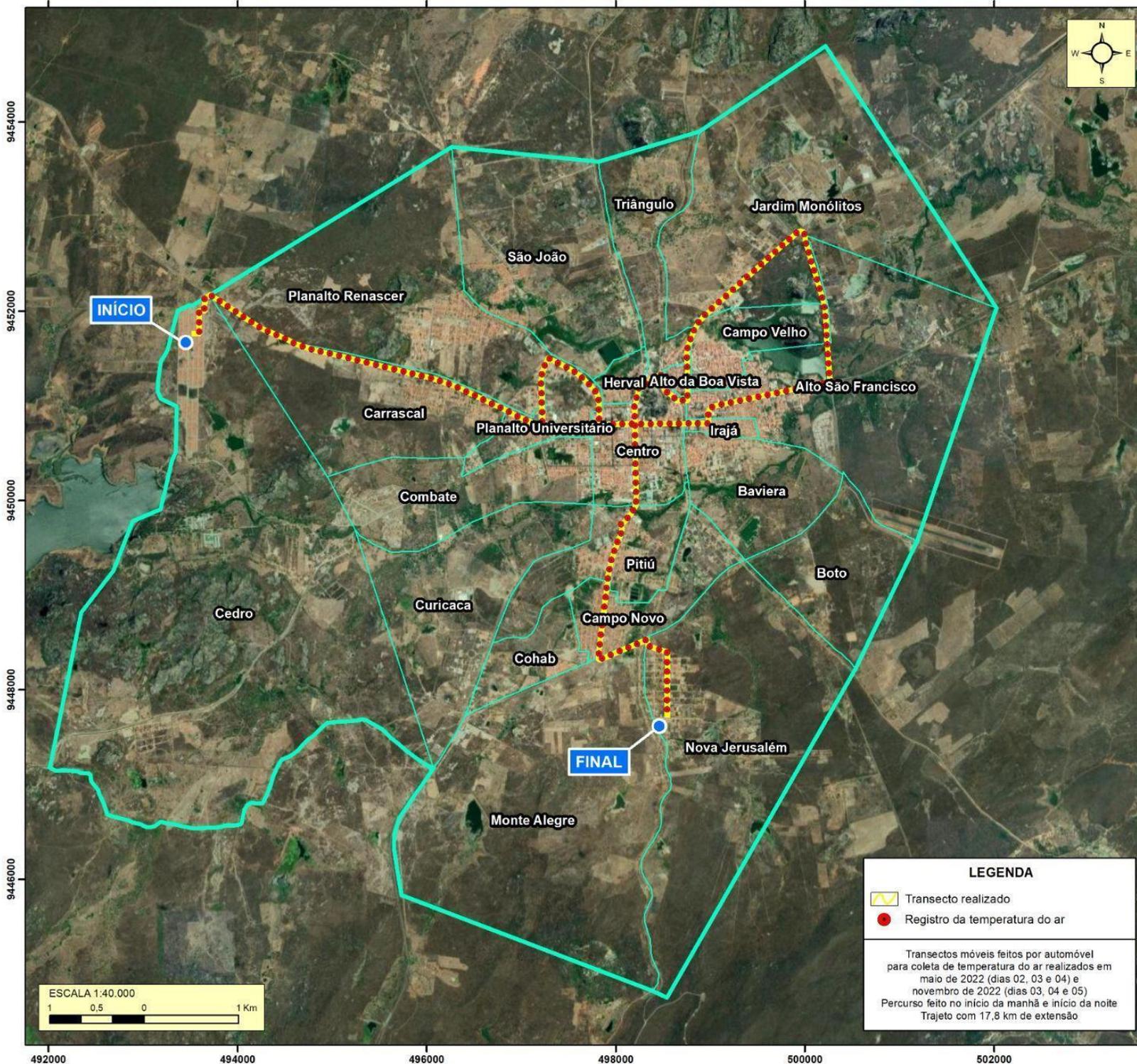
Figura 9 - Transectos, eventos e qualidade dos dados

TRANSECTOS REALIZADOS				
DATA	TURNO	PERÍODO	EVENTOS OBS.	DADOS OK?
02/05/22	Noite	Chuvoso	Garoa na parte final	Não
03/05/22	Manhã		Radiação solar direta	Não
03/05/22	Noite		Garoa em dois pontos	Sim
04/05/22	Manhã		Sem ocorrências	Sim
03/11/22	Noite	Seco	Sem ocorrências	Sim
04/11/22	Manhã		Chuva em alguns pontos	Não
04/11/22	Noite		Chuva em alguns pontos	Não
05/11/22	Manhã		Sem ocorrências	Sim

Fonte: elaborado pelo autor

A figura acima indica quais **dados** foram utilizados na pesquisa após a realização dos transectos: **no período chuvoso, os registros de referência foram os da noite do dia 03/05/22 e manhã do dia 04/05/22; já no período seco, foram os da noite do dia 03/11/22 e manhã do dia 05/11/22.** As justificativas e os eventos que interferiram para a não utilização de alguns dados serão descritos no subtópico 5.2.1.

O percurso teve a extensão de 17,8 km, contemplando a sede urbana de Quixadá no sentido leste-oeste e norte-sul, passando por 12 LCZ (das 14 existentes na cidade), onde a temperatura do ar foi coletada num intervalo de 100 em 100m, **totalizando 178 registros.** O tempo de execução dos transectos ocorreram em menos de uma hora, sendo em média 47 minutos pela manhã e 53 minutos durante a noite. A figura 10 na próxima página mostra o trajeto feito pela cidade.



TRANSECTO PARA COLETA DA TEMPERATURA DO AR (sede urbana de Quixadá)

Ceará em relação ao Brasil



Quixadá em relação ao Ceará



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Oceano Atlântico
- Estados brasileiros
- Estados do Nordeste
- Município de Quixadá
- Municípios cearenses
- Sede municipal e seus bairros

LEGENDA

- Transecto realizado
- Registro da temperatura do ar

Transectos móveis feitos por automóvel para coleta de temperatura do ar realizados em maio de 2022 (dias 02, 03 e 04) e novembro de 2022 (dias 03, 04 e 05).
 Percurso feito no início da manhã e início da noite.
 Trajeto com 17,8 km de extensão.

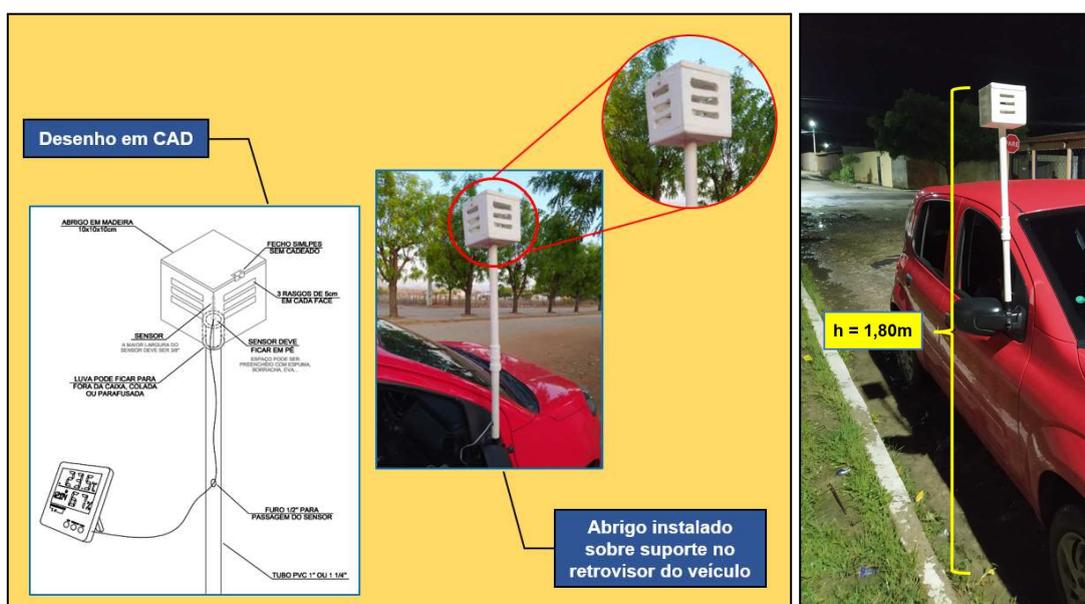
Projeção: sistema de coordenadas planas UTM
 Datum: Sirgas 2000 - Zona 24 S
 As LCZs foram geradas através do LCZ Generator
 Fonte dos dados: divisas dos estados: IBGE
 Limites municipais do Ceará (IPECE 2019)
 Bairros de Quixadá: Prefeitura Municipal de Quixadá
 Elaborado pelo autor

A temperatura do ar foi obtida utilizando termo-higrômetro digital da marca Incoterm (modelo 7666.02.0.00), cujo sensor foi acoplado em um abrigo com altura de 1,80m na lateral do veículo, que se deslocou em velocidade constante, no máximo de 30km/h, como recomenda Valin Junior e Santos (2020, p.435), perpassando por locais de diferentes zonas climáticas locais. É importante deixar claro que o mapa das LCZ foi elaborado antes da escolha do trajeto, pois ele foi basilar para a escolha do melhor percurso.

O abrigo é de forma vertical, projetado em ambiente CAD (Computer Aided Design), no software *Autocad*, e é composto por uma caixa de madeira, com dimensões de 10 cm de largura, altura e profundidade (10x10x10cm), cujas laterais possuem 3 aberturas oblongas para a livre passagem do ar e tampa na parte superior com fecho simples. No interior do abrigo, há uma luva de PVC soldável de 1” para instalação do sensor de temperatura. A base do abrigo é apoiada em uma haste de cano PVC de 1”, com um furo para passagem do sensor até a caixa. O conjunto haste-abrigo é apoiado em um suporte de ferro, que é acoplado no retrovisor do veículo.

A escolha do abrigo dessa forma vertical foi devido este demonstrar-se mais favorável no registro de dados se comparado aos horizontais ou no formato de “pratos” plásticos ou metálicos (VALIN JUNIOR e SANTOS, 2020, p.63).

Figura 11 - Abrigo para sensor do termo-higrômetro



Fonte: elaborado pelo autor

O transecto, perpassando por diferentes LCZ e abrangendo boa parte da mancha urbana da sede de Quixadá para a obtenção da temperatura do ar em períodos do ano distintos e em diferentes horários, foi de fundamental importância para a geração dos resultados sobre a realidade atual do clima urbano da principal área do município.

No próximo capítulo serão apresentados os dados obtidos neste percurso, em diferentes períodos do ano, durante a manhã e noite, evidenciando o comportamento térmico do ar na cidade de Quixadá.



4

CONDIÇÕES GEOECOLÓGICAS DO SÍTIO URBANO

Aqui serão apresentadas informações gerais e características geoecológicas do município, mas com foco na sede urbana de Quixadá. Sua formação histórica, dados socioeconômicos, seus principais componentes naturais (sua geomorfologia, geologia, vegetação, tipos de solos e seu uso e ocupação) e a análise da dinâmica climática do estado e do regime de chuvas serão descritos a seguir.

4.1 – Informações gerais sobre Quixadá

O município surgiu como distrito denominado Quixadá pela Lei Provincial nº 1.305 de 05/11/1869, subordinado ao município de Quixeramobim; elevado à categoria de vila pela Lei Provincial nº 1.347 de 27/10/1870; e como cidade em 17/08/1889 pela Lei Provincial nº 2.166 (IBGE, 1959). Hoje o município conta com 13 distritos, após divisão territorial ocorrida em 2003: Quixadá, Califórnia, Cipó dos Anjos, Custódio, Daniel de Queiróz, Dom Maurício, Juá, Juatama, Riacho Verde, São Bernardo, São João dos Queirozes, Tapuiará e Várzea da Onça (IPECE, 2017).

Desde seu surgimento, Quixadá teve momentos de destaque em sua história, como na formação do seu território, em que ocorria a ocupação do interior nordestino com as charqueadas, fase importante do ciclo econômico nacional onde fazendas eram instaladas geralmente na beira de rios para criação de gado de corte e produção leiteira. Esse período foi fundamental para a criação da primeira sesmaria situada entre os rios Banabuiú e Sitiá, que daria origem ao atual município, no fim do séc. XVII (SANTOS, VIEIRA e CASTELO 2011). Assim, a cidade é um destaque devido ter contribuído como um local de povoamento neste período de expansão do interior nordestino.

Outra fase importante onde Quixadá teve relevância foi a partir do final do século XIX, de acordo com Santos, Vieira e Castelo (2011), com a produção do algodão (ou cotonicultura) visando a extração de seu fio e óleo de sua semente, fornecendo insumos para a indústria têxtil e de oleaginosas, tendo seu ápice entre os anos de 1950 e 1960.

Isso fez surgir um desenvolvimento industrial na região e aumento populacional, na qual ultrapassou os 60 mil habitantes, a quarta maior do estado na época, de acordo com o Recenseamento Geral de 1950 (IBGE, 1959, p.22).

Figura 12 - Início do séc. XX e 2022. Igr. Sag. Coração de Jesus em destaque



Fonte: IBGE cidades e autor

Houve também o surgimento de uma elite, como as famílias Baquit e Carneiro, mas, após seu apogeu, a cultura do algodão foi declinando gradativamente, e um dos fatores que contribuíram para isso foi a praga de um inseto (o bicudo-do-algodoeiro). Esta atividade ainda permanece, mas em menor quantidade (SANTOS, VIEIRA e CASTELO, 2011).

A cultura do algodão foi um impulsionador da cidade, e, mesmo não sendo o principal motor econômico atualmente, tornou Quixadá uma das cidades mais importantes do Sertão Central cearense, com uma população de 84.165 habitantes (IBGE, 2022), sendo 10º município mais populoso do estado, e com densidade demográfica de 41,65 hab/km² (IBGE, 2022).

Quixadá teve o 23º maior Produto Interno Bruto (PIB) do estado em 2019, com pouco mais de R\$1 bilhão, sendo o setor de serviços o maior responsável por este acumulado, seguido pelo serviço público, agropecuária e indústria. Sobre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o município está posicionado como o 14º

maior do estado (0,659), de acordo com o censo do IBGE 2010 (ANUÁRIO DO CEARÁ, 2022, p.219).

Esta cidade é um concentrador de diversos serviços e com um interessante fluxo de pessoas e de capital. Se comparada às 13 cidades que compõem a região do Sertão Central cearense, Quixadá possui a maior população e o segundo maior PIB. A seguir, um resumo dos dados de população, PIB e IDH dos municípios do Sertão Central, uma forma de justificar a importância deste município.

Figura 13 - População, PIB e IDH dos municípios do Sertão Central

POPULAÇÃO, PIB E IDH MUNICÍPIOS DO SERTÃO CENTRAL CEARENSE					
MUNICÍPIO	POP. IBGE 2022	PIB IBGE 2019	RANKING PIB (CE) IBGE 2019	IDH IBGE 2010	RANKING IDH (CE) IBGE 2010
Banabuiú	17.195	R\$ 183.573.050,00	101º	0,606	109º
Choró	12.113	R\$ 124.591.620,00	138º	0,585	159º
Dep. Irapuan Pinheiro	8.932	R\$ 73.571.050,00	169º	0,609	103º
Ibaretama	11.956	R\$ 108.689.590,00	149º	0,577	169º
Ibicutinga	11.611	R\$ 101.032.020,00	154º	0,606	109º
Milhã	13.199	R\$ 140.550.080,00	126º	0,626	56º
Mombaça	37.735	R\$ 342.750.680,00	61º	0,582	163º
Pedra Branca	40.187	R\$ 333.026.200,00	65º	0,603	126º
Piquet Carneiro	16.616	R\$ 135.230.150,00	128º	0,6	133º
Quixadá	84.165	R\$ 1.005.661.170,00	23º	0,659	14º
Quixeramobim	82.122	R\$ 1.228.231.050,00	16º	0,642	32º
Senador Pompeu	24.266	R\$ 315.193.820,00	66º	0,619	74º
Solonópole	18.179	R\$ 219.036.940,00	89º	0,625	59º

Fonte: elaborado pelo autor

4.2 – Características geológicas

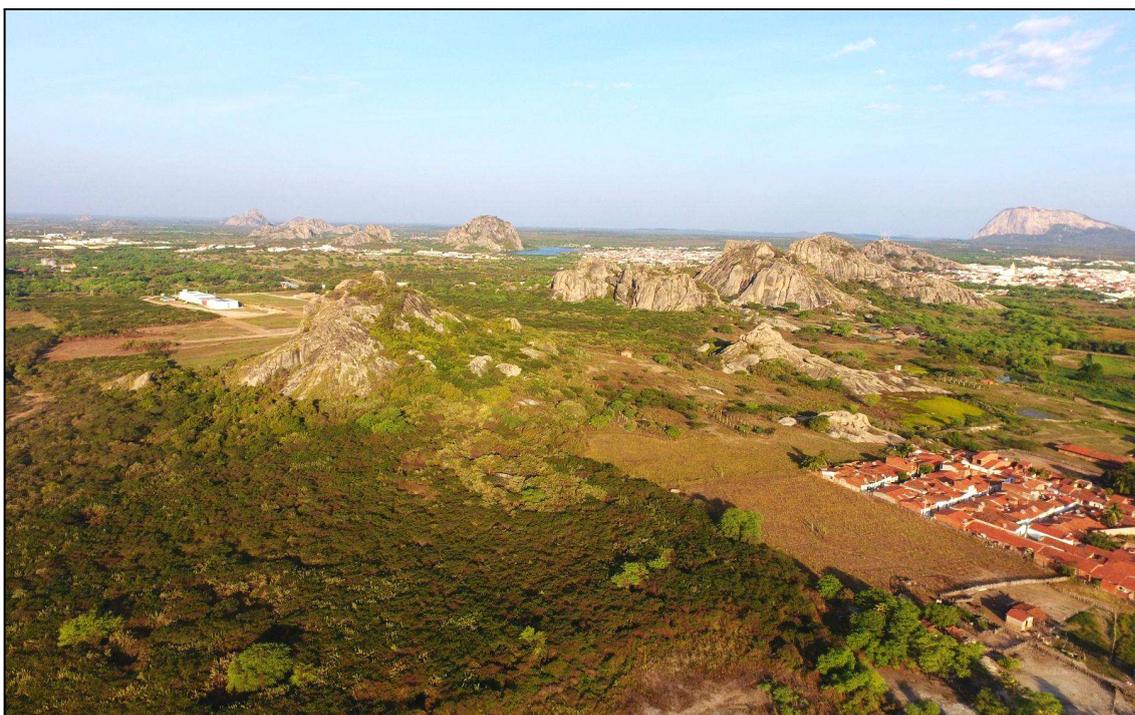
O município conta com 2.021 km² (IBGE, 2022), sendo 60,2km² deles a sua sede urbana (Prefeitura Municipal de Quixadá, 2020). Todo seu território está inserido na região semiárida brasileira e suscetível ao processo de desertificação (CGEE, 2016, p.63).

Sua paisagem é diversificada, geomorfologicamente é composta por áreas aplainadas e dissecadas, maciços residuais e diversos campos de *inselbergs* (LIMA, CRISPIM e SOUZA, 2016, p. 74), onde todas essas feições paisagísticas e essas unidades geomorfológicas, compõem a Depressão Sertaneja.

Sobre a geologia, a cidade é composta por intrusões graníticas das zonas de cisalhamento brasilianas, correspondendo ao complexo Gnáissico-Migmático indiferenciado (MAIA et al. 2015, p. 243).

A vegetação, a qual foi bastante suprimida na cidade e que pode ser vista mais aparente em locais afastados do sítio urbano, é composta por caatinga arbustiva, arbórea e mata ciliar (LIMA, CRISPIM e SOUZA, 2016, p. 82). Nos *inselbergs* e maciços residuais podem surgir uma vegetação especializada e rica, devido seu microclima, com diversas espécies (PAULINO, GOMES e SILVEIRA, 2018, p. 184), sendo mais arbórea em sua base (área pedimentar).

Figura 14 - Visão geral da geomorfologia e vegetação próxima da cidade



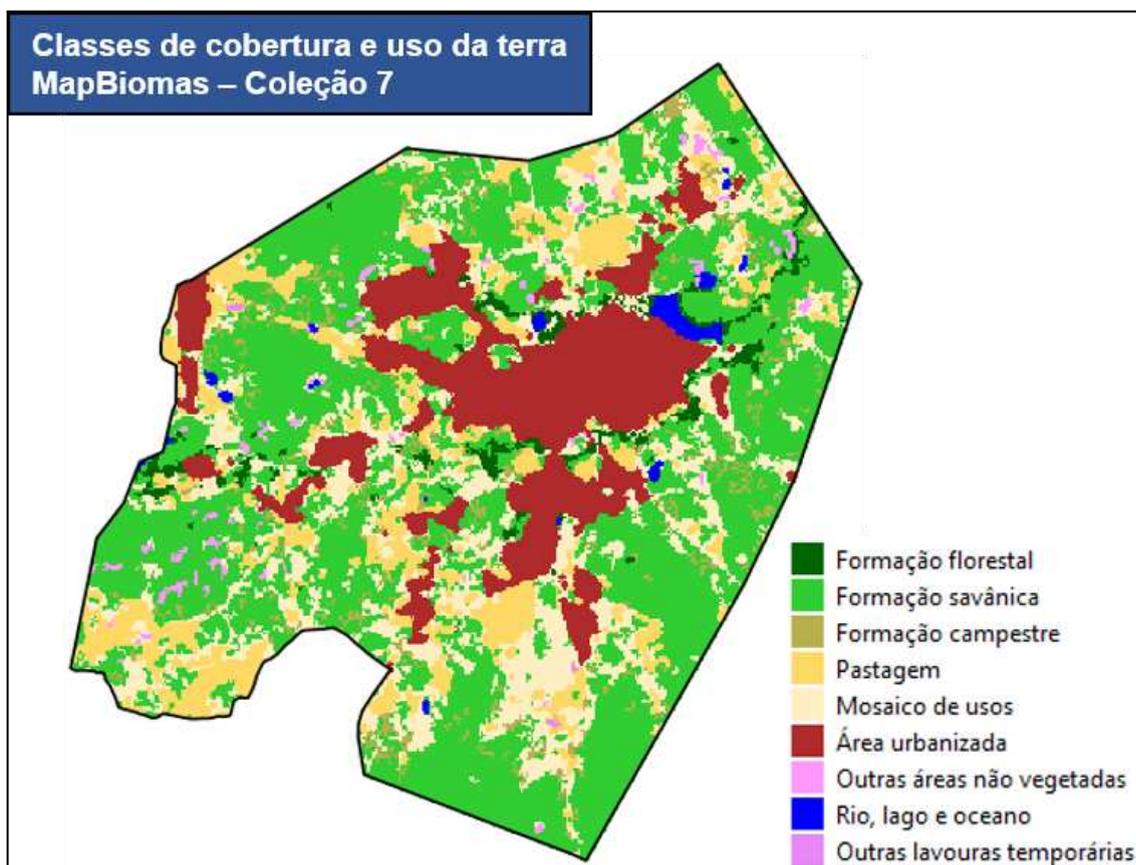
Fonte: elaborada pelo autor. Fotografia obtida por VANT (veículo aéreo não tripulado)

Quanto às formações pedológicas, as classes de solo no município, de acordo com o Banco de Dados de Informações Ambientais – BDIA – IBGE (2022), são: Planossolos Nátricos e Háplicos, Vertissolos Háplicos, Neossolos Litólicos, Luvisolos Crômicos, Argissolos Vermelhos e Afloramentos Rochosos. Na cidade de Quixadá, local da pesquisa, predominam os Planossolos Nátricos e Afloramentos Rochosos. Em suma, a cidade possui solos rasos, com baixa capacidade de infiltração da água das chuvas, tornando a cidade vulnerável a alagamentos e enchentes na ocorrência de um evento pluviométrico intenso e concentrado.

Sobre a cobertura e o uso da terra, o Projeto MapBiomas detectou 9 tipos na cidade de Quixadá em 2021 através de classificação de imagens do satélite Landsat, como pode ser vista a seguir. A sede urbana é formada por manchas compostas por formações florestais (ou caatinga arbórea), savânicas (caatinga

arbustiva), campestres, áreas voltadas para agropecuária e urbanizadas, além de corpos hídricos. As maiores coberturas são as de formação savânica e área urbanizada.

Figura 15 - Cobertura e uso da terra em 2021



Fonte: MapBiomas (2021)

As características naturais da cidade foram descritas acima, mas falta abordar o clima do local. Esse assunto será apresentado de forma mais detalhada nos próximos subtópicos.

4.3 – Regime de precipitação e dinâmica atmosférica no Ceará

Antes de abordar sobre o comportamento climático do Ceará, é importante discorrer brevemente sobre as condições climáticas do semiárido brasileiro.

Na maior parte do Nordeste Brasileiro (NEB), é nítida a característica de haver dois períodos distintos na distribuição da precipitação, principalmente em sua região mais semiárida, em que o período chuvoso se concentra nos seis primeiros meses do ano, com um período mais seco nos últimos seis meses (ALVES et al.

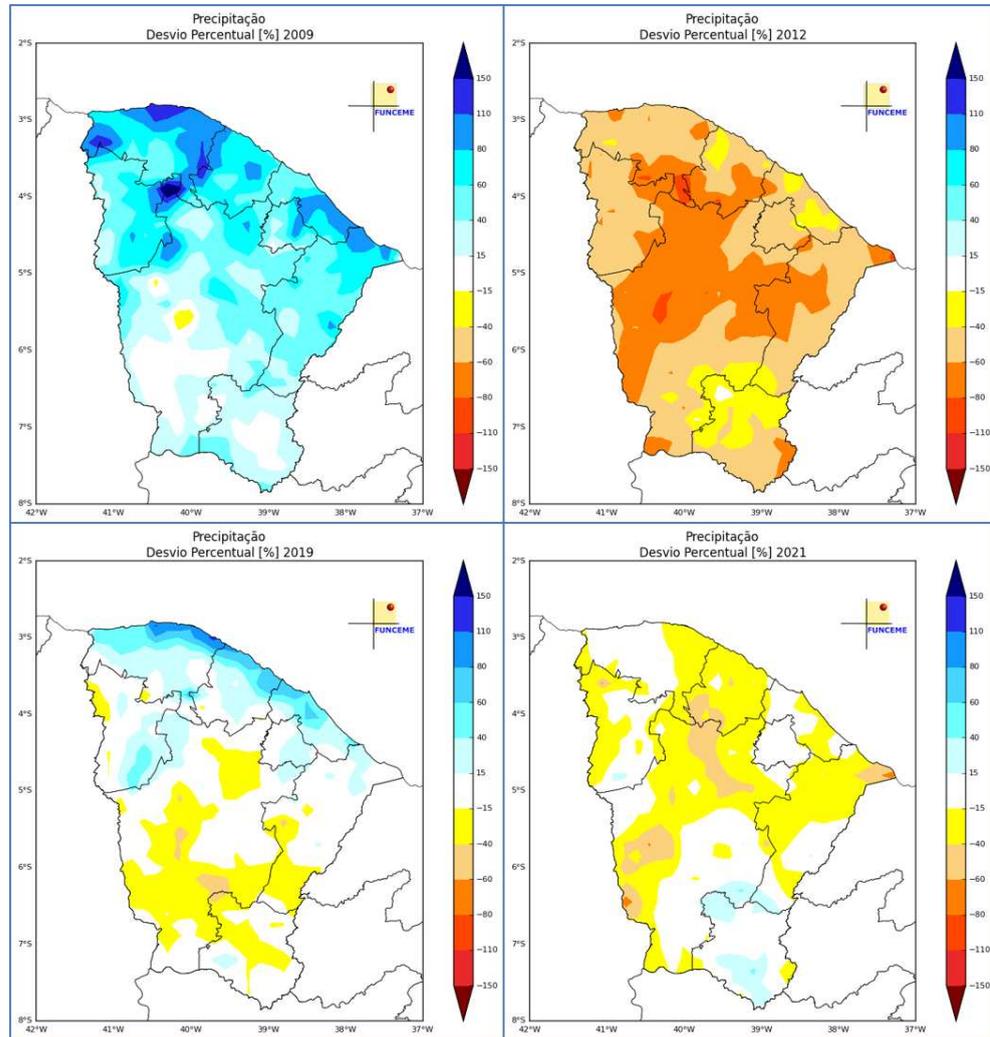
2017, p.228). Somado a isso, Zanella (2014) destaca que a região também possui elevadas taxas de insolação (devido sua posição latitudinal), evapotranspiração, elevadas temperaturas e baixas amplitudes térmicas.

Um longo período no ano com baixos índices pluviométricos faz com que a população residente no semiárido tenha que conviver com a estiagem desde o início da história do Brasil, como a relatada pelo padre Serafim Leite, em 1559, na Bahia (CGEE, 2016, p.34). A seca pode causar perda de safra agrícola, falta de água para a população e animais, aumento do desemprego rural e migrações campo-cidade (ZANELLA, 2014, p.127).

Estes problemas enfrentados pelo sertanejo podem ser amenizados através da adoção de algumas políticas públicas, como a construção de açudes, perfuração de poços, construção de dessalinizadores, adutoras, programa carro-pipa, seguro safra e benefícios sociais.

Sobre o Ceará, assim como na maior parte do semiárido brasileiro, as chuvas se concentram no primeiro semestre do ano, com distribuição heterogênea ao longo do espaço e do tempo. Em um mesmo ano, locais podem apresentar acumulados acima da média de pluviometria e outras áreas, até próximas, podem acumular chuva abaixo da média histórica. A seguir, uma amostra da discrepância na distribuição dos acumulados de chuva.

Figura 16 - Comparativo de desvios percentuais de precipitação



Fonte: FUNCEME

Na figura acima, pode-se ver a distribuição da chuva variando no tempo. Comparando apenas os mapas de desvios percentuais da precipitação entre 2009 e 2012, o primeiro apresenta a maior parte do estado com acumulados maiores que a média pluviométrica (desvios positivos, acima da normal climatológica). No segundo, a maior parte do Ceará apresenta acumulados menores que a média pluviométrica (desvios negativos, abaixo da normal climatológica). Dois anos próximos, mas com acumulados de chuva diferentes.

Quanto à distribuição da chuva variando no espaço, ainda observando a figura anterior, pode-se comparar os mapas de desvios percentuais da precipitação no ano de 2019 e 2021. O primeiro apresenta o litoral do estado com desvios percentuais acima da média e boa parte da região do Cariri, por exemplo, com acumulados ligeiramente abaixo da média. O segundo já mostra boa parte do litoral

apresentando acumulados abaixo da média e boa parte região do Cariri, por exemplo, com acumulados ligeiramente acima da média. Dessa forma, são dois anos próximos, mas com distribuição de chuvas diferenciadas ao longo do território cearense.

Essa dinâmica da precipitação se dá pela atuação de sistemas atmosféricos que atuam na pré-estação chuvosa, durante o período chuvoso (fevereiro a maio) e após o seu período (pós-estação).

Na pré-estação, o principal sistema atmosférico que causa precipitação no estado são os Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), ou Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS), que atuam principalmente em janeiro e modificam as condições de tempo em todo NEB (Nordeste Brasileiro) por vários dias (ALVES et al., 2006, p.57).

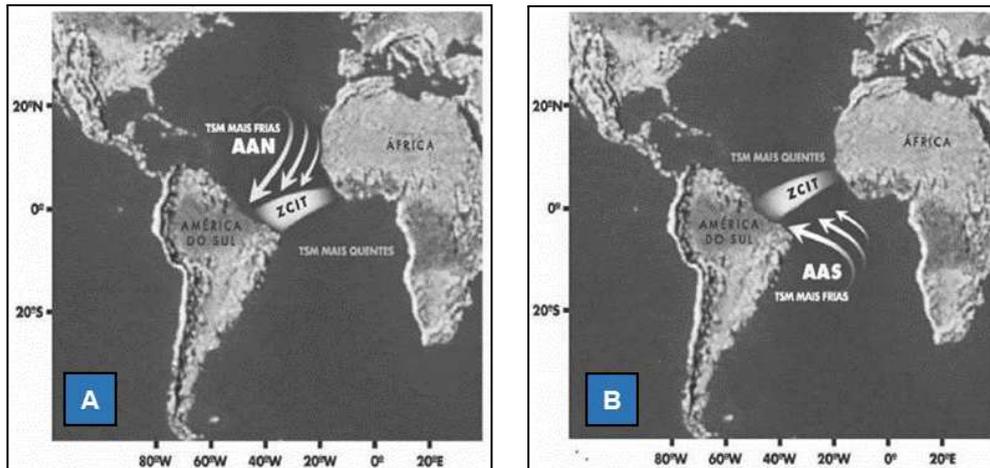
Já durante os meses entre fevereiro e maio, o principal sistema atuante é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que, no hemisfério sul, atua entre 2 e 5° de latitude. Ela é a faixa de encontro dos ventos alísios de nordeste com os de sudeste, e sua posição coincide aproximadamente com o equador térmico (VAREJÃO-SILVA, 2006, p.303). Ela é o principal causador de precipitação no setor do NEB a partir de fevereiro (ALVES et al., 2006, p. 63).

De acordo com Ferreira e Mello (2005), o deslocamento da ZCIT está relacionado aos padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), e que, dependendo da época do ano, pode estar acima ou abaixo da Linha do Equador, devido à irradiação solar nos hemisférios, que influencia na temperatura do mar. Essas diferenças de temperaturas entre o Oceano Atlântico Norte e o Sul é chamado de dipolo.

Sendo assim, no período do verão no hemisfério sul, as águas do oceano Atlântico Sul estão mais quentes (dipolo negativo), e os ventos alísios de nordeste estão mais intensos devido à ação do Anticiclone do Atlântico Norte (AAN). Isso faz com que a ZCIT se movimente para abaixo da Linha do Equador, atingindo seu ápice nos meses de março e abril.

Com a proximidade do inverno no hemisfério sul, o Anticiclone do Atlântico Sul (AAS) inicia a migração dessa banda de nuvens para o hemisfério Norte devido ao resfriamento de suas águas, intensificando os ventos alísios de sudeste. Isso vai ocorrer no mês de maio, último mês do período chuvoso no Ceará. A seguir, a dinâmica da posição da ZCIT ao longo do ano.

Figura 17 - Comportamento da ZCIT durante o ano



A: ZCIT entre fevereiro e abril. B: ZCIT a partir de maio. Fonte: Ferreira e Melo (2005)

Outro sistema atmosférico causa precipitações no estado, que são os Distúrbios Ondulatórios de Leste (ou Ondas de Leste), que se formam na faixa tropical do planeta e se deslocam de oeste para leste (da costa africana até o litoral leste do Brasil). Provocam intensas precipitações na costa oeste nordestina, mas, quando ocorrem numa maior intensidade, causam precipitações em nosso estado entre os meses de junho e agosto (FERREIRA e MELO, 2005, p.23).

Além desses três sistemas, os outros que provocam chuvas no Ceará são: Frentes Frias (caso sejam intensas, chegam principalmente ao sul do estado entre novembro e janeiro), Linhas de Instabilidades (banda de nuvens alinhadas, que podem provocar intensas precipitações) e Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), aglomerados de nuvens que se formam em condições atmosféricas favoráveis, provocando fortes chuvas, de curta duração, acompanhadas de fortes rajadas de ventos (FERREIRA e MELO, 2005, p.22).

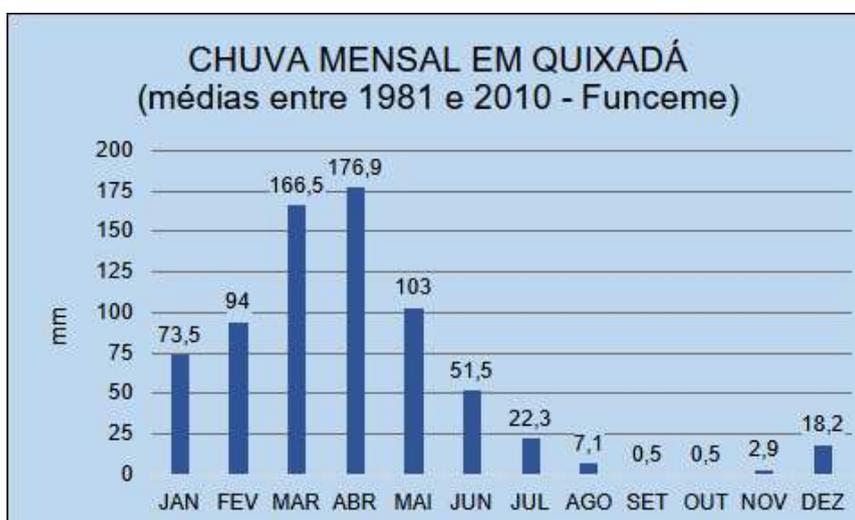
4.4 – Características climáticas do município

Quixadá possui um clima típico do sertão nordestino, o Tropical Quente Semiárido, com temperaturas médias que variam entre 26 e 28°C (IPECE, 2017), podendo atingir máximas ultrapassando os 35°C no mês de outubro, de acordo com as temperaturas máximas da normal climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (1991 - 2020) de uma cidade vizinha, Quixeramobim, cuja estação dista 30km da sede urbana de Quixadá. O município possui estação do INMET, mas ainda não há uma série de registros de pelo menos 30 anos para ser

elaborada uma normal climatológica dos elementos atmosféricos, sendo Quixeramobim a referência mais próxima.

Seu regime pluviométrico é semelhante ao que ocorre na maioria do estado, com a maior parte do acumulado das precipitações acontecendo no primeiro semestre do ano. A média anual da sede municipal, de acordo com a normal de 1981 a 2010 da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), é de 716,9mm anuais, com 540,4mm concentrados entre fevereiro e maio, período que corresponde a 75,4% da precipitação, como podemos ver a seguir.

Gráfico 2 - Média da precipitação mensal da cidade de Quixadá



Fonte: FUNCEME

Sobre a distribuição espacial da pluviometria, podemos ter como exemplo o ano de 2022, interpolando dados de 15 pluviômetros (7 em Quixadá e 8 em municípios vizinhos). A interpolação foi feita através do método da krigagem, que é utilizada em diversos trabalhos científicos como os de RABELO et al. (2022) e SOUSA FILHO et al. (2022). Ela possui pequenas margens de erros se comparados a outros interpoladores e métodos. O processo compreende um conjunto de estimadores baseados no semivariograma com a equação 1:

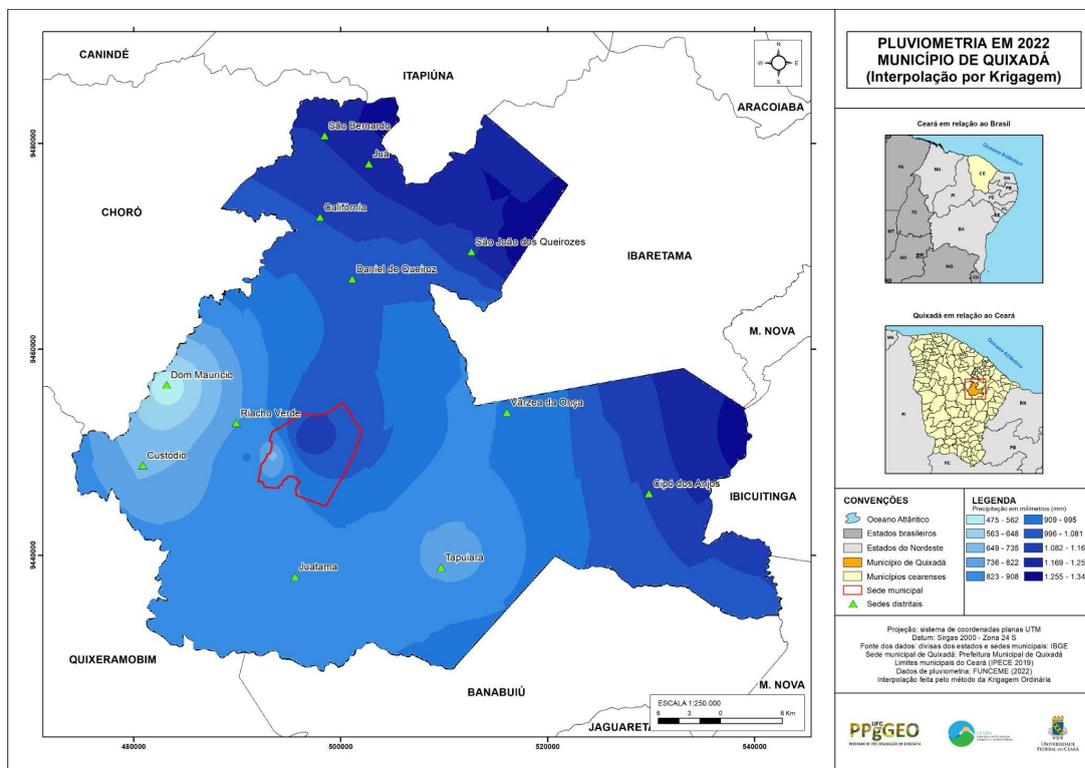
$$Y(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^5 (Z(X_i) - Z(X_i + h)) \quad (1)$$

Neste método são utilizadas técnicas de geoestatística que procuram extrair, de uma aleatoriedade aparente dos dados medidos, as propriedades estruturais

probabilísticas do componente regionalizado. Diante disso, é obtida uma função de correlação entre os valores situados em determinada distância e direção no espaço amostrado (LANDIM e STURARO, 2002).

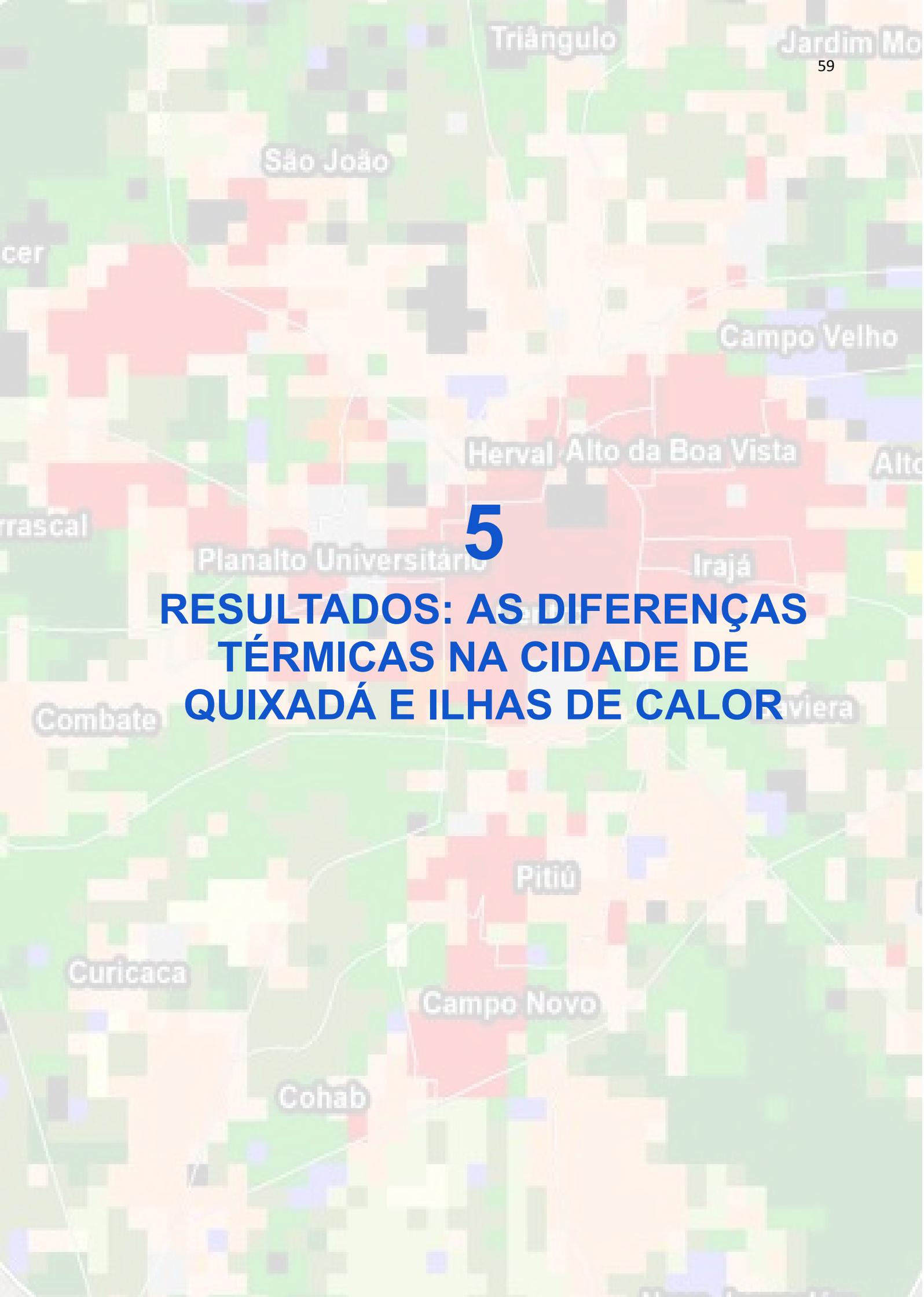
Assim, após a interpolação dos dados, a parte norte e leste foram as que apresentaram um maior acumulado, ultrapassando os 1.300mm. Já na parte oeste, houve locais em que a precipitação estimada ficou abaixo dos 500 mm. A sede urbana acumulou 1.168mm, ficando 65,4% acima da média (FUNCEME, 2022). Abaixo, o mapa da distribuição espacial da precipitação.

Figura 18 - Distribuição espacial da pluviometria de Quixadá em 2022



Fonte: elaborado pelo autor

O mapa de precipitação mostra como o regime de precipitação do Ceará (e consequentemente de Quixadá) é variável. Em 2022 a chuva ficou acima da média no município, mas, em anos posteriores, a realidade pode ser diferente, dependendo do aquecimento ou resfriamento dos oceanos Pacífico e Atlântico. Essas chuvas podem apresentar altos acumulados em um curto período de tempo, e, devido ao solo raso e pavimentação da cidade, podem ocorrer eventos de alagamentos e enchentes, como dito anteriormente.



5

RESULTADOS: AS DIFERENÇAS TÉRMICAS NA CIDADE DE QUIXADÁ E ILHAS DE CALOR

É notório os diferentes usos do solo na sede urbana de Quixadá, como foi detalhado num momento anterior. Este local é, para exemplificar, uma colcha feita com diferentes tecidos (classes), na qual a característica de cada um deles irá refletir um comportamento microclimático diferenciado, principalmente aqueles que possuem propriedades bem distintas.

Os transectos que percorreram as diferentes classes na sede urbana do município adquiriram os dados da temperatura do ar para demonstrar como é o seu comportamento térmico, e será neste capítulo onde discutiremos os registros, gráficos, mapas e outras peculiaridades desta pesquisa.

5.1 - Caracterização das LCZ na cidade de Quixadá

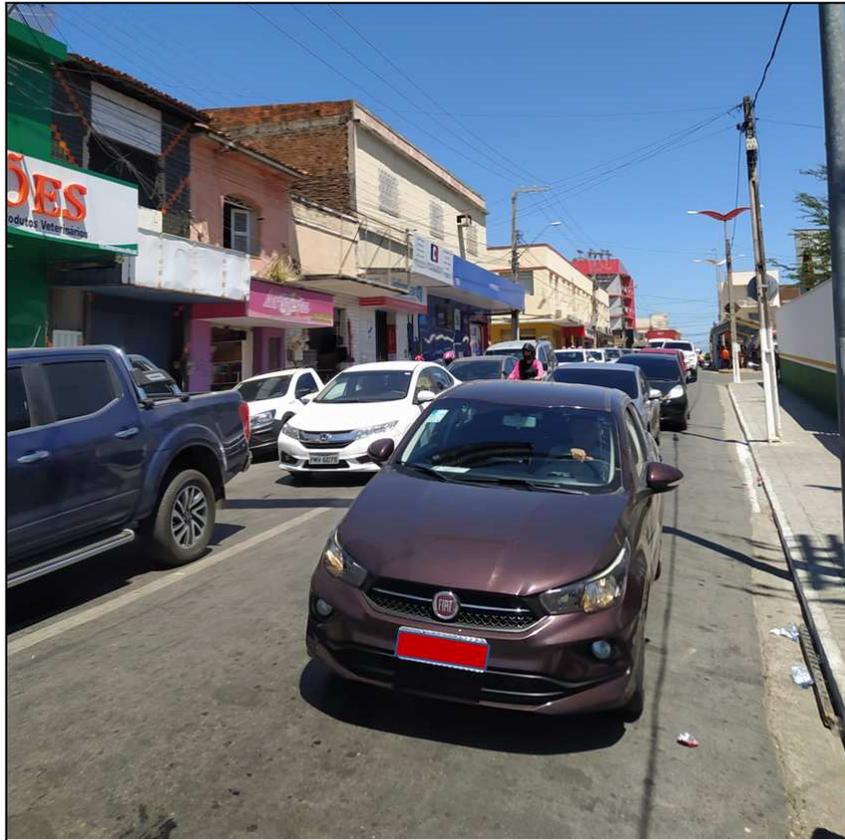
A produção do espaço do local de estudo é semelhante à outros centros urbanos mundiais, como dito anteriormente, com a redução de espaços verdes, impermeabilização do solo em diversos locais, edificações elaboradas com materiais que absorvem calor, além de um interessante fluxo de veículos e pessoas na rotina da cidade, principalmente na região do centro da cidade. A seguir, imagens que mostram essas características da sede urbana de Quixadá.

Figura 19 - Fotos panorâmicas da Praça do Leão com pouca arborização



Fonte: próprio autor

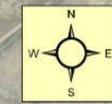
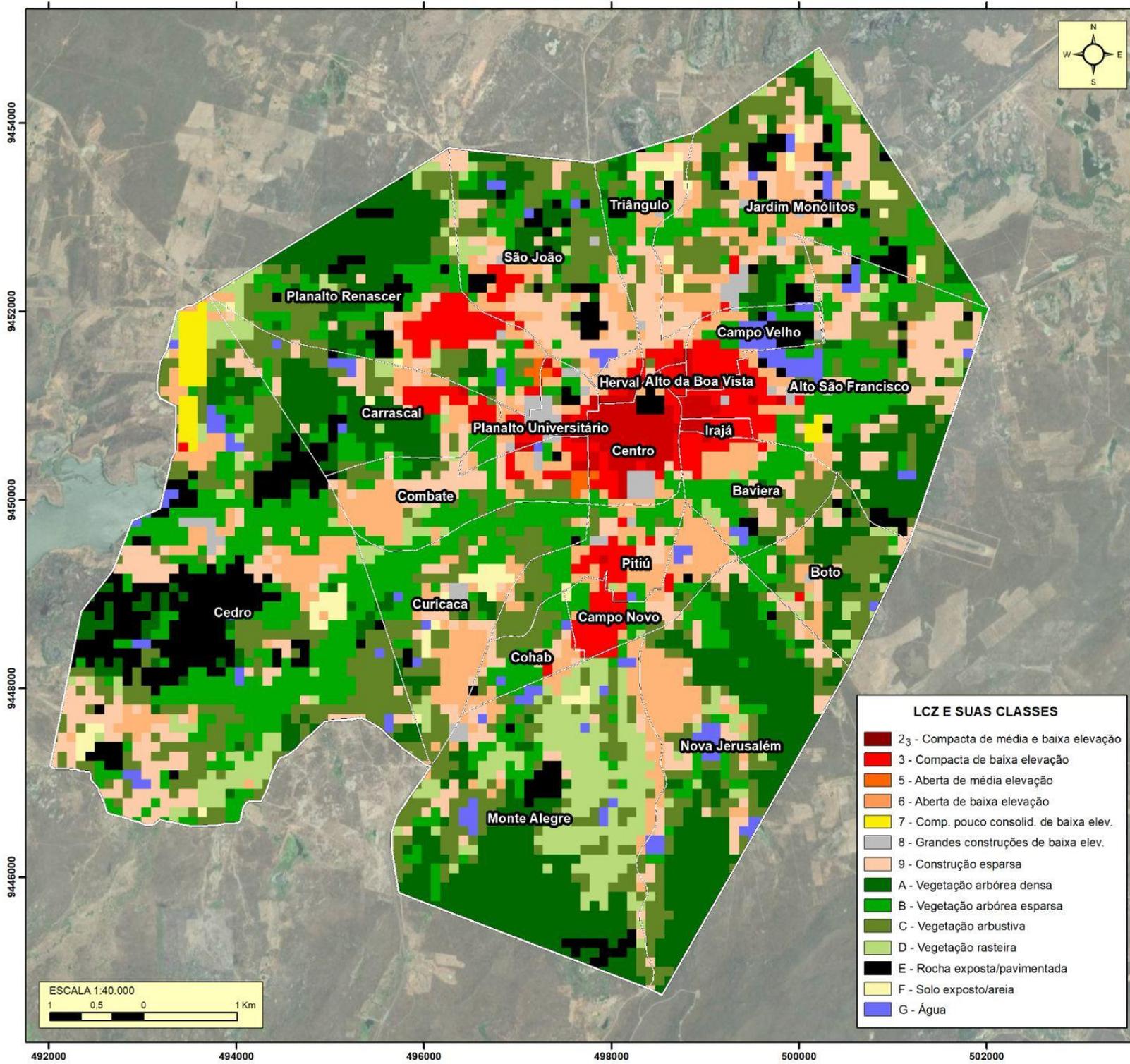
Figura 20 - Fluxo intenso de veículos na parte central da cidade



Fonte: próprio autor

Essa cidade que possui tal dinâmica no crescimento urbano, com diferentes usos do solo e variados microclimas, quando classificada através da metodologia das LCZ, foi possível detectar 14 classes, mas, o transecto para a aquisição das temperaturas do ar abrangeu 12 (exceto as classes E e A). Na página seguinte, a figura 21 mostra as zonas climáticas locais da sede urbana de Quixadá com base nas áreas de treinamento obtidas em imagens orbitais datadas em julho de 2021.

LOCAL CLIMATE ZONES DA SEDE URBANA DE QUIXADÁ (Zonas Climáticas Locais)



Ceará em relação ao Brasil



Quixadá em relação ao Ceará



LCZ E SUAS CLASSES

	2 ₃ - Compacta de média e baixa elevação
	3 - Compacta de baixa elevação
	5 - Aberta de média elevação
	6 - Aberta de baixa elevação
	7 - Comp. pouco consolid. de baixa elev.
	8 - Grandes construções de baixa elev.
	9 - Construção esparsa
	A - Vegetação arbórea densa
	B - Vegetação arbórea esparsa
	C - Vegetação arbustiva
	D - Vegetação rasteira
	E - Rocha exposta/pavimentada
	F - Solo exposto/areia
	G - Água

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Oceano Atlântico
- Estados brasileiros
- Estados do Nordeste
- Município de Quixadá
- Municípios cearenses
- Sede municipal e seus bairros

Projeção: sistema de coordenadas planas UTM
 Datum: Sirgas 2000 - Zona 24 S
 As LCZs foram geradas através do LCZ Generator
 Fonte dos dados: divisas dos estados: IBGE
 Limites municipais do Ceará (IPECE 2019)
 Bairros de Quixadá: Prefeitura Municipal de Quixadá
 Elaborado pelo autor

Dessa forma, as zonas climáticas locais na sede urbana de Quixadá se dividem em 7 tipos construtivos (2₃, 3, 5, 6, 7, 8 e 9) e 7 tipos de cobertura da terra (A, B, C, D, E, F e G). O centro da cidade foi onde apresentou uma maior densidade e altura das edificações, apresentando uma mescla entre construções de média e baixa elevações (2₃).

Contrastando com o centro da cidade, os bairros mais afastados, como Monte Alegre, Nova Jerusalém e Planalto Renascer, apresentaram áreas com maior presença de vegetação e menor impermeabilização do solo, correspondentes à classe de vegetação arbórea densa (A).

A classe que possui a maior ocupação em área é a C, e a menor taxa de ocupação é a 5. A seguir, as classes de uso do solo detectadas na sede urbana e suas respectivas áreas estimadas de abrangência e taxas de ocupação.

Figura 22 - LCZ da sede urbana de Quixadá suas taxas de ocupação

ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS DA SEDE URBANA DE QUIXADÁ			
CLASSE	DEFINIÇÃO	ÁREA (ha.)	OCUPAÇÃO
2₃	Compacta de média e baixa elevação	96,99	1,61%
3	Compacta de baixa elevação	291,95	4,85%
5	Aberta de média elevação	10,89	0,18%
6	Aberta de baixa elevação	641,69	10,65%
7	Compacta pouco consolidada de baixa elevação	40,58	0,67%
8	Grandes construções de baixa elevação	74,23	1,23%
9	Construção esparsa	710,04	11,78%
A	Vegetação arbórea densa	1.043,82	17,32%
B	Vegetação arbórea esparsa	1.058,57	17,57%
C	Vegetação arbustiva	1.078,64	17,90%
D	Vegetação rasteira	380,14	6,31%
E	Rocha exposta/pavimentada	396,22	6,58%
F	Solo exposto/areia	71,95	1,19%
G	Água	129,76	2,15%
TOTAL		6.025,45	100%

Fonte: elaborado pelo autor

Uma característica peculiar na cidade é a presença de rochas graníticas (inselbergs) em diversos locais (a maior concentração se dá no bairro Cedro). Eles representam a classe E (rocha exposta), inclusive levantou-se o questionamento destes causar alguma alteração microclimática em seu entorno, mas, não é possível detectar mudanças na temperatura do ar por este transecto móvel, pois os pontos de

medição não são próximos o suficiente para um registro mais acurado. A seguir, a imagem de um deles, no centro da cidade.

Figura 23 - Pedra do Cruzeiro, um dos inselbergs na cidade de Quixadá



Fonte: elaborado pelo autor. Fotografia obtida por VANT (veículo aéreo não tripulado)

Exposto o mapa de classes e o quanto cada uma ocupa na cidade, a seguir serão apresentadas suas principais características, com base nas fichas técnicas de Oke (2012).

As fichas são uma forma de condensar as informações geourbanas de cada classe do universo que compõe as zonas climáticas locais, abordando um resumo do uso e ocupação da área, fluxo de veículos e pessoas, fotografias, rugosidade superficial e, no caso desta pesquisa, os dados das temperaturas médias, mínimas e máximas no período seco e chuvoso, obtidas nos transectos móveis.

Lembrando que foram compiladas 12 fichas, pois, como nelas estão apresentadas as temperaturas do ar, foram estas as classes, das 14 identificadas pelo *LCZ Generator*, que o transecto móvel conseguiu abarcar.

A seguir serão apresentadas as características geourbanas em cada LCZ através das fichas técnicas e sua distribuição espacial na cidade.

5.1.1 - Condições geourbanas em cada zona climática

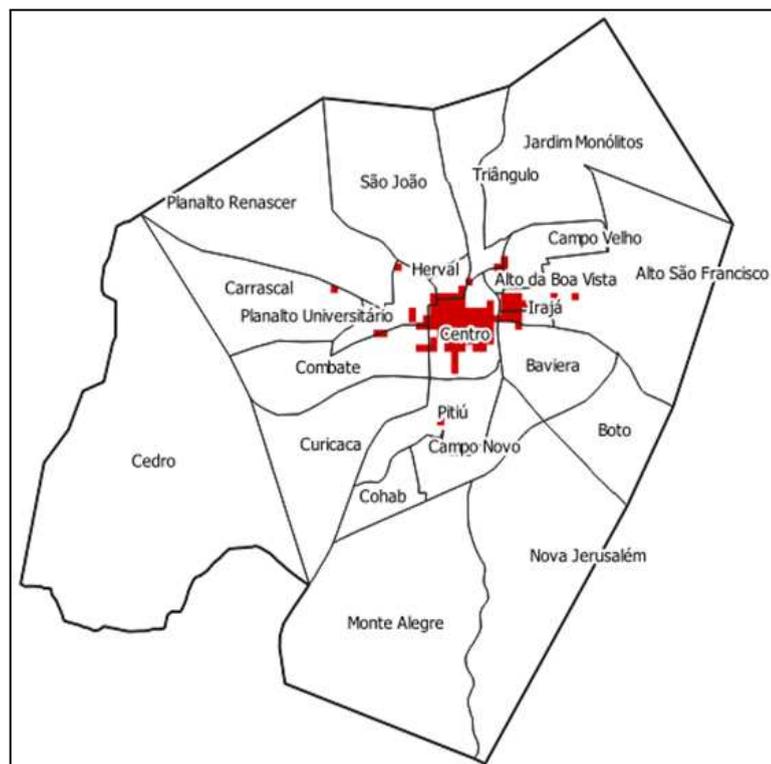
- **LCZ 2₃**

Esta classe possui construções densas, a maioria com baixa elevação e apresenta alguns edifícios médios de até 4 andares. Os materiais de construção predominantes são o tijolo e o concreto. As edificações são cobertas com telha cerâmica, metálica ou fibrocimento.

A cobertura de terra na maior parte é pavimentada, ruas com asfalto (algumas no centro da cidade já constituídas com bloquetes de concreto), com poucas ou nenhuma árvore. Tem função residencial e comercial, com alto fluxo de veículos e pessoas. Está presente em partes do Centro, Irajá, Alto São Francisco, Campo Velho, Alto da Boa Vista e Planalto Universitário.

Dos 178 pontos do transecto móvel, 30 deles pertencem a esta classe, e suas temperaturas se comportaram da seguinte forma: entre 22,7°C e 23,9°C na noite do período chuvoso; 23,1°C e 24,1°C na manhã do período chuvoso; 27,2°C e 28°C na noite do período seco; e entre 22,9°C e 24°C na manhã do período seco. Esta LCZ ocupa 96,99 hectares na cidade (1,61%).

Figura 24 - Distribuição espacial da LCZ 2₃



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 25 - Ficha técnica da LCZ 2₃

LCZ	Compacta de média e baixa elevação		2 ₃
DEFINIÇÃO			
Construções densas, maioria de baixa elevação e alguns edifícios médios de até 4 andares. Materiais de construção predominantes são o tijolo e o concreto. Cobertura das edificações de telha cerâmica, metálica ou fibrocimento. Cobertura de terra na maior parte pavimentada, ruas com asfalto (algumas delas já constituídas com bloquetes de concreto), com poucas ou nenhuma árvore. Função residencial e comercial, com alto fluxo de veículos e pessoas. Localização: partes do Centro, Irajá, Alto São Francisco, Campo Velho, Alto da Boa Vista e Planalto Universitário.			
ILUSTRAÇÃO			
Representação	Vista Oblíqua		
	Vista Lateral		
PROPRIEDADES			
Altura da rugosidade superficial (baixa, média ou alta):	média		
Fração de superfície impermeável (baixa, média ou alta):	alta		
Fluxo de tráfego (nulo, baixo, médio ou alto):	alto		
Temp. média do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,8°C e 23,7°C - respectivamente		
Temp. média do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,5°C e 27,6°C - respectivamente		
Temp. mínima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,1°C e 22,9°C - respectivamente		
Temp. mínima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,7°C e 27,2°C - respectivamente		
Temp. máxima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	24,1°C e 24,0°C - respectivamente		
Temp. máxima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,9°C e 28,0°C - respectivamente		
Obs: as temperaturas são referentes aos transectos móveis realizados			

Fonte: elaborado pelo autor

- **LCZ 3**

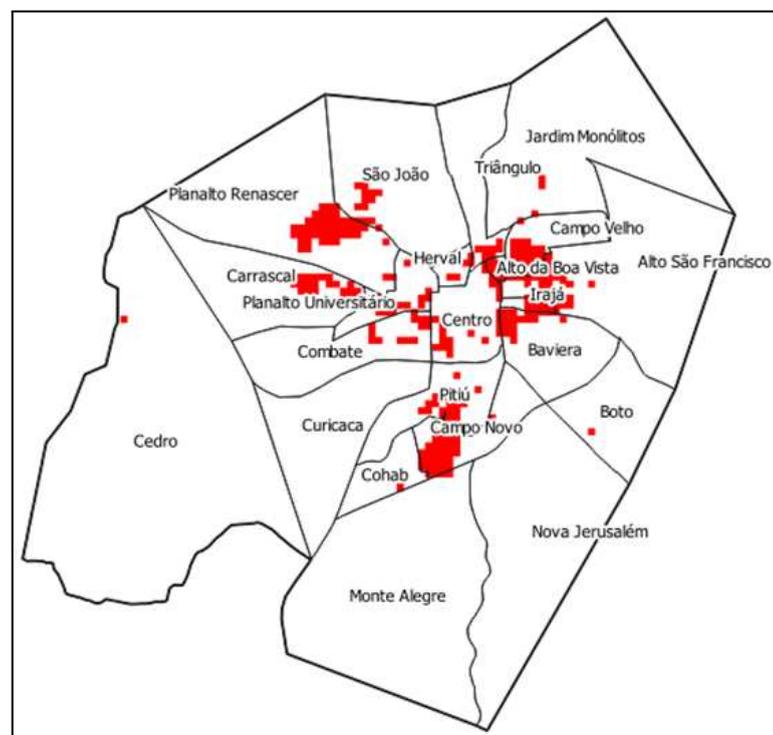
Esta classe possui construções densas, sendo a maioria de baixa elevação. Materiais de construção predominantes são o tijolo e o concreto. A cobertura das edificações é na maioria feita com telhas cerâmicas.

A cobertura da terra em sua maior parte é pavimentada, ruas com asfalto (algumas em pedra tosca), com poucas ou nenhuma árvore. Tem função predominantemente residencial, com médio a alto fluxo de veículos e pessoas (em

horários de pico a movimentação é maior). Está presente nos bairros Centro, Putiú, Cohab, Campo Novo, Baviera, Irajá, Alto São Francisco, Alto da Boa Vista, Campo Velho, Jardim Monólitos, Triângulo, Herval, São João, Planalto Universitário, Planalto Renascer, Carrascal e Combate.

Dos 178 pontos do transecto móvel, 32 deles pertencem a esta classe, e suas temperaturas se comportaram da seguinte forma: entre 22,4°C e 23,9°C na noite do período chuvoso; 23°C e 23,9°C na manhã do período chuvoso; 27,1°C e 27,7°C na noite do período seco; e entre 22,4°C e 23,9°C na manhã do período seco. Esta classe ocupa 291,95 hectares na cidade (4,85%), de acordo com o mapa das LCZ.

Figura 26 - Distribuição espacial da LCZ 3



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 27 - Ficha técnica da LCZ 3

LCZ	Compacta de baixa elevação		3	
DEFINIÇÃO				
Construções densas, a maioria de baixa elevação. Materiais de construção predominantes são o tijolo e o concreto. A cobertura das edificações são na maioria com telha cerâmica. Cobertura de terra em sua maior parte pavimentada, ruas com asfalto (algumas em pedra tosca), com poucas ou nenhuma árvore. Função predominantemente residencial, com médio a alto fluxo de veículos e pessoas (em horários de pico a movimentação é maior). Localização: entornos do centro da cidade e partes dos bairros à leste, oeste e sul do centro.				
ILUSTRAÇÃO				
Representação 	Vista Oblíqua			
	Vista Lateral			
PROPRIEDADES				
Altura da rugosidade superficial (baixa, média ou alta):	baixa			
Fração de superfície impermeável (baixa, média ou alta):	média/alta			
Fluxo de tráfego (nulo, baixo, médio ou alto):	médio/alto			
Temp. média do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,6°C e 23,4°C - respectivamente			
Temp. média do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,3°C e 27,4°C - respectivamente			
Temp. mínima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,0°C e 22,4°C - respectivamente			
Temp. mínima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,4°C e 27,1°C - respectivamente			
Temp. máxima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,9°C e 23,9°C - respectivamente			
Temp. máxima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,9°C e 27,7°C - respectivamente			
Obs: as temperaturas são referentes aos transectos móveis realizados				

Fonte: elaborado pelo autor

- **LCZ 5**

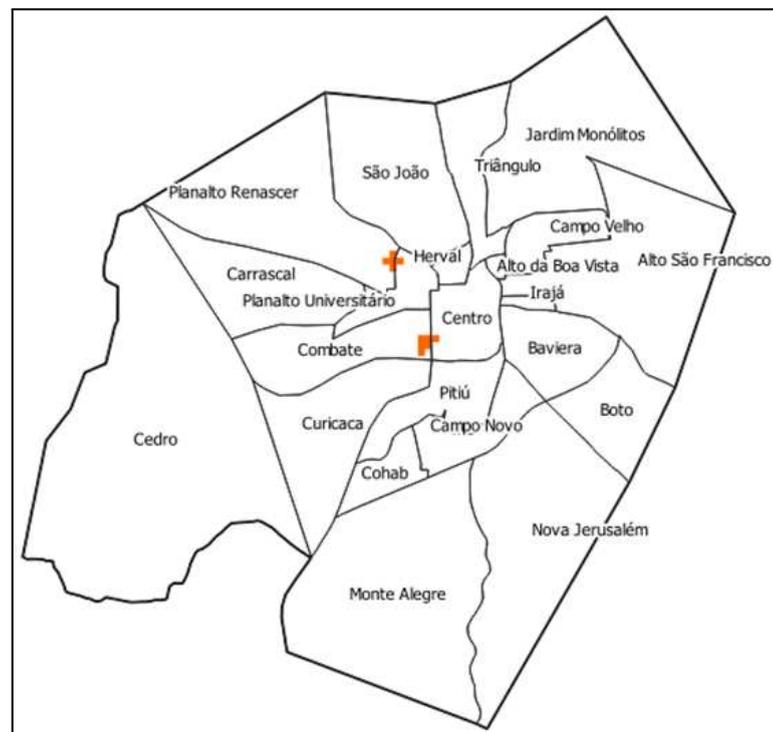
Esta classe possui construções pontuais, de média elevação (acima de 3 andares). Os materiais de construção predominantes são o tijolo e o concreto. A cobertura das edificações são metálicas ou com a laje aparente.

A cobertura de terra em sua maior parte pavimentada, ruas com asfalto (algumas em pedra tosca), com poucas ou nenhuma árvore. Tem função predominantemente residencial, com médio a alto fluxo de veículos e pessoas. A

LCZ 5 está presente entre os bairros Planalto Renascer e Planalto Universitário, e entre os bairros Centro e Combate.

Dos 178 pontos do transecto móvel, apenas 3 deles pertencem a esta classe, e suas temperaturas se comportaram da seguinte forma: 23°C na noite do período chuvoso (não houve variação); 23°C e 23,1°C na manhã do período chuvoso; 27,6°C e 27,9°C na noite do período seco; e entre 23,2°C e 23,5°C na manhã do período seco. Esta classe ocupa 10,89 hectares na cidade (0,18%), de acordo com o mapa das LCZ.

Figura 28 - Distribuição espacial da LCZ 5



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 29 - Ficha técnica da LCZ 5

LCZ	Aberta de média elevação	5
DEFINIÇÃO		
Construções pontuais, de média elevação (acima de 3 andares). Materiais de construção predominantes são o tijolo e o concreto. A cobertura das edificações são metálicas ou com a laje aparente. Cobertura de terra em sua maior parte pavimentada, ruas com asfalto (algumas em pedra tosca), com poucas ou nenhuma árvore. Função predominantemente residencial, com médio a alto fluxo de veículos e pessoas. Localização: algumas áreas entre os bairros Planalto Renascer e Planalto Universitário; e entre os bairros Centro e Combate.		
ILUSTRAÇÃO		
Representação 	Vista Oblíqua	  
	Vista Lateral	  
PROPRIEDADES		
Altura da rugosidade superficial (baixa, média ou alta):	média	
Fração de superfície impermeável (baixa, média ou alta):	média/alta	
Fluxo de tráfego (nulo, baixo, médio ou alto):	médio/alto	
Temp. média do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,1°C e 23,3°C - respectivamente	
Temp. média do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,0°C e 27,3°C - respectivamente	
Temp. mínima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,0°C e 23,2°C - respectivamente	
Temp. mínima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,0°C e 27,6°C - respectivamente	
Temp. máxima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,1°C e 23,5°C - respectivamente	
Temp. máxima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,0°C e 27,9°C - respectivamente	
Obs: as temperaturas são referentes aos transectos móveis realizados		

Fonte: elaborado pelo autor

- **LCZ 6**

Nesta classe as construções são espaçadas e com baixa elevação. O material de construção predominante é o tijolo. As edificações são cobertas em sua maioria com telha cerâmica.

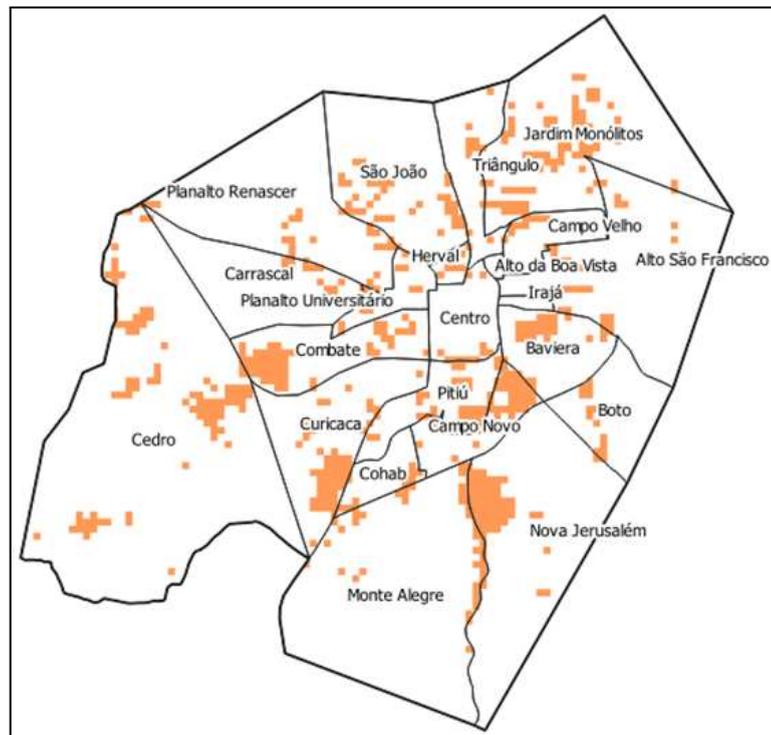
A cobertura de terra em sua maior parte é pavimentada com bloquetes de concreto (condomínios) ou terra batida (algumas ruas mais afastadas do centro),

com poucas ou nenhuma árvore. A função predominantemente é residencial, com baixo fluxo de veículos e pessoas.

A LCZ 6 está presente em todos os bairros da cidade, mas sua maior concentração está nos bairros Cedro, Combate, Curicaca, Campo Novo e Nova Jerusalém.

Dos 178 pontos do transecto móvel, 30 deles pertencem a esta classe, e suas temperaturas se comportaram da seguinte forma: entre 22,3°C e 24°C na noite do período chuvoso; 22,5°C e 24°C na manhã do período chuvoso; 26,7°C e 27,7°C na noite do período seco; e entre 22°C e 23,6°C na manhã do período seco. Esta classe ocupa 641,69 hectares na cidade (10,65%), de acordo com o mapa das LCZ.

Figura 30 - Distribuição espacial da LCZ 6



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 31 - Ficha técnica da LCZ 6

LCZ	Aberta de baixa elevação	6
DEFINIÇÃO		
Construções espaçadas, de baixa elevação. O material de construção predominante é o tijolo. A cobertura das edificações são na maioria com telha cerâmica. Cobertura de terra em sua maior parte é pavimentada com bloquetes de concreto (condomínios) ou terra batida (algumas ruas mais afastadas do centro), com poucas ou nenhuma árvore. A função predominantemente é residencial, com baixo fluxo de veículos e pessoas. Localização: em diversos pontos, mas a maioria se concentra nos bairros Cedro, Combate, Curicaca, Campo Novo e Nova Jerusalém.		
ILUSTRAÇÃO		
Representação 	Vista Oblíqua	  
	Vista Lateral	  
PROPRIEDADES		
Altura da rugosidade superficial (baixa, média ou alta):	baixa	
Fração de superfície impermeável (baixa, média ou alta):	média	
Fluxo de tráfego (nulo, baixo, médio ou alto):	baixo	
Temp. média do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,3°C e 23,0°C - respectivamente	
Temp. média do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,9°C e 27,2°C - respectivamente	
Temp. mínima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	22,5°C e 22,0°C - respectivamente	
Temp. mínima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,3°C e 26,7°C - respectivamente	
Temp. máxima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	24,0°C e 23,6°C - respectivamente	
Temp. máxima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	24,0°C e 27,7°C - respectivamente	
Obs: as temperaturas são referentes aos transectos móveis realizados		

Fonte: elaborado pelo autor

- **LCZ 7**

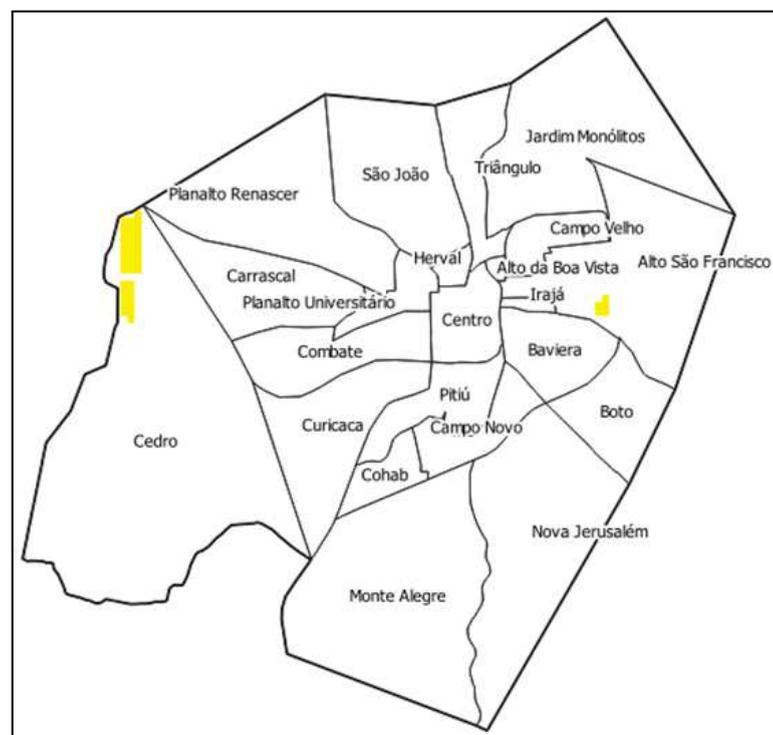
Classe densamente construída, com edificações de baixa elevação. O material de construção predominante é o tijolo. As edificações são cobertas em sua maioria com telha cerâmica.

A cobertura de terra em sua maior parte é feita com pavimentação em pedra tosca, com poucas ruas asfaltadas e poucas árvores. Sua função

predominantemente residencial, com baixo a médio fluxo de veículos e pessoas. Sua presença é notada no bairro Cedro, no condomínio Rachel de Queiroz e uma pequena parte no bairro Alto São Francisco.

Dos 178 pontos do transecto móvel, 4 deles pertencem a esta classe, e suas temperaturas se comportaram da seguinte forma: entre 22,7°C e 23,2°C na noite do período chuvoso; 22,7°C e 23,3°C na manhã do período chuvoso; 27,7°C na noite do período seco (não houve variação); e entre 23,9°C e 24,3°C na manhã do período seco. Esta classe ocupa 40,58 hectares na cidade (0,67%), de acordo com o mapa das LCZ.

Figura 32 - Distribuição espacial da LCZ 7



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 33 - Ficha técnica da LCZ 7

LCZ	Compacta pouco consolidada de baixa elev.	7		
DEFINIÇÃO				
Densamente construída, construções de baixa elevação. O material de construção predominante é o tijolo. A cobertura das edificações são na maioria com telha cerâmica. Cobertura de terra em sua maior parte pavimentada com pedra tosca (poucas ruas asfaltadas), com poucas árvores. Função predominantemente residencial, com baixo a médio fluxo de veículos e pessoas. Localização: a maior parte desta classe fica ao norte do bairro Cedro, no condomínio Rachel de Queiroz e uma pequena parte no bairro Alto São Francisco.				
ILUSTRAÇÃO				
Representação 	Vista Oblíqua			
	Vista Lateral			
PROPRIEDADES				
Altura da rugosidade superficial (baixa, média ou alta):	baixa			
Fração de superfície impermeável (baixa, média ou alta):	média			
Fluxo de tráfego (nulo, baixo, médio ou alto):	médio/baixo			
Temp. média do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,0°C e 24,1°C - respectivamente			
Temp. média do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,0°C e 27,7°C - respectivamente			
Temp. mínima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	22,7°C e 23,9°C - respectivamente			
Temp. mínima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,7°C e 27,7°C - respectivamente			
Temp. máxima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,3°C e 24,3°C - respectivamente			
Temp. máxima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,2°C e 27,7°C - respectivamente			
Obs: as temperaturas são referentes aos transectos móveis realizados				

Fonte: elaborado pelo autor

- **LCZ 8**

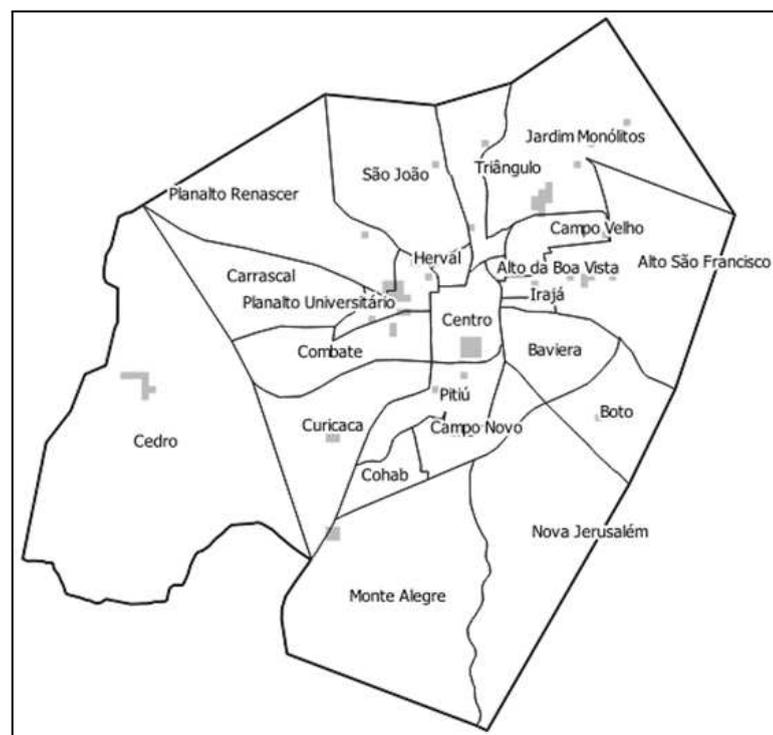
A classe 8 possui grandes construções, como ginásios e galpões. Os materiais de construção predominantes são o tijolo e o concreto. As edificações são cobertas por telhas metálicas ou fibrocimento.

A cobertura de terra em sua maior parte é pavimentada com ruas asfaltadas e há presença de poucas ou nenhuma árvore. Têm função predominantemente

comercial ou serviços, com médio/baixo fluxo de veículos e pessoas. Está presente nos bairros Centro, Putiú, Curicaca, Monte Alegre, Cedro, Combate, Planalto Universitário, Planalto Renascer, São João, Triângulo, Jardim Monólitos e Alto São Francisco.

Dos 178 pontos do transecto móvel, 17 deles pertencem a esta classe, e suas temperaturas se comportaram da seguinte forma: entre 22,3°C e 24,1°C na noite do período chuvoso; 22,9°C e 24°C na manhã do período chuvoso; 26,9°C e 27,7°C na noite do período seco; e entre 22,3°C e 23,9°C na manhã do período seco. Esta classe ocupa 74,23 hectares na cidade (1,23%), de acordo com o mapa das LCZ.

Figura 34 - Distribuição espacial da LCZ 8



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 35 - Ficha técnica da LCZ 8

LCZ	Grandes construções de baixa elevação	8
DEFINIÇÃO		
Grandes construções, como ginásios e galpões. Materiais de construção predominantes são o tijolo e o concreto. A cobertura das edificações são com telhas metálicas ou fibrocimento. Cobertura de terra em sua maior parte pavimentada, ruas com asfalto, com poucas ou nenhuma árvore. Função predominantemente comercial ou serviços, com médio/baixo fluxo de veículos e pessoas. Localização: principalmente em áreas dos bairros Planalto Renascer, Planalto Universitário, Jardim Monólitos, Centro, Alto São Francisco e Curicaca.		
ILUSTRAÇÃO		
Representação 	Vista Oblíqua   	
	Vista Lateral   	
PROPRIEDADES		
Altura da rugosidade superficial (baixa, média ou alta):	média	
Fração de superfície impermeável (baixa, média ou alta):	média	
Fluxo de tráfego (nulo, baixo, médio ou alto):	médio/baixo	
Temp. média do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,4°C e 23,3°C - respectivamente	
Temp. média do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,1°C e 27,4°C - respectivamente	
Temp. mínima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	22,9°C e 22,3°C - respectivamente	
Temp. mínima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,3°C e 26,9°C - respectivamente	
Temp. máxima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	24,0°C e 23,9°C - respectivamente	
Temp. máxima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	24,1°C e 27,7°C - respectivamente	
Obs: as temperaturas são referentes aos transectos móveis realizados		

Fonte: elaborado pelo autor

- **LCZ 9**

Esta LCZ possui construções espaçadas, de baixa elevação. O material de construção predominante é o tijolo. As edificações são cobertas por telha cerâmica.

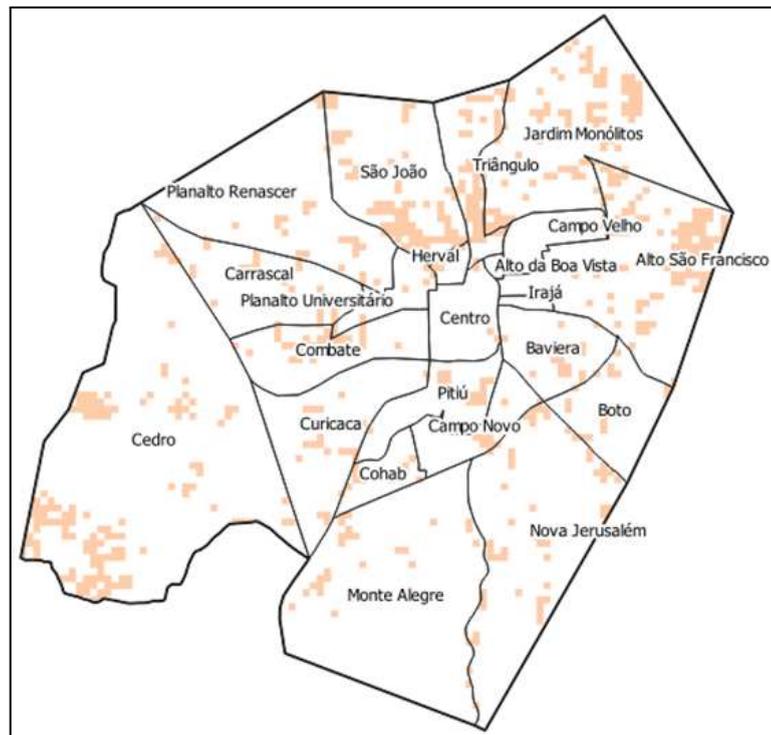
A cobertura de terra em sua maior parte é em terreno natural, podendo ter a presença de uma vegetação arbustiva entre as edificações. Sua função é

predominantemente residencial, com baixo fluxo de pessoas e baixo a médio fluxo de veículos (próximo à algumas vias do transecto).

Está presente em todos os bairros da cidade, mas pode-se notar as maiores manchas nos bairros São João, Triângulo, Jardim Monólitos, Alto São Francisco, Combate e Cedro.

Dos 178 pontos do transecto móvel, 18 deles pertencem a esta classe, e suas temperaturas se comportaram da seguinte forma: entre 22,3°C e 23,6°C na noite do período chuvoso; 22,3°C e 23,9°C na manhã do período chuvoso; 27,1°C e 27,7°C na noite do período seco; e entre 22°C e 23,9°C na manhã do período seco. Esta classe ocupa 710,04 hectares na cidade (11,78%), de acordo com o mapa das LCZ.

Figura 36 - Distribuição espacial da LCZ 9



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 37 - Ficha técnica da LCZ 9

LCZ	Construção esparsa		9	
DEFINIÇÃO				
Construções espaçadas, de baixa elevação. O material de construção predominante é o tijolo. A cobertura das edificações são de telha cerâmica. A cobertura de terra em sua maior parte é em terreno natural, podendo ter a presença de uma vegetação arbustiva ao entre as edificações. A função predominantemente é residencial, com baixo fluxo de pessoas e baixo a médio fluxo de veículos (parte desta classe está próxima à vias do transecto). Localização: toda a sede urbana, mas principalmente nos bairros São João, Triângulo, Jardim Monólitos e Alto São Francisco.				
ILUSTRAÇÃO				
Representação 	Vista Oblíqua			
	Vista Lateral			
PROPRIEDADES				
Altura da rugosidade superficial (baixa, média ou alta):	baixa			
Fração de superfície impermeável (baixa, média ou alta):	média/baixa			
Fluxo de tráfego (nulo, baixo, médio ou alto):	médio/baixo			
Temp. média do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,0°C e 22,7°C - respectivamente			
Temp. média do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,8°C e 27,3°C - respectivamente			
Temp. mínima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	22,3°C e 22,0°C - respectivamente			
Temp. mínima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,3°C e 27,1°C - respectivamente			
Temp. máxima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,9°C e 23,9°C - respectivamente			
Temp. máxima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,6°C e 27,7°C - respectivamente			
Obs: as temperaturas são referentes aos transectos móveis realizados				

Fonte: elaborado pelo autor

- **LCZ B**

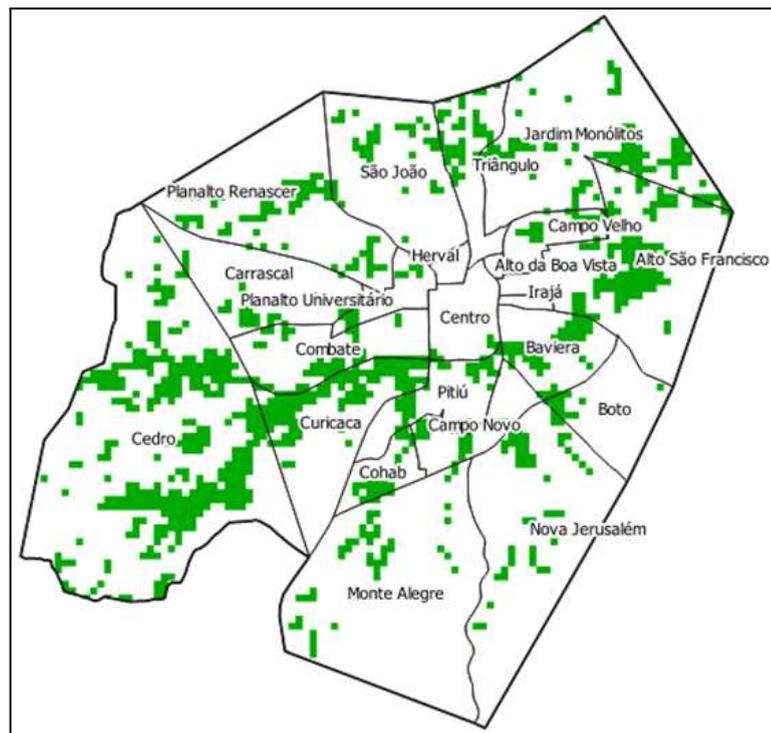
A classe B possui a característica de ser levemente arborizada, contendo espécies vegetais de maior porte, mas espaçadas. As árvores estão dispostas no terreno com a presença de vegetação rasteira entre elas. No período chuvoso fica mais evidente sua observação.

Existem algumas vias que cortam esta classe, podendo haver fluxo médio a baixo de veículos. Tem função arbórea, podendo ser remanescentes de áreas naturais ou replantio.

Sua presença se dá em quase todos os bairros da cidade, exceto em Irajá, Alto da Boa Vista e Herval, mas pode ser vista em áreas maiores principalmente nos bairros Alto São Francisco, Jardim Monólitos, Baviera, Curicaca, Combate e Cedro.

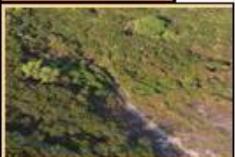
Dos 178 pontos do transecto móvel, 7 deles pertencem a esta classe, e suas temperaturas se comportaram da seguinte forma: entre 22,6°C e 23,3°C na noite do período chuvoso; 22,6°C e 23,9°C na manhã do período chuvoso; 27,1°C e 27,6°C na noite do período seco; e entre 22°C e 23,5°C na manhã do período seco. Esta classe ocupa 1.058,57 hectares na cidade (17,57%), de acordo com o mapa das LCZ.

Figura 38 - Distribuição espacial da LCZ B



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 39 - Ficha técnica da LCZ B

LCZ	Vegetação arbórea esparsa		B	
DEFINIÇÃO				
Levemente arborizada, com as espécies vegetais de maior porte espaçadas. As árvores estão dispostas no terreno com a presença de vegetação rasteira entre elas. Existem algumas vias que cortam esta classe, podendo haver fluxo médio a baixo de veículos. Tem função arbórea, remanescentes de áreas naturais ou replantio. Localização: locais mais afastados do centro da cidade, principalmente nos bairros Alto São Francisco, Jardim Monólitos, Baviera, Curicaca, Combate e Cedro.				
ILUSTRAÇÃO				
Representação 	Vista Oblíqua			
	Vista Lateral			
PROPRIEDADES				
Altura da rugosidade superficial (baixa, média ou alta):	média			
Fração de superfície impermeável (baixa, média ou alta):	baixa			
Fluxo de tráfego (nulo, baixo, médio ou alto):	médio/baixo			
Temp. média do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,2°C e 22,5°C - respectivamente			
Temp. média do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,8°C e 27,3°C - respectivamente			
Temp. mínima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	22,6°C e 22,0°C - respectivamente			
Temp. mínima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,6°C e 27,1°C - respectivamente			
Temp. máxima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	23,9°C e 23,5°C - respectivamente			
Temp. máxima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,3°C e 27,6°C - respectivamente			
Obs: as temperaturas são referentes aos transectos móveis realizados				

Fonte: elaborado pelo autor

- **LCZ C**

Esta LCZ apresenta vegetação de porte menor, arbustivo, podendo haver gramíneas entre estas espécies. Existem algumas vias que cortam esta classe, contanto, o fluxo de veículos pode ser de médio a baixo.

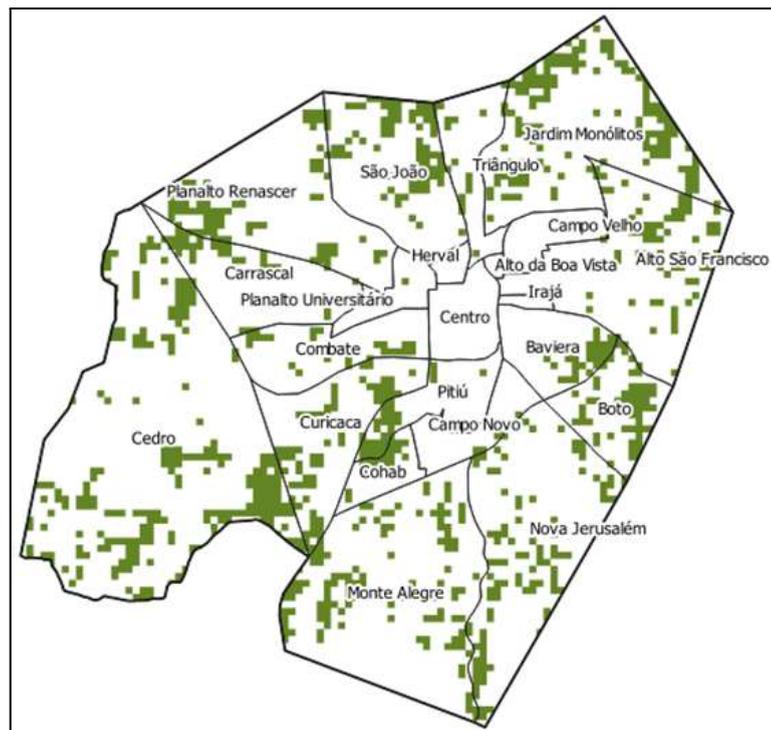
Tem função arbustiva, podendo ser remanescentes de áreas naturais, locais que podem ter tido supressão vegetal para a construção civil mas que não foram

utilizados, antigos locais com função de pastagem ou de áreas de pouso, por exemplo.

Está presente em quase todos os bairros da cidade, exceto no Centro, Irajá, Alto da Boa Vista e Herval, podendo ser vista em áreas maiores nos bairros Alto São Francisco, Jardim Monólitos, São João, Planalto Renascer, Cohab, Baviera, Monte Alegre, Nova Jerusalém, Curicaca, Boto e Cedro.

Dos 178 pontos do transecto móvel, 17 deles pertencem a esta classe, e suas temperaturas se comportaram da seguinte forma: entre 22,3°C e 23,4°C na noite do período chuvoso; 22,2°C e 23,9°C na manhã do período chuvoso; 26,7°C e 27,5°C na noite do período seco; e entre 21,5°C e 23,1°C na manhã do período seco. Esta classe ocupa 1.078,64 hectares na cidade (17,9%), de acordo com o mapa das LCZ.

Figura 40 - Distribuição espacial da LCZ C



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 41 - Ficha técnica da LCZ C

LCZ	Vegetação arbustiva		C	
DEFINIÇÃO				
Classe que apresenta vegetação arbustiva. As espécies estão dispostas no terreno podendo haver presença de gramíneas entre elas. Existem algumas vias que cortam esta classe, contanto, o fluxo de veículos pode ser de médio a baixo. Tem função arbustiva, remanescentes de áreas naturais ou de áreas de pousio, por exemplo. Localização: locais mais afastados do centro da cidade, principalmente nos bairros Alto São Francisco, Jardim Monólitos, São João, Planalto Renascer, Cohab, Baviera, Monte Alegre, Nova Jerusalém, Curicaca, Boto e Cedro.				
ILUSTRAÇÃO				
Representação 	Vista Oblíqua			
	Vista Lateral			
PROPRIEDADES				
Altura da rugosidade superficial (baixa, média ou alta):		baixa		
Fração de superfície impermeável (baixa, média ou alta):		baixa		
Fluxo de tráfego (nulo, baixo, médio ou alto):		médio/baixo		
Temp. média do ar (manhã) no período chuvoso e seco:		22,7°C e 22,6°C - respectivamente		
Temp. média do ar (noite) no período chuvoso e seco:		22,8°C e 27,3°C - respectivamente		
Temp. mínima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:		22,2°C e 21,5°C - respectivamente		
Temp. mínima do ar (noite) no período chuvoso e seco:		22,3°C e 26,7°C - respectivamente		
Temp. máxima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:		23,9°C e 23,1°C - respectivamente		
Temp. máxima do ar (noite) no período chuvoso e seco:		23,4°C e 27,5°C - respectivamente		
Obs: as temperaturas são referentes aos transectos móveis realizados				

Fonte: elaborado pelo autor

- **LCZ D**

Das classes de cobertura da terra esta é a que tem o menor porte vegetal, composta por espécies herbáceas e rasteiras, como gramíneas ou outro tipo de vegetação.

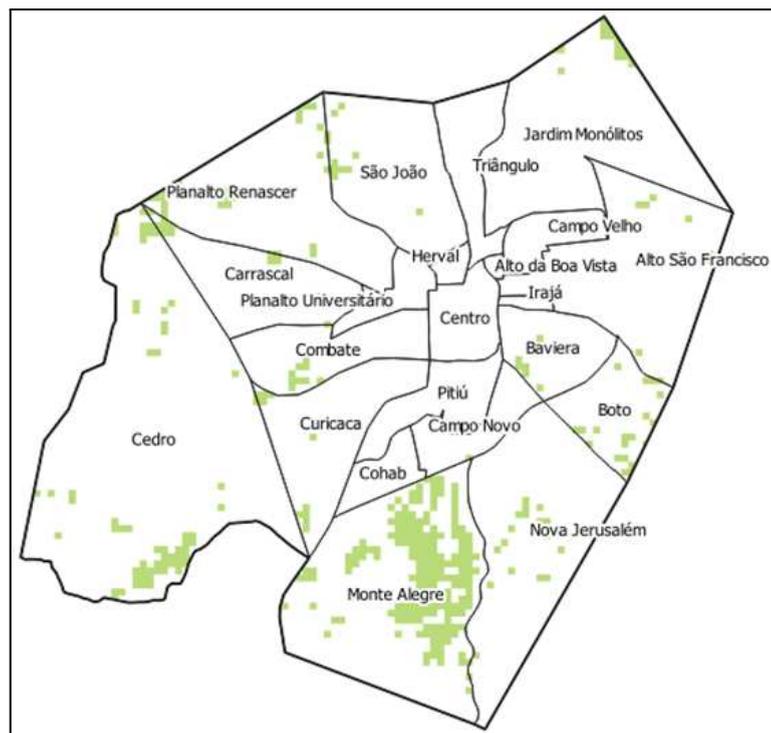
Existem algumas vias que cortam esta classe, contanto, o fluxo de veículos pode ser de médio a baixo. Os locais que têm a presença da LCZ D podem ser

áreas naturais que tiveram supressão vegetal ou áreas com função de pasto, por exemplo.

Está localizada em áreas mais afastadas de manchas urbanas, principalmente nos bairros Monte Alegre (maior presença), Nova Jerusalém, Cedro, Carrascal, Planalto Renascer, Boto, Baviera, Alto São Francisco, São João, Combate, Curicaca e Jardim Monólitos.

Dos 178 pontos do transecto móvel, 11 deles pertencem a esta classe, e suas temperaturas se comportaram da seguinte forma: entre 22,3°C e 23,3°C na noite do período chuvoso; 22,5°C e 23,9°C na manhã do período chuvoso; 26,9°C e 27,5°C na noite do período seco; e entre 22°C e 23,3°C na manhã do período seco. Esta classe ocupa 380,14 hectares na cidade (6,31%), de acordo com o mapa das LCZ.

Figura 42 - Distribuição espacial da LCZ D



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 43 - Ficha técnica da LCZ D

LCZ	Vegetação rasteira		D	
DEFINIÇÃO				
Classe que apresenta vegetação rasteira. As espécies podem ser gramíneas ou outro tipo de vegetação herbácea. Existem algumas vias que cortam esta classe, contanto, o fluxo de veículos pode ser de médio a baixo. Podem ser áreas naturais que tiveram supressão vegetal ou áreas de pasto, por exemplo. Localização: locais mais afastados das áreas mais urbanizadas, principalmente nos bairros Monte Alegre, Cedro, Carrascal, Planalto Renascer, Boto, Combate e Jardim Monólitos.				
ILUSTRAÇÃO				
Representação	Vista Oblíqua			
	Vista Lateral			
PROPRIEDADES				
Altura da rugosidade superficial (baixa, média ou alta):		baixa		
Fração de superfície impermeável (baixa, média ou alta):		baixa		
Fluxo de tráfego (nulo, baixo, médio ou alto):		médio/baixo		
Temp. média do ar (manhã) no período chuvoso e seco:		22,9°C e 22,6 °C - respectivamente		
Temp. média do ar (noite) no período chuvoso e seco:		22,7°C e 27,3°C - respectivamente		
Temp. mínima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:		22,5°C e 22,0°C - respectivamente		
Temp. mínima do ar (noite) no período chuvoso e seco:		22,3°C e 26,9°C - respectivamente		
Temp. máxima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:		23,9°C e 23,3°C - respectivamente		
Temp. máxima do ar (noite) no período chuvoso e seco:		23,3°C e 27,5°C - respectivamente		
Obs: as temperaturas são referentes aos transectos móveis realizados				

Fonte: elaborado pelo autor

- **LCZ F**

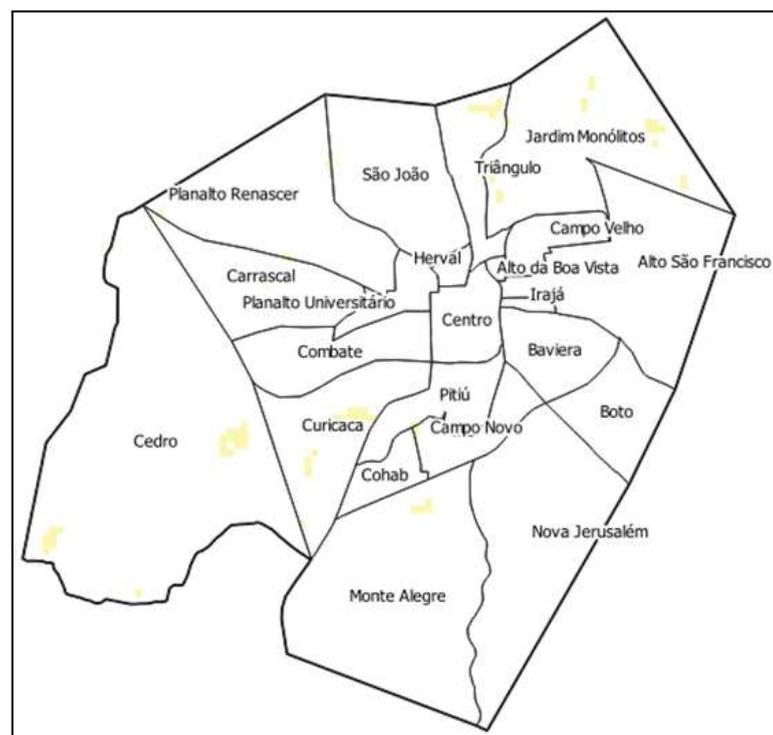
Esta classe se define como sendo a que apresenta o solo exposto ou áreas arenosas devido à ação natural (onde a vegetação vem tendo perdas por erosão, por exemplo) ou humana (supressão vegetal com função voltada para a construção civil, por exemplo). Existe pouca ou nenhuma vegetação herbácea (rasteira).

Algumas vias que cortam esta classe, contanto, o fluxo de veículos pode ser de médio a baixo. Suas áreas são bem pontuais na sede urbana de Quixadá, e está

presente nos bairros Cedro, Curicaca, Monte Alegre, Planalto Renascer, Carrascal, Triângulo, Jardim Monólitos e no encontro entre os bairros Putiú, Cohab e Campo Novo.

Dos 178 pontos do transecto móvel, 2 deles pertencem a esta classe, e suas temperaturas se comportaram da seguinte forma: entre 22,6°C e 22,7°C na noite do período chuvoso; 22,5°C na manhã do período chuvoso (não houve variação); 27,3°C na noite do período seco (não houve variação); e entre 22,8°C e 23,2°C na manhã do período seco. Esta classe ocupa 71,95 hectares na cidade (1,19%), de acordo com o mapa das LCZ.

Figura 44 - Distribuição espacial da LCZ F



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 45 - Ficha técnica da LCZ F

LCZ	Solo exposto/areia		F	
DEFINIÇÃO				
Esta classe se define como sendo a que apresenta o solo exposto ou áreas arenosas devido à ação natural (onde a vegetação vem tendo perdas por erosão, por exemplo) ou humana (supressão vegetal para construção civil, por exemplo). Existe pouca ou nenhuma vegetação herbácea (rasteira). Existem algumas vias que cortam esta classe, contanto, o fluxo de veículos pode ser de médio a baixo. Suas áreas são bem pontuais na sede urbana de Quixadá, presente principalmente nos bairros Cedro, Curicaca, Monte Alegre, Planalto Renascer, Triângulo e Jardim Monólitos.				
ILUSTRAÇÃO				
Representação 	Vista Oblíqua			
	Vista Lateral			
PROPRIEDADES				
Altura da rugosidade superficial (baixa, média ou alta):	baixa			
Fração de superfície impermeável (baixa, média ou alta):	baixa			
Fluxo de tráfego (nulo, baixo, médio ou alto):	médio/baixo			
Temp. média do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	22,5°C e 23,0°C - respectivamente			
Temp. média do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,7°C e 27,3°C - respectivamente			
Temp. mínima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	22,5°C e 22,8°C - respectivamente			
Temp. mínima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,6°C e 27,3°C - respectivamente			
Temp. máxima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	22,5°C e 23,2°C - respectivamente			
Temp. máxima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,7°C e 27,3°C - respectivamente			
Obs: as temperaturas são referentes aos transectos móveis realizados				

Fonte: elaborado pelo autor

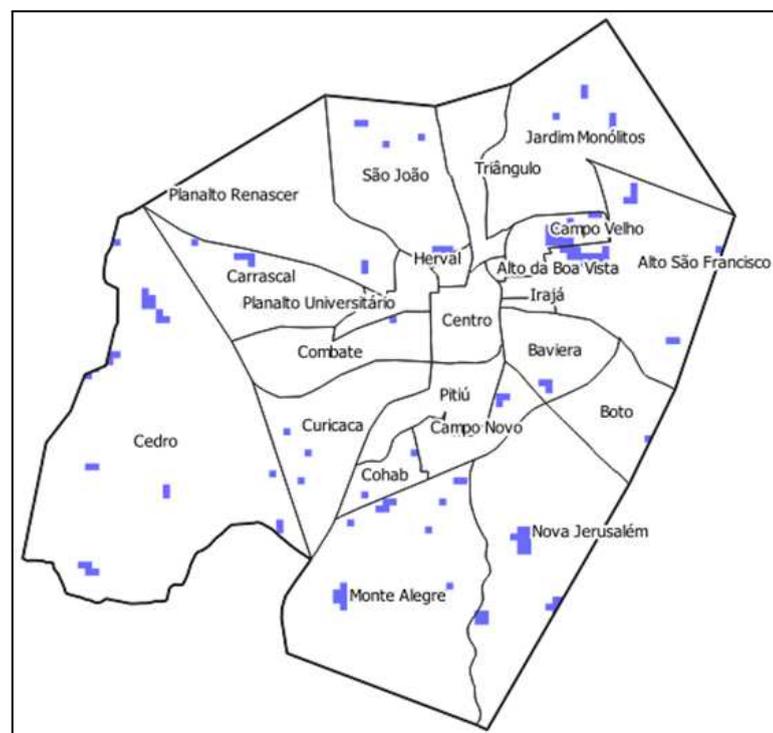
- **LCZ G**

Esta classe corresponde à presença de água. Pequenas lagoas ou brejos estão presentes na sede urbana de Quixadá, sendo a maior delas a Lagoa dos Monólitos, à Nordeste da sede urbana, entre os bairros Campo Velho e Alto São Francisco, tendo a função principal de lazer. Quase todos os bairros da cidade possuem corpos hídricos, exceto no Centro, Planalto Universitário, Herval, Triângulo, Alto da Boa Vista e Irajá.

Existem algumas vias que cortam esta classe, contanto, o fluxo de veículos pode ser de médio a baixo próximo à Lagoa dos Monólitos, pela Estrada do Algodão (BR 122).

Dos 178 pontos do transecto móvel, 7 deles pertencem a esta classe, e suas temperaturas se comportaram da seguinte forma: entre 22,3°C e 23,4°C na noite do período chuvoso; 22,2°C e 22,9°C na manhã do período chuvoso; 27,2°C e 27,5°C na noite do período seco; e entre 21,8°C e 23°C na manhã do período seco. Esta classe ocupa 129,76 hectares na cidade (2,15%), de acordo com o mapa das LCZ.

Figura 46 - Distribuição espacial da LCZ G



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 47 - Ficha técnica da LCZ G

LCZ	Água		G	
DEFINIÇÃO				
Pequenas lagoas ou brejos estão presentes na sede urbana de Quixadá, mais afastadas do centro da cidade, sendo a maior delas a Lagoa dos Monólitos, à Nordeste da sede urbana, entre os bairros Campo Velho e Alto São Francisco, tendo a função principal de lazer. Existem algumas vias que cortam esta classe, contanto, o fluxo de veículos pode ser de médio a baixo próximo à Lagoa dos Monólitos, pela Estrada do Algodão (BR 122).				
ILUSTRAÇÃO				
Representação 	Vista Oblíqua			
	Vista Lateral			
PROPRIEDADES				
Altura da rugosidade superficial (baixa, média ou alta):	baixa			
Fração de superfície impermeável (baixa, média ou alta):	baixa			
Fluxo de tráfego (nulo, baixo, médio ou alto):	médio/baixo			
Temp. média do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	22,6°C e 22,5°C - respectivamente			
Temp. média do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,9°C e 27,3°C - respectivamente			
Temp. mínima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	22,2°C e 21,8°C - respectivamente			
Temp. mínima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	22,3°C e 27,2°C - respectivamente			
Temp. máxima do ar (manhã) no período chuvoso e seco:	22,9°C e 23,0°C - respectivamente			
Temp. máxima do ar (noite) no período chuvoso e seco:	23,4°C e 27,5°C - respectivamente			
Obs: as temperaturas são referentes aos transectos móveis realizados				

Fonte: elaborado pelo autor

5.2 - O campo térmico da cidade de Quixadá a partir de transectos móveis

Os diferentes usos do solo, detalhadas anteriormente através das fichas técnicas, fazem surgir diferenças térmicas, evidenciadas através da coleta da temperatura do ar através dos transectos móveis.

A realização dos transectos tem sua importância, pois dão o entendimento do funcionamento microclimático da cidade em diferentes períodos do ano, e se as ilhas de calor se revelam (ou não) com maior intensidade em algum desses momentos.

Adiante será feita uma análise sinótica dos dias que foram realizados os registros das temperaturas do ar, as diferenças térmicas durante os transectos e comparação entre eles, além de apresentar as ilhas de calor existentes na cidade.

5.2.1 - Condições sinóticas nos dias das medições

A dinâmica atmosférica durante os campos para a coleta da temperatura do ar é diferente. No primeiro campo (maio), a atmosfera se apresenta mais instável, com maior nebulosidade, ainda podendo ocorrer algum evento de precipitação pluviométrica, mesmo estando no fim do período chuvoso. Já na segunda visita a Quixadá para o registro da temperatura do ar (novembro), a atmosfera tem um comportamento mais estável, com menor nebulosidade e tempo aberto.

Esse ritmo atmosférico é o geral durante o período do ano, mas, nem sempre é assim, podem ocorrer eventos que interfiram na coleta de dados, no caso deste trabalho, a chuva é um elemento que pode atrapalhar o rito do transecto móvel, pois, ele deve ser realizado (se possível) em dias onde o tempo atmosférico seja estável (poucas ou nenhuma nuvem e com baixa velocidade do vento). A seguir, serão apresentadas as análises sinóticas nos dias que foram feitos os transectos.

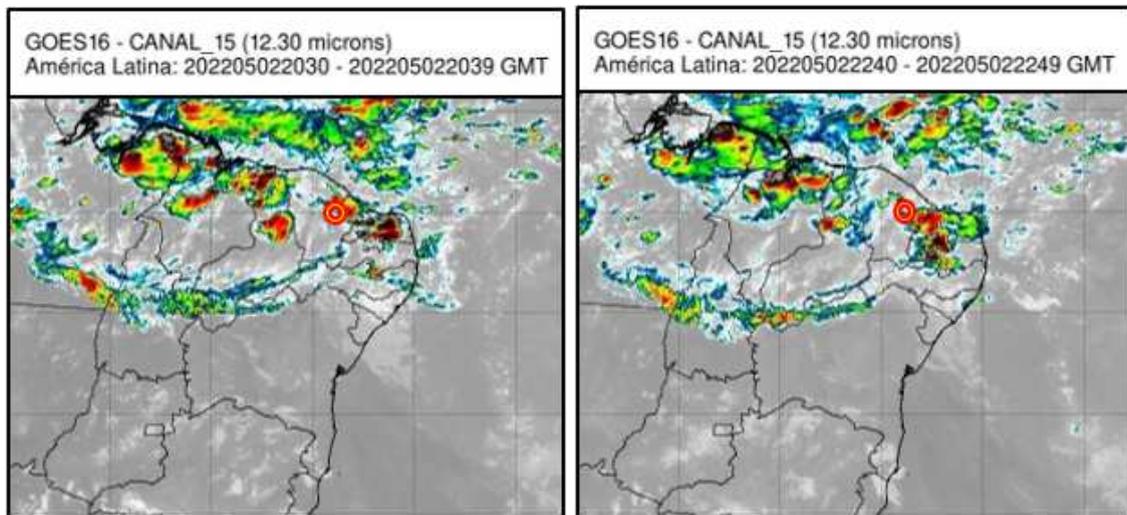
Dia 02/05/22 – noite (dados não foram utilizados)

Ocorreu uma chuva fraca momentos antes da realização do transecto noturno, no final da tarde, entre 17 e 17:30h. Houve uma formação de núcleos convectivos próximos à sede de Quixadá devido à atuação da ZCIT. Essa precipitação ajudou a resfriar a cidade.

Durante o transecto, o tempo estava parcialmente nublado devido ainda à proximidade dos núcleos convectivos que causaram a chuva no fim da tarde, e ocorreu uma garoa entre os pontos 154 a 156, e entre os pontos 166 a 172. A

seguir, imagens do satélite GOES 16 mostrando a nebulosidade ao final da tarde e durante o trajeto próximo à sede de Quixadá (círculo amarelo com borda vermelha).

Figura 48 - Imagens GOES 16 às 17:30h (à esquerda) e 19:40h (à direita)



Fonte: INPE/DSA

Dia 03/05/22 – manhã (dados não foram utilizados)

O dia começou com tempo estável e poucas nuvens, mas, por ter iniciado o transecto próximo das 06h, o sensor recebeu radiação solar direta, interferindo nos registros dos pontos 75 a 119 e 164 a 169. A seguir, imagem do satélite GOES 16. A sede de Quixadá está nas proximidades do círculo amarelo com borda vermelha.

Figura 49 - Imagem GOES 16 às 05:00h



Fonte: INPE/DSA

Dia 03/05/22 – noite (dados foram utilizados)

Chuva forte entre 18 e 18:20h. Assim como no dia anterior, houve uma formação de núcleos convectivos ao final da tarde próximos sobre a sede de Quixadá devido à atuação da ZCIT. Essa precipitação ajudou a retirar da cidade a energia acumulada pela radiação solar durante o dia.

Ao realizar o trajeto noturno, o tempo ainda estava parcialmente nublado e ocorreu uma chuva fraca sobre o município. Próximo do fim do transecto, ocorreu uma garoa entre os pontos 159 e 163. Abaixo, a imagem do satélite GOES16 mostrando as condições de nebulosidade durante o transecto. A sede urbana de Quixadá está destacada por um círculo amarelo com borda vermelha.

Figura 50 - Imagem GOES 16 às 19:40h

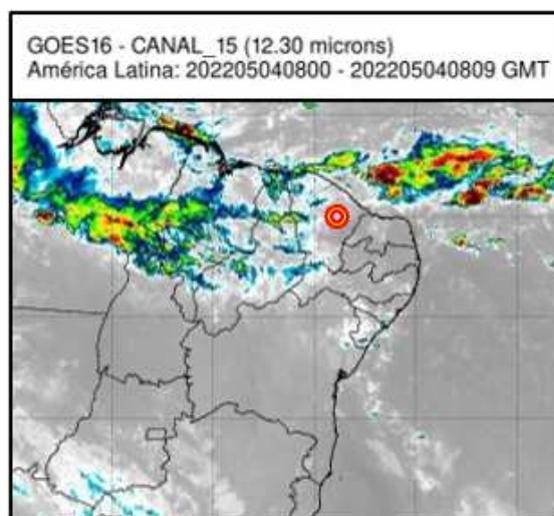


Fonte: INPE/DSA

Dia 04/05/22 – manhã (dados foram utilizados)

No início do transecto estava nublado, 6/8 na escala de oitavos, ao fim do transecto, havia menos nuvens, numa escala de oitavos em 3/8 (VAREJÃO-SILVA, 2006, p.335). Não houve chuva antes ou durante o trajeto, nem via molhada ou úmida. A seguir, uma imagem do satélite GOES 16 mostrando a condição de nebulosidade no momento do percurso. A sede urbana de Quixadá está identificada por um círculo amarelo com borda vermelha.

Figura 51 - Imagem GOES 16 às 05:00h



Fonte: INPE/DSA

Dia 03/11/22 – noite (dados foram utilizados)

A tarde deste dia apresentou pouca nebulosidade, conseqüentemente, bastante insolação sobre a cidade. Durante a execução do transecto, o tempo permaneceu aberto, sem nuvens. A seguir, imagem do satélite GOES 16 apresentando a condição de tempo na realização do percurso. A sede urbana de Quixadá está nas proximidades do círculo amarelo com borda vermelha.

Figura 52 - Imagem GOES 16 às 19:40h



Fonte: INPE/DSA

Dia 04/11/22 – manhã (dados não foram utilizados)

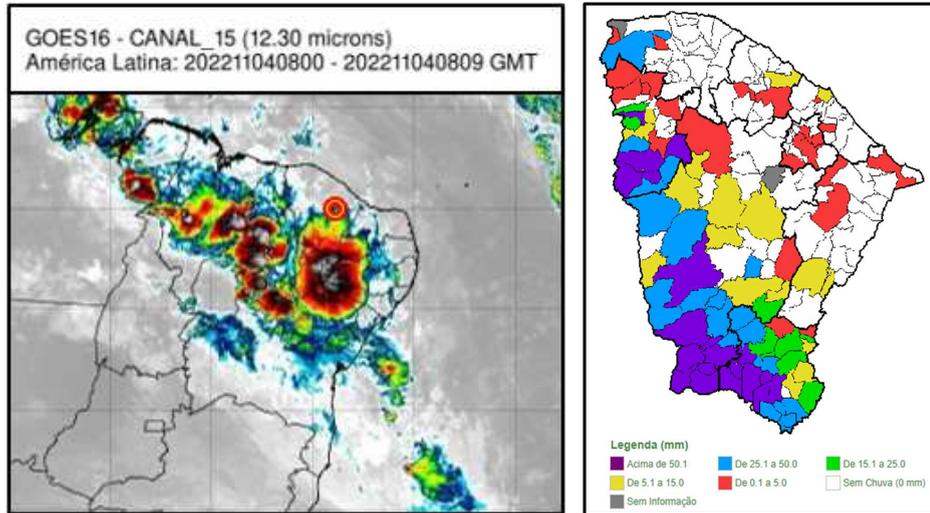
Tempo nublado durante boa parte do transecto, asfalto molhado entre os pontos 61 e 91. Ocorreu chuva entre os pontos 100 e 131. O asfalto se manteve molhado até o ponto 137, além do trecho nos últimos 9 pontos (170 a 178) apresentar terra batida com solo úmido.

Essa chuva foi devido à atuação de resquícios de uma frente fria que teve força o suficiente para causar precipitações na região central e sul do estado, com acumulados que chegaram a 146mm no município de Campos Sales, de acordo com a FUNCEME.

Abaixo, a imagem do satélite GOES 16 ilustrando a condição de tempo durante o transecto e o mapa de precipitação do dia 04/11/22, elaborado pela

FUNCEME. A sede de Quixadá está nas proximidades do círculo amarelo com borda vermelha.

Figura 53 - Imagem GOES 16 às 05:00h e mapa de precipitação



Fonte: INPE/DSA e FUNCEME

Dia 04/11/22 – noite (dados não foram utilizados)

Tempo parcialmente nublado ainda devido à ação da frente fria que chegou ao Ceará. Devido a essa nebulosidade, ocorreu chuva durante a execução do transecto: garoa entre os pontos 67 e 69; 78 e 86, e por um tempo maior entre os pontos 90 e 125 (sendo mais intensa do ponto 100 ao 103).

A seguir, imagem do satélite GOES 16, onde é possível ainda ver a configuração da frente fria. Destaque para a sede urbana de Quixadá, que se encontra próxima ao círculo amarelo com borda vermelha.

Figura 54 - Imagem GOES 16 às 19:40h



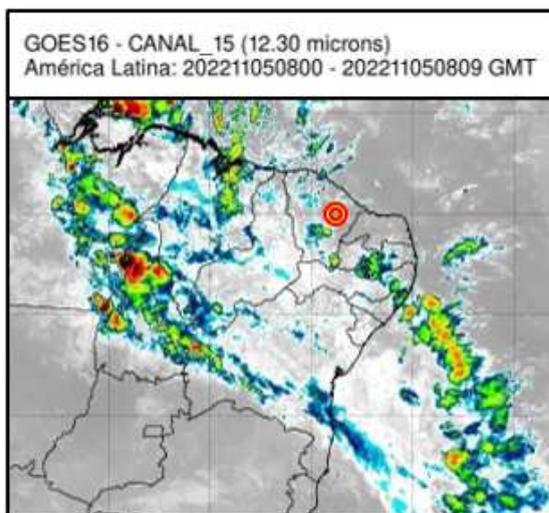
Fonte: INPE/DSA

Dia 05/11/22 – manhã (dados foram utilizados)

O início da manhã deste dia se apresentou com tempo aberto, apenas com nuvens altas (do tipo *cirrus*). A frente fria que atuou no dia 04 (causando chuva durante os transectos da manhã e noite, deixando os dados sem utilidade), já havia perdido força para geração de novos núcleos convectivos nas proximidades, além de estar em processo de dissipação. Não houve chuva ou qualquer outra interferência climática na obtenção dos dados.

A seguir, imagem do satélite GOES 16, onde é possível observar a pouca nebulosidade próximo à sede urbana do município, destacado nas proximidades do círculo amarelo, bordejado na cor vermelha.

Figura 55 - Imagem GOES 16 às 05:00h



Fonte: INPE/DSA

O tempo atmosférico durante os campos foi descrito acima. No mês de maio, precipitação e nebulosidade já são habituais, ao contrário do mês de novembro, mas, durante esta pesquisa, o segundo campo (novembro) apresentou condições de tempo semelhantes em alguns momentos ao primeiro campo (maio), algo que não ocorre com frequência.

5.2.2 - Comportamento da temperatura na cidade e as ilhas de calor

Aqui serão apresentados os resultados da coleta da temperatura do ar na cidade através de mapas, gráficos e figuras. Como ela se comportou em cada transecto e comparada entre eles.

Serão apresentadas as temperaturas médias, mínimas e máximas em cada zona climática local, com o objetivo de mostrar em quais classes há os maiores e menores registros. Isso irá revelar os locais que possuem ilhas de calor na sede urbana de Quixadá.

As **variações térmicas** entre as LCZ **no período chuvoso durante a manhã foram de 1,9°C** no dia 04/05/22 (máxima de 24,1°C na classe 2₃ e mínima de 22,2°C nas classes C e G) **e de 1,8°C pela noite** no dia 03/05/22 (máxima de 24,1°C na classe 8 e mínima de 22,3°C nas classes 6, 9, C, D e G).

Já **no período seco, a amplitude térmica pela manhã foi de 2,8°C** no dia 05/11/22 (máxima de 24,3°C na classe 7 e mínima de 21,5°C na classe C) **e de**

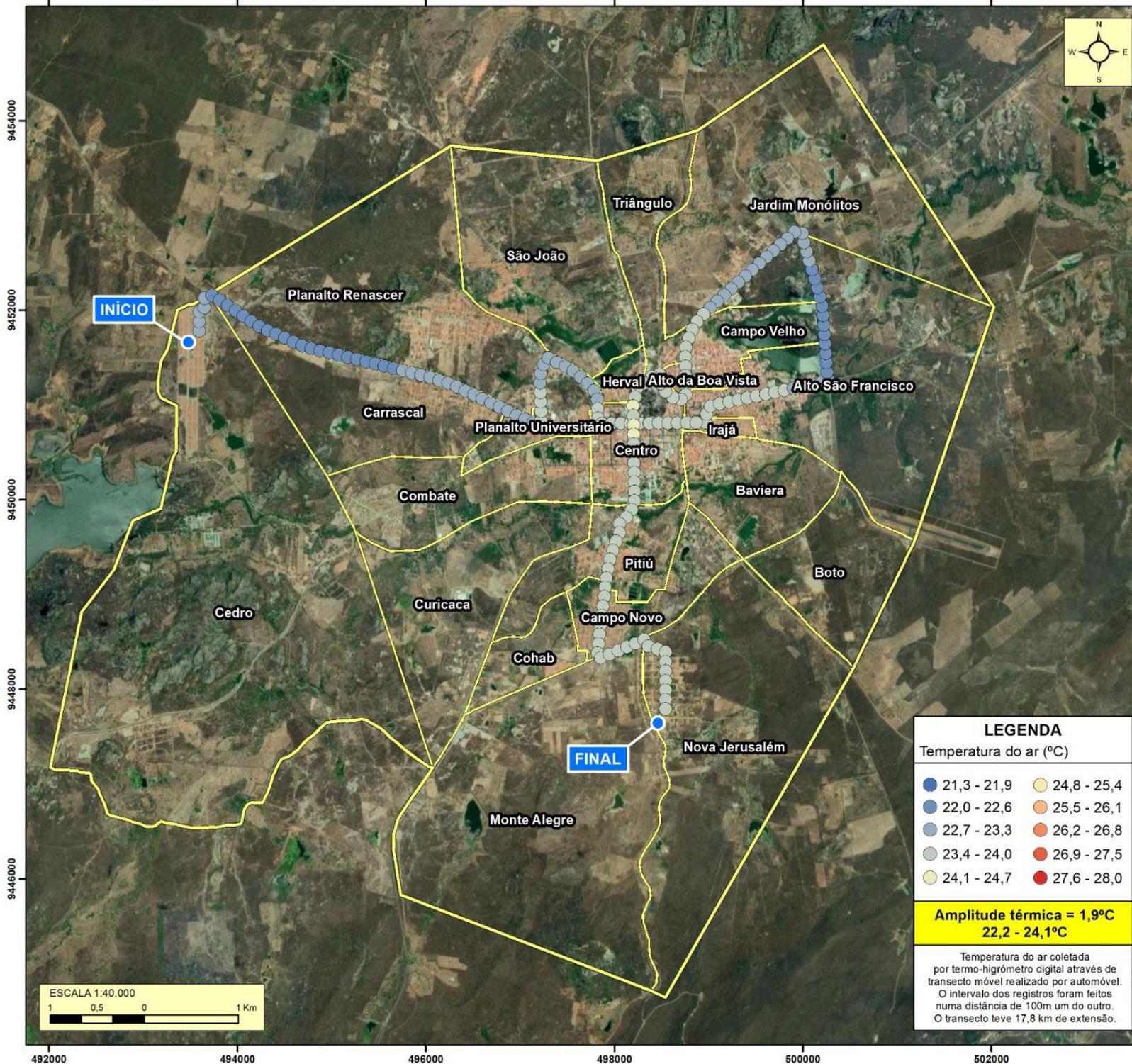
1,3°C pela noite no dia 03/11/22 (máxima de 28°C na classe 2₃ e mínima de 26,7°C nas classes 6 e C).

Essas temperaturas são as diferenças entre as máximas e as mínimas obtidas durante a realização de cada transecto. A seguir, os mapas e gráficos mostram o perfil térmico da cidade, revelando o comportamento da temperatura do ar durante os transectos da manhã e noite, nos períodos chuvoso e seco.

Os mapas das figuras 56 a 59, a seguir, estão com o **mesmo intervalo de temperatura em sua legenda (independente do turno ou período do ano), levando em consideração a mínima e máxima registrada em todos os dados obtidos em campo.** A noite do período seco apresenta tons mais avermelhados em comparação aos outros dias devido esta ser mais quente, sendo o mapa diferente dos outros três.

Ainda sobre os mapas, **outra forma de visualizar a distribuição da temperatura** ao longo da cidade é vista na figura 60, que mostra uma junção dos quatro transectos, cujas temperaturas também possuem intervalos iguais, mas **considerando apenas as amplitudes térmicas de cada transecto naquele momento.** Neste formato há uma maior distribuição das cores nos trajetos, sendo mais perceptível as áreas da cidade onde tiveram as menores e maiores temperaturas em cada turno e período, sendo possível apontar as ilhas de calor nos locais de tonalidade mais avermelhada.

TEMPERATURA DO AR REGISTRADA NO TRANSECTO (04/05/22 - Manhã - 05:45h)



Ceará em relação ao Brasil



Quixadá em relação ao Ceará



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Oceano Atlântico
- Estados brasileiros
- Estados do Nordeste
- Município de Quixadá
- Municípios cearenses
- Sede municipal e seus bairros

LEGENDA

Temperatura do ar (°C)

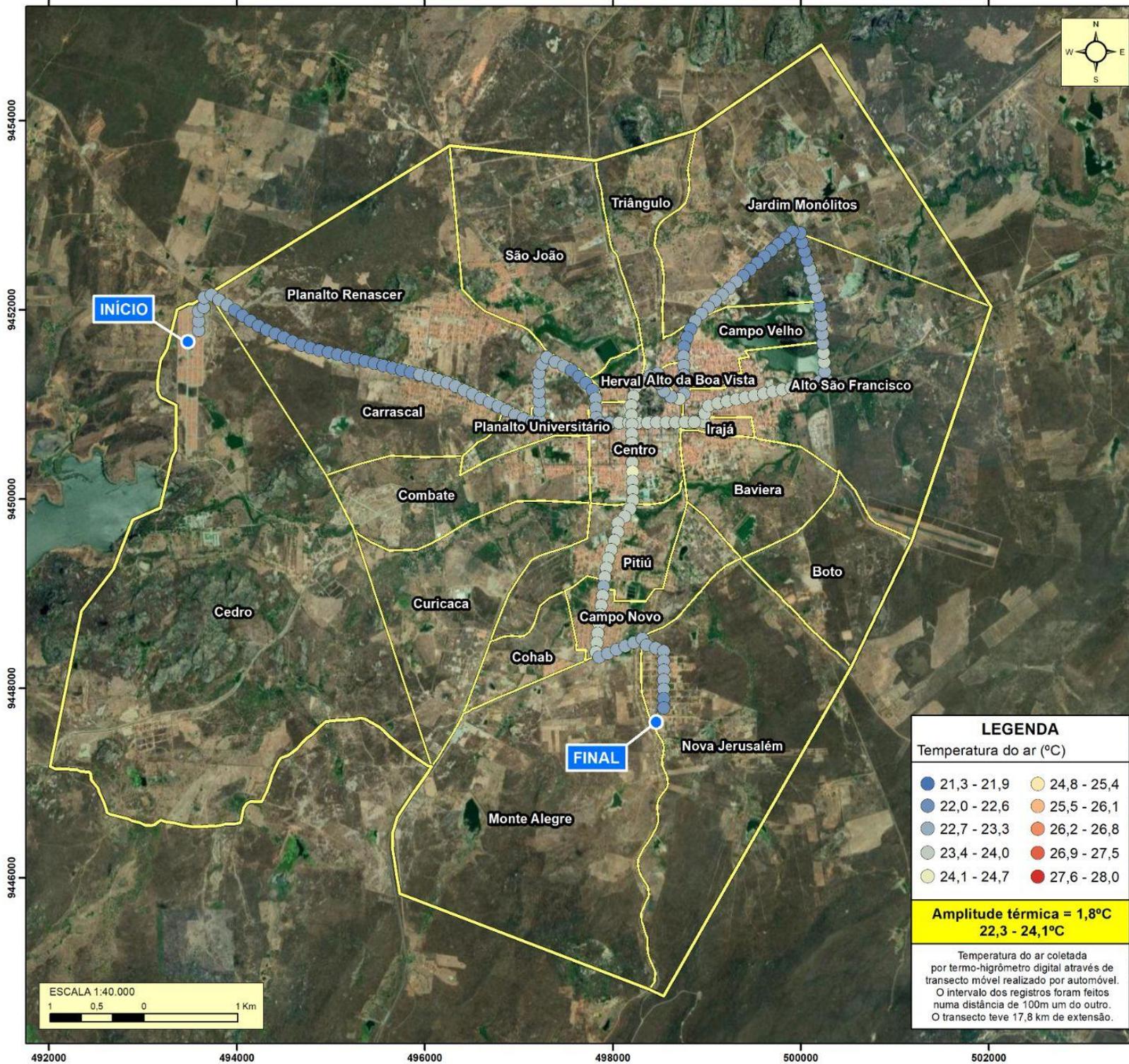
- | | |
|-------------|-------------|
| 21,3 - 21,9 | 24,8 - 25,4 |
| 22,0 - 22,6 | 25,5 - 26,1 |
| 22,7 - 23,3 | 26,2 - 26,8 |
| 23,4 - 24,0 | 26,9 - 27,5 |
| 24,1 - 24,7 | 27,6 - 28,0 |

Amplitude térmica = 1,9°C
22,2 - 24,1°C

Temperatura do ar coletada por termohigrômetro digital através de transecto móvel realizado por automóvel. O intervalo dos registros foram feitos numa distância de 100m um do outro. O transecto teve 17,8 km de extensão.

Projeção: sistema de coordenadas planas UTM
Datum: Sirgas 2000 - Zona 24 S
Fonte dos dados: divisas dos estados: IBGE
Limites municipais do Ceará (IPECE 2019)
Bairros de Quixadá: Prefeitura Municipal de Quixadá
Os transectos foram realizados em maio e novembro de 2022
Elaborado pelo autor

TEMPERATURA DO AR REGISTRADA NO TRANSECTO (03/05/22 - Noite - 19h)



Ceará em relação ao Brasil



Quixadá em relação ao Ceará



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Oceano Atlântico
- Estados brasileiros
- Estados do Nordeste
- Município de Quixadá
- Municípios cearenses
- Sede municipal e seus bairros

LEGENDA
Temperatura do ar (°C)

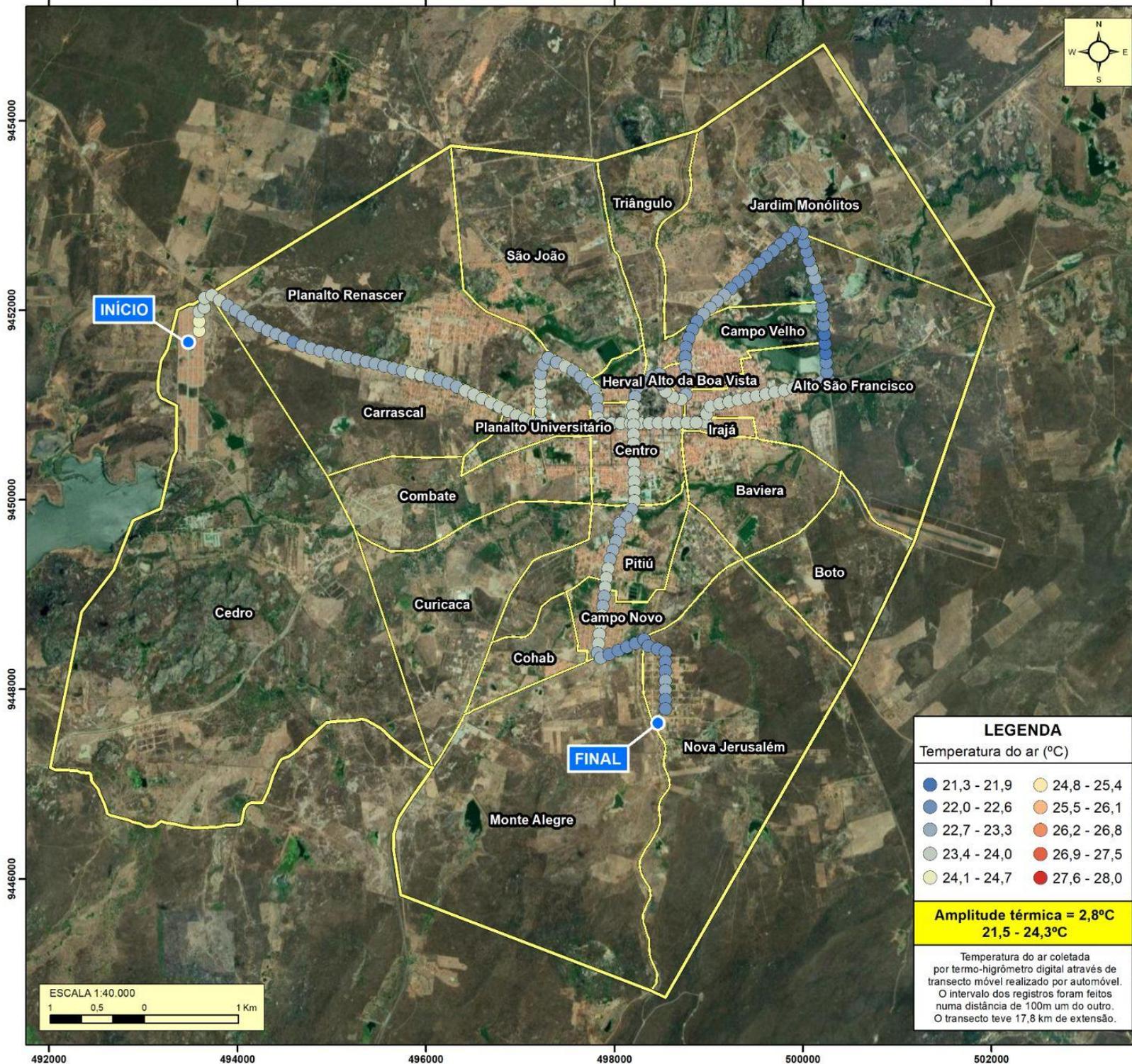
21,3 - 21,9	24,8 - 25,4
22,0 - 22,6	25,5 - 26,1
22,7 - 23,3	26,2 - 26,8
23,4 - 24,0	26,9 - 27,5
24,1 - 24,7	27,6 - 28,0

Amplitude térmica = 1,8°C
22,3 - 24,1°C

Temperatura do ar coletada por termohigrômetro digital através de transecto móvel realizado por automóvel. O intervalo dos registros foram feitos numa distância de 100m um do outro. O transecto teve 17,8 km de extensão.

Projeção: sistema de coordenadas planas UTM
Datum: Sirgas 2000 - Zona 24 S
Fonte dos dados: divisas dos estados: IBGE
Limites municipais do Ceará (IPECE 2019)
Bairros de Quixadá: Prefeitura Municipal de Quixadá
Os transectos foram realizados em maio e novembro de 2022
Elaborado pelo autor

TEMPERATURA DO AR REGISTRADA NO TRANSECTO (05/11/22 - Manhã - 04:45h)



Ceará em relação ao Brasil



Quixadá em relação ao Ceará



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Oceano Atlântico
- Estados brasileiros
- Estados do Nordeste
- Município de Quixadá
- Municípios cearenses
- Sede municipal e seus bairros

Projeção: sistema de coordenadas planas UTM

Datum: Sirgas 2000 - Zona 24 S

Fonte dos dados: divisas dos estados: IBGE

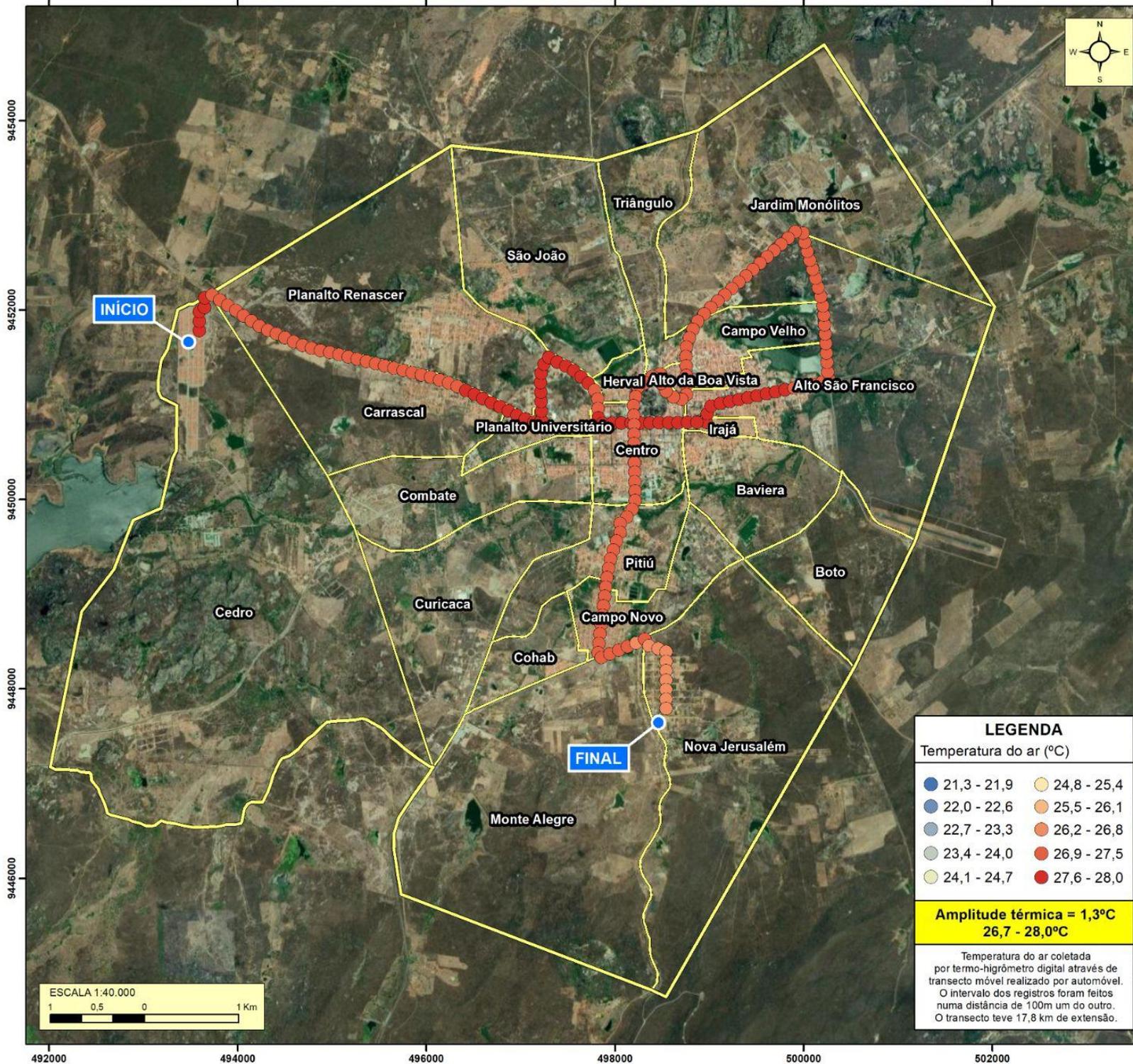
Limites municipais do Ceará (IPECE 2019)

Bairros de Quixadá: Prefeitura Municipal de Quixadá

Os transectos foram realizados em maio e novembro de 2022

Elaborado pelo autor

TEMPERATURA DO AR REGISTRADA NO TRANSECTO (03/11/22 - Noite - 19h)



Ceará em relação ao Brasil



Quixadá em relação ao Ceará



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Oceano Atlântico
- Estados brasileiros
- Estados do Nordeste
- Município de Quixadá
- Municípios cearenses
- Sede municipal e seus bairros

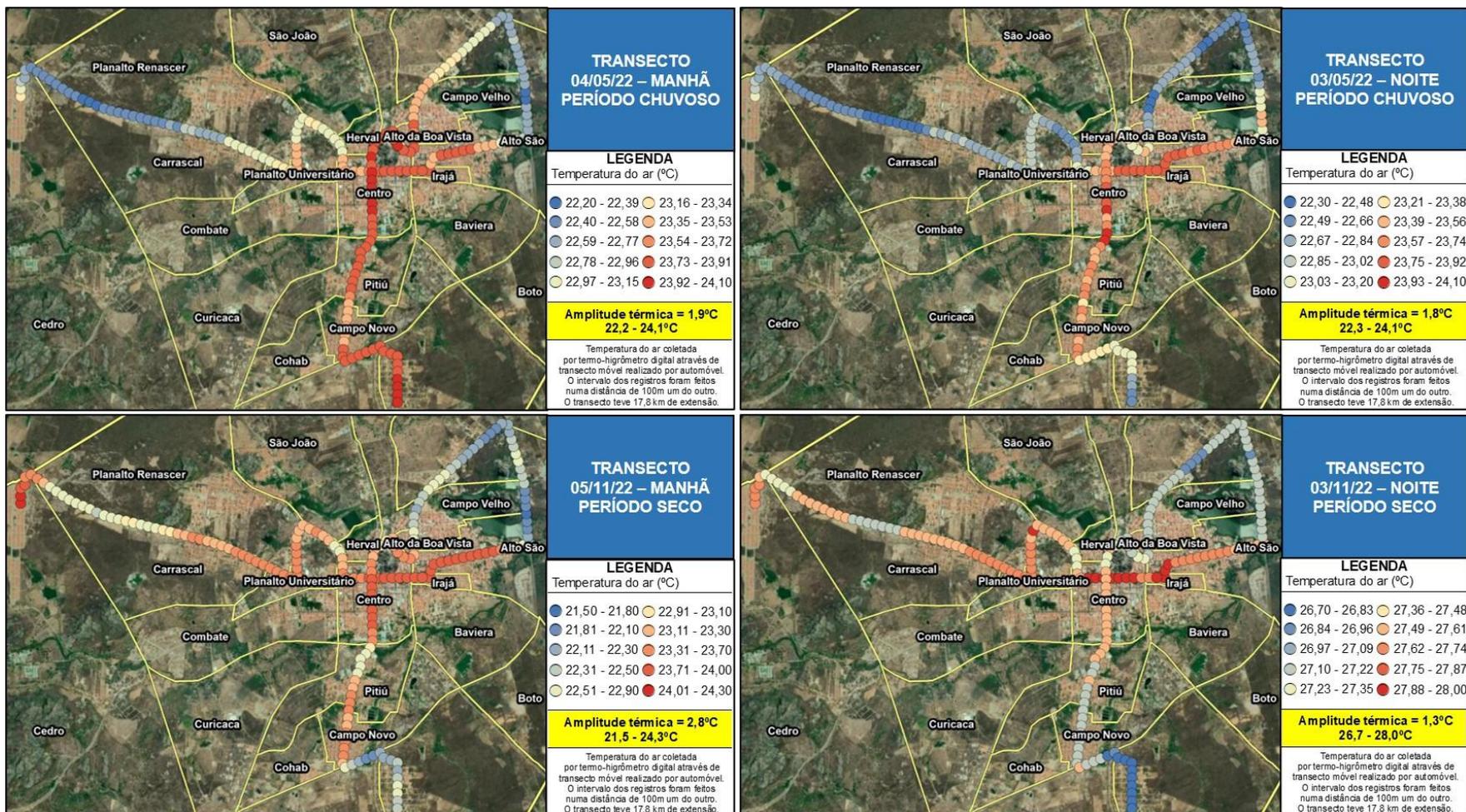
LEGENDA	
Temperatura do ar (°C)	
	21,3 - 21,9
	22,0 - 22,6
	22,7 - 23,3
	23,4 - 24,0
	24,1 - 24,7
	24,8 - 25,4
	25,5 - 26,1
	26,2 - 26,8
	26,9 - 27,5
	27,6 - 28,0

Amplitude térmica = 1,3°C
26,7 - 28,0°C

Temperatura do ar coletada por termohigrômetro digital através de transecto móvel realizado por automóvel. O intervalo dos registros foram feitos numa distância de 100m um do outro. O transecto teve 17,8 km de extensão.

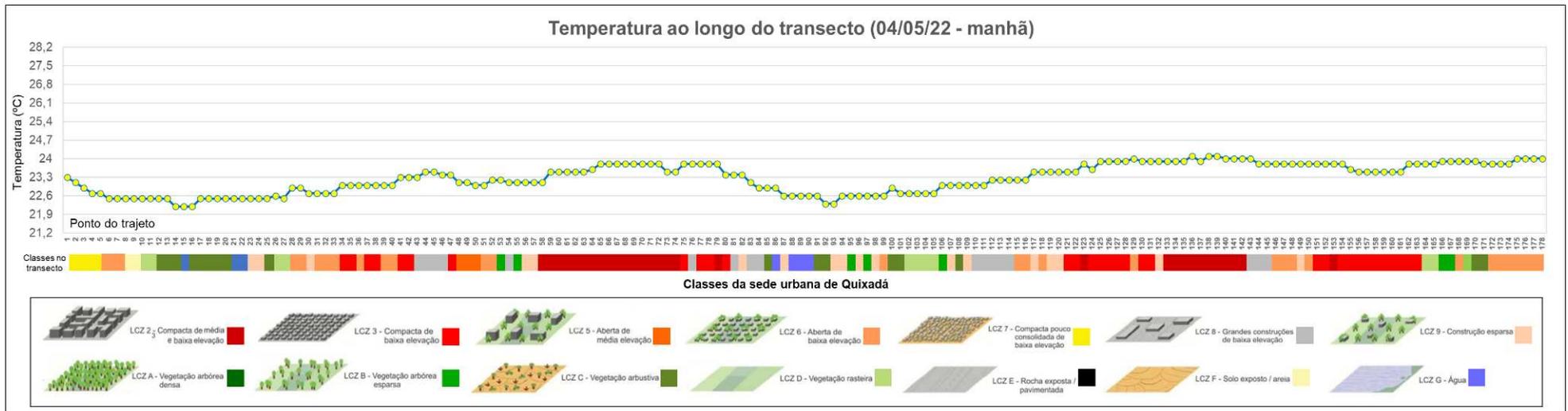
Projeção: sistema de coordenadas planas UTM
Datum: Sirgas 2000 - Zona 24 S
Fonte dos dados: divisas dos estados: IBGE
Limites municipais do Ceará (IPECE 2019)
Bairros de Quixadá: Prefeitura Municipal de Quixadá
Os transectos foram realizados em maio e novembro de 2022
Elaborado pelo autor

Figura 60 - Temperaturas com intervalos iguais em cada transecto



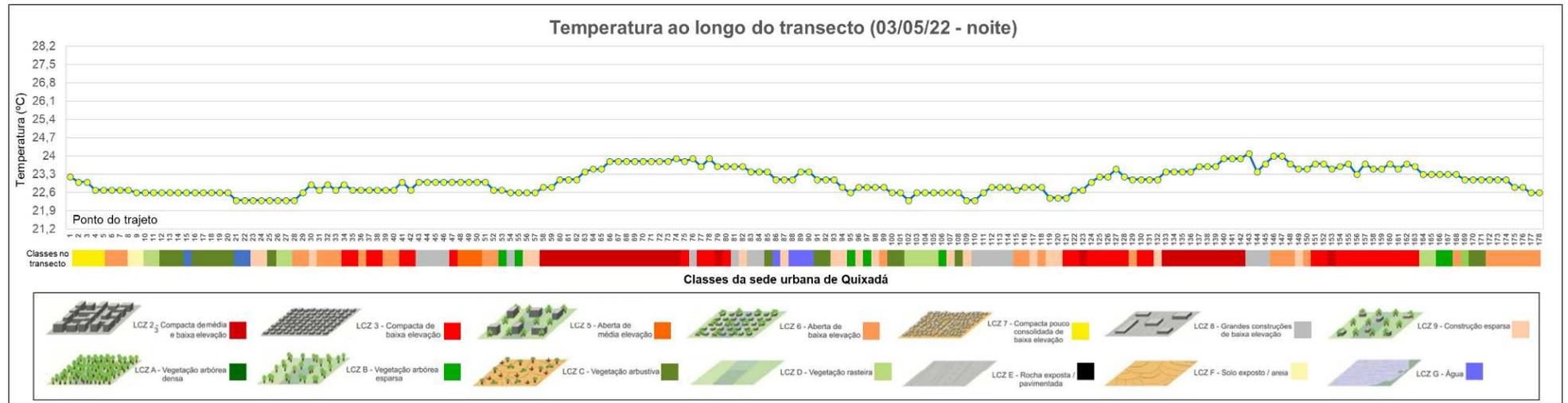
Fonte: elaborado pelo autor

Gráfico 3 - Temperatura do ar na manhã do período chuvoso



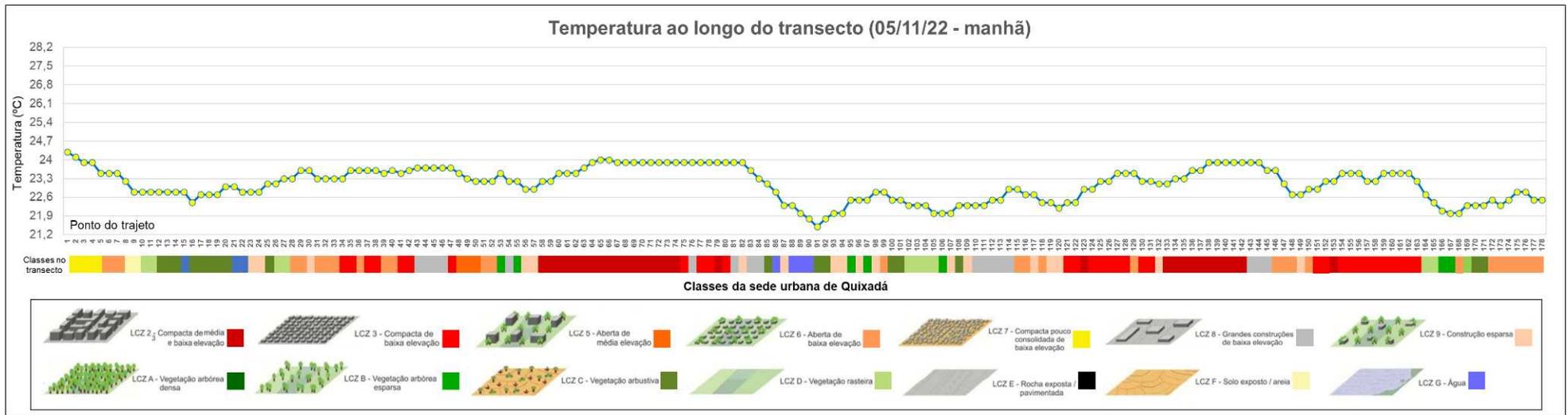
Fonte: elaborado pelo autor

Gráfico 4 - Temperatura do ar na noite do período chuvoso



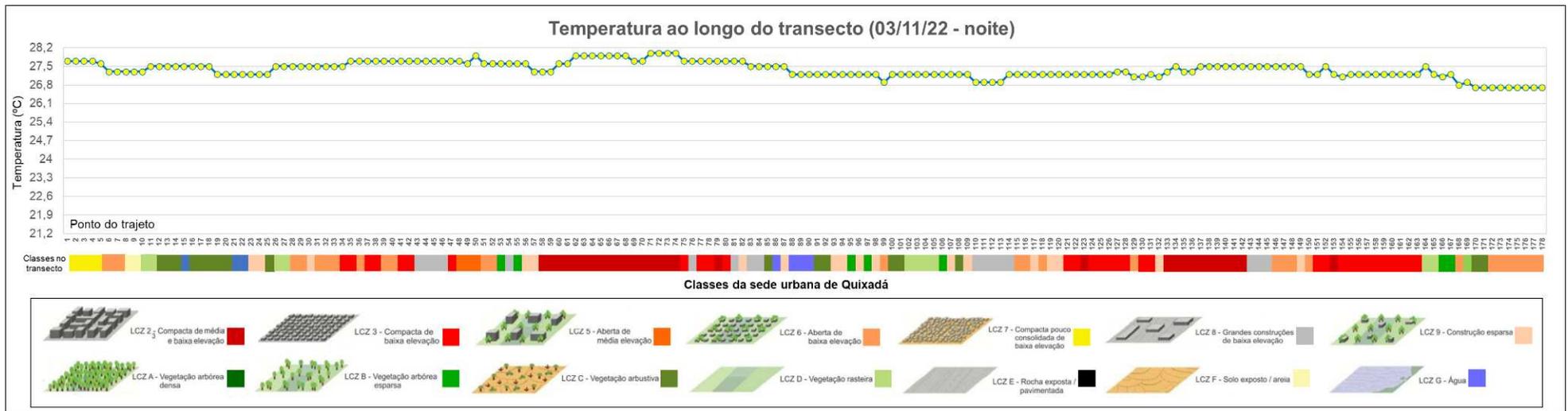
Fonte: elaborado pelo auto

Gráfico 5 - Temperatura do ar na manhã do período seco



Fonte: elaborado pelo autor

Gráfico 6 - Temperatura do ar na noite do período seco



Fonte: elaborado pelo autor

Avaliando as variações térmicas **durante todos os transectos**, foi notado que a maior temperatura registrada foi de 28°C, na noite do período seco, entre os pontos 71 e 74 (área que corresponde à classe 2₃).

Tal característica provavelmente se deve ao fato desta LCZ apresentar uma maior concentração de edificações com dois ou mais pavimentos, pouca arborização e maior produção de calor antropogênico (atividades humanas provenientes de fontes como edifícios, processos industriais, carros e até mesmo as pessoas) comparada com outras LCZ. Estes são alguns dos fatores para a geração de um microclima que apresenta maiores temperaturas.

Já a menor temperatura foi de 21,5°C, registrada durante a manhã do período seco, no ponto 91 (local que pertence à classe C). Esse comportamento se dá devido a área apresentar poucos elementos construtivos, uma maior presença da vegetação e ser próxima a um corpo hídrico.

Comparando as **médias** de temperatura **entre os grupos das classes dos tipos de construções com as dos tipos de cobertura da terra**, na manhã do período chuvoso elas são de 23,4°C e 22,8°C respectivamente (variação de 0,6°C). Na noite do período chuvoso, as médias térmicas das classes dos tipos de construções são de 23,2°C e as das classes dos tipos de cobertura da terra são de 22,8°C (variação de 0,4°C).

Já no período seco pela manhã, as temperaturas médias das classes dos tipos de construções são de 23,3°C e as das classes dos tipos de cobertura da terra são de 22,6°C (variação de 0,7°C). Na noite do período seco, as médias são de 27,4°C e 27,3°C respectivamente (variação de 0,1°C).

Essa comparação entre as temperaturas dos dois grupos de classes mostra que as **áreas construtivas tiveram as maiores médias térmicas tanto pela manhã ou pela noite, sendo no primeiro ou segundo semestre do ano**, com os maiores contrastes durante as manhãs do período seco (segundo semestre). Um fato interessante é na noite do período seco, onde as médias entre os dois grupos se equivalem, com uma diferença de apenas 0,1°C.

Ainda sobre a amplitude térmica, **comparando as temperaturas médias de cada LCZ**, observou-se que a noite do período seco se mostrou mais quente que a noite do período chuvoso. Isso indica que, no segundo semestre, as temperaturas

ao decorrer do dia podem ser mais heterogêneas devido a cidade absorver mais radiação solar e, conseqüentemente, liberar o calor de forma mais intensa, evidenciada durante o início da noite, comportamento compatível com o que foi demonstrado por autores no referencial teórico deste estudo.

O quadro a seguir mostra essa dinâmica individual em cada zona climática. As temperaturas médias da manhã e noite do período chuvoso estão bem próximas, assim como entre as manhãs dos períodos chuvoso e seco. Mas, ao comparar as temperaturas médias entre a manhã e noite no período seco e principalmente entre as noites entre o período chuvoso e seco, os maiores valores são na noite do período seco.

Figura 61 - Amplitudes térmicas entre os períodos do ano e turnos do dia

AMPLITUDES TÉRMICAS POR PERÍODO E TURNO EM CADA LCZ						
CLASSE	PERÍODO CHUVOSO			PERÍODO SECO		
2₃	Temperatura média manhã (°C)	23,8	$\Delta = 0,3^{\circ}\text{C}$	Temperatura média manhã (°C)	23,7	$\Delta = 3,9^{\circ}\text{C}$
	Temperatura média noite (°C)	23,5		Temperatura média noite (°C)	27,6	
3	Temperatura média manhã (°C)	23,6	$\Delta = 0,3^{\circ}\text{C}$	Temperatura média manhã (°C)	23,4	$\Delta = 4,0^{\circ}\text{C}$
	Temperatura média noite (°C)	23,3		Temperatura média noite (°C)	27,4	
5	Temperatura média manhã (°C)	23,1	$\Delta = 0,1^{\circ}\text{C}$	Temperatura média manhã (°C)	23,3	$\Delta = 4,0^{\circ}\text{C}$
	Temperatura média noite (°C)	23,0		Temperatura média noite (°C)	27,3	
6	Temperatura média manhã (°C)	23,3	$\Delta = 0,4^{\circ}\text{C}$	Temperatura média manhã (°C)	23,0	$\Delta = 4,2^{\circ}\text{C}$
	Temperatura média noite (°C)	22,9		Temperatura média noite (°C)	27,2	
7	Temperatura média manhã (°C)	23,0	$\Delta = 0,0^{\circ}\text{C}$	Temperatura média manhã (°C)	24,1	$\Delta = 3,6^{\circ}\text{C}$
	Temperatura média noite (°C)	23,0		Temperatura média noite (°C)	27,7	
8	Temperatura média manhã (°C)	23,4	$\Delta = 0,3^{\circ}\text{C}$	Temperatura média manhã (°C)	23,3	$\Delta = 4,1^{\circ}\text{C}$
	Temperatura média noite (°C)	23,1		Temperatura média noite (°C)	27,4	
9	Temperatura média manhã (°C)	23,0	$\Delta = 0,2^{\circ}\text{C}$	Temperatura média manhã (°C)	22,7	$\Delta = 4,6^{\circ}\text{C}$
	Temperatura média noite (°C)	22,8		Temperatura média noite (°C)	27,3	
B	Temperatura média manhã (°C)	23,2	$\Delta = 0,4^{\circ}\text{C}$	Temperatura média manhã (°C)	22,8	$\Delta = 4,5^{\circ}\text{C}$
	Temperatura média noite (°C)	22,8		Temperatura média noite (°C)	27,3	
C	Temperatura média manhã (°C)	22,7	$\Delta = 0,1^{\circ}\text{C}$	Temperatura média manhã (°C)	22,6	$\Delta = 4,7^{\circ}\text{C}$
	Temperatura média noite (°C)	22,8		Temperatura média noite (°C)	27,3	
D	Temperatura média manhã (°C)	22,9	$\Delta = 0,2^{\circ}\text{C}$	Temperatura média manhã (°C)	22,6	$\Delta = 4,7^{\circ}\text{C}$
	Temperatura média noite (°C)	22,7		Temperatura média noite (°C)	27,3	
F	Temperatura média manhã (°C)	22,5	$\Delta = 0,2^{\circ}\text{C}$	Temperatura média manhã (°C)	23,0	$\Delta = 4,3^{\circ}\text{C}$
	Temperatura média noite (°C)	22,7		Temperatura média noite (°C)	27,3	
G	Temperatura média manhã (°C)	22,6	$\Delta = 0,3^{\circ}\text{C}$	Temperatura média manhã (°C)	22,5	$\Delta = 4,8^{\circ}\text{C}$
	Temperatura média noite (°C)	22,9		Temperatura média noite (°C)	27,3	

Fonte: elaborado pelo autor

A seguir, serão apresentadas as **posições das temperaturas médias** (em ordem crescente) pela manhã e noite no período chuvoso e seco **em cada zona climática** perpassada pelo transecto móvel, baseado nos dados da figura anterior, com o objetivo de mostrar quais classes tiveram os maiores e menores registros.

Figura 62 - Ranqueamento entre as LCZ de maior e menor média térmica

RANKING DAS LCZ EM RELAÇÃO ÀS TEMPERATURAS MÉDIAS				
POSIÇÃO	PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO SECO	
	MANHÃ	NOITE	MANHÃ	NOITE
1º	2 ₃	2 ₃	7	7
2º	3	3	2 ₃	2 ₃
3º	8	8	3	8
4º	6	5	5	3
5º	B	7	8	5
6º	5	6	6	F
7º	9	G	F	9
8º	7	B	9	B
9º	D	9	D	D
10º	C	C	C	G
11º	G	D	B	C
12º	F	F	G	6

Fonte: elaborado pelo autor

As maiores médias se concentraram em locais onde há um maior adensamento de edificações, independente de turno ou período do ano. Já as menores médias de temperatura foram registradas em ambientes menos urbanizados, mais naturais.

Em relação às **posições das LCZ nos registros das temperaturas máximas** pela manhã e noite no período chuvoso e seco, segue figura a seguir. Algumas classes apresentaram o mesmo registro, e o critério de desempate foi o **maior** valor de sua temperatura média. Por exemplo, as LCZ 8 e 6 tiveram máximas de 24°C na manhã do período chuvoso, mas médias de 23,4°C e 23,3°C respectivamente, o que deixou a classe 8 à frente da 6.

Figura 63 - Ranqueamento entre as LCZ de maior temperatura

RANKING DAS LCZ EM RELAÇÃO ÀS TEMPERATURAS MÁXIMAS				
POSIÇÃO	PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO SECO	
	MANHÃ	NOITE	MANHÃ	NOITE
1º	2 ₃	8	2 ₃	2 ₃
2º	8	6	7	5
3º	6	2 ₃	3	7
4º	3	3	8	8
5º	B	9	9	3
6º	9	G	6	9
7º	D	C	5	6
8º	C	B	B	B
9º	7	D	D	D
10º	5	7	F	G
11º	G	5	C	C
12º	F	F	G	F

Fonte: elaborado pelo autor

As maiores temperaturas foram registradas em locais com maior presença de construções (principalmente no período seco), ao contrário dos ambientes mais naturais, onde suas máximas não alcançaram os mesmos valores dos locais mais urbanizados.

Em relação às **posições das LCZ nos registros das temperaturas mínimas** pela manhã e noite no período chuvoso e seco, segue figura a seguir. Algumas classes apresentaram o mesmo registro, e o critério de desempate foi o **menor** valor de sua temperatura média.

Figura 64 - Ranqueamento entre as LCZ de menor temperatura

RANKING DAS LCZ EM RELAÇÃO ÀS TEMPERATURAS MÍNIMAS				
POSIÇÃO	PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO SECO	
	MANHÃ	NOITE	MANHÃ	NOITE
1º	G	D	C	C
2º	C	C	G	6
3º	9	9	B	D
4º	F	G	D	8
5º	D	6	9	B
6º	6	8	6	9
7º	B	3	8	3
8º	7	B	3	G
9º	8	F	F	2 ₃
10º	5	7	2 ₃	F
11º	3	2 ₃	5	5
12º	2 ₃	5	7	7

Fonte: elaborado pelo autor

As menores temperaturas foram registradas nas classes dos tipos de cobertura da terra, ao contrário de algumas classes dos tipos de construções, onde suas mínimas se apresentaram mais elevadas do que locais menos urbanizados.

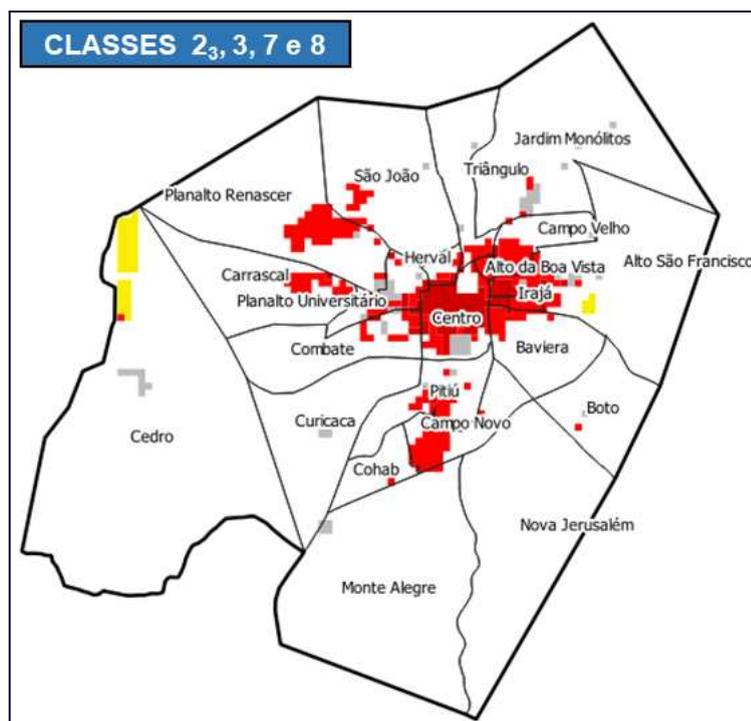
De acordo com as figuras acima, as classes que possuem maior adensamento construtivo e solos mais impermeabilizados geralmente possuem as maiores temperaturas médias e máximas, em contraste com as LCZ do de cobertura da terra, que geralmente detêm as menores médias térmicas e temperaturas mínimas.

A demonstração anterior da coleta das temperaturas durante os transectos é mais uma evidência de que a metodologia das Zonas Climáticas Locais indica as áreas dentro do ambiente urbano que possam apresentar maiores ou menores temperaturas, como já dito anteriormente por Stewart e Oke (2012), onde numa cidade que possui uma diversificação paisagística devido aos diversos usos do solo e edificações com diferentes alturas e materiais, terá seu balanço de radiação alterado, fazendo com que sua temperatura seja maior do que a que está acima do seu dossel.

Esse uso do solo já faz **surgir na cidade ilhas de calor em locais onde as classes 2₃, 3, 7 e 8 estão presentes**, ou seja, em áreas de 16 dos 22 bairros da cidade (Centro, Putiú, Campo Novo, Irajá, Baviera, Alto São Francisco, Alto da Boa Vista, Campo Velho, Jardim Monólitos, Herval, Planalto Universitário, Planalto Renascer, São João, Triângulo, Carrascal e Cedro).

Estas ilhas de calor são de magnitude fraca, de 0 a 2°C, de acordo com a classificação de intensidade das ilhas de calor de Fernández García (1996), pois os transectos noturnos revelam uma amplitude térmica menor que 2°C nos bairros por onde passou (lembrando que as ilhas de calor são melhor detectadas no início da noite, por volta de 19h). Os bairros que possuem manchas destas classes podem ser vistos a seguir.

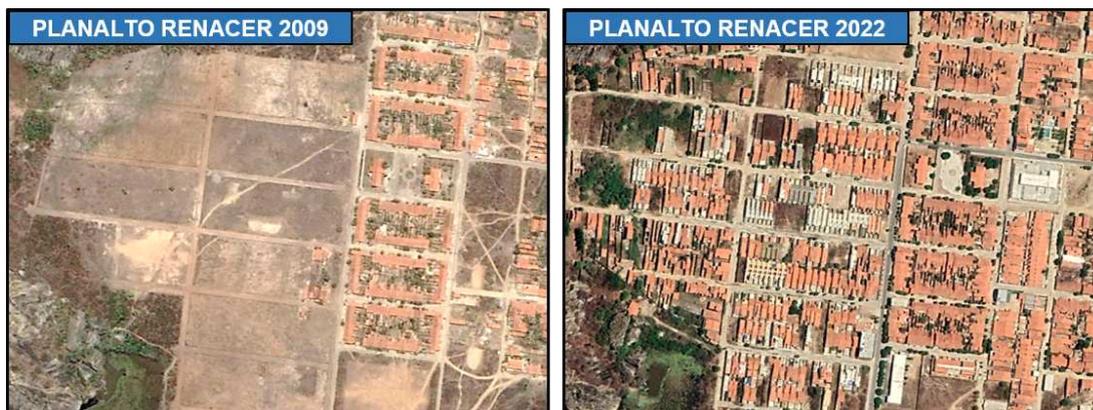
Figura 65 - Distribuição das classes 2₃, 3, 7 e 8 na cidade



Fonte: elaborado pelo autor

Áreas da cidade que já possuem uma notável expansão ao longo do tempo (aumentando suas manchas urbanas), como por exemplo em algumas partes dos bairros Carrascal, Planalto Renascer, Putiú e Nova Jerusalém, são áreas suscetíveis ao agravamento das ilhas de calor, caso continuem se expandindo sem um ordenamento correto. A próxima figura mostra um exemplo desse fenômeno na cidade.

Figura 66 - Exemplo de expansão urbana: bairro Planalto Renacer



Fonte: Google Earth Pro

O centro da cidade e seu entorno possuem ilhas de calor com maior intensidade, pois apresentam edificações mais adensadas, de maior porte, maior fluxo de veículos e pessoas (maior geração de calor antropogênico) e menor arborização. A seguir alguns pontos que apresentam este fenômeno na cidade com base no transecto realizado na noite do período seco.

Figura 67 - Pontos do transecto que apresentam ilhas de calor

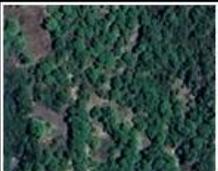
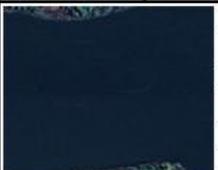


Fonte: elaborado pelo autor

Os dados, mapas, gráficos e *ranking* das temperaturas, em conjunto com a metodologia das zonas climáticas locais para classificação do uso do solo, mostraram a existência de diferentes microclimas na sede urbana de Quixadá, uma cidade no semiárido nordestino, de baixa amplitude térmica anual, e que não há uma grande diferença da dinâmica atmosférica ao longo do ano (se comparada às cidades subtropicais que possuem as quatro estações do ano bem definidas).

Dessa forma, a dinâmica térmica na cidade exposta ao longo dos capítulos anteriores pode ser resumida através de um quadro síntese, abordando as principais características das 12 LCZ perpassadas pelo o transecto móvel e que é apresentado na figura a seguir.

Figura 68 - Quadro síntese: temperaturas, bairros e ilustração de cada LCZ

TEMPERATURAS MÍNIMAS E MÁXIMAS NAS LCZ E EM QUAIS BAIRROS AS CLASSES SÃO MAIS PRESENTES											
2₃		3		5		6					
ILUSTRÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ILUSTRÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ILUSTRÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ILUSTRÇÃO	TEMPERATURA (°C)				
	PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO CHUVOSO				
	Máxima		Mínima		Máxima		Mínima	Máxima	Mínima		
	24,1		22,7		23,9		22,4	23	23	24	22,3
	PERÍODO SECO		PERÍODO SECO		PERÍODO SECO		PERÍODO SECO				
Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima				
28	22,9	27,7	22,4	27,9	23,2	27,7	22				
Bairros: Centro, Irajá, Alto São Francisco, Campo Velho, Alto da Boa Vista e Planalto Universitário.		Bairros: entornos do centro e partes dos bairros à leste, oeste e sul do centro (Putiu e C. Novo)		Bairros: entre o Planalto Renascer e Planalto Universitário; e entre o Centro e Combate.		Bairros: maior parte no Cedro, Combate, Curicaca, Campo Novo e Nova Jerusalém.					
7		8		9		B					
ILUSTRÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ILUSTRÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ILUSTRÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ILUSTRÇÃO	TEMPERATURA (°C)				
	PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO CHUVOSO				
	Máxima		Mínima		Máxima		Mínima	Máxima	Mínima		
	23,3		22,7		24,1		22,3	23,9	22,3	23,9	22,6
	PERÍODO SECO		PERÍODO SECO		PERÍODO SECO		PERÍODO SECO				
Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima				
27,7	23,9	27,7	22,3	27,7	22	27,6	22				
Bairros: ao norte do Cedro, no condomínio Rachel de Queiroz e no Alto São Francisco.		Bairros: Plan. Renascer, Plan. Universitário, Jd. Monólitos, Centro, A. São Francisco e Curicaca.		Bairros: em toda a cidade, maior parte no São João, Triângulo, Jd. Monólitos e A. S. Francisco.		Bairros: Alto São Francisco, Jardim Monólitos, Baviera, Curicaca, Combate e Cedro.					
C		D		F		G					
ILUSTRÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ILUSTRÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ILUSTRÇÃO	TEMPERATURA (°C)	ILUSTRÇÃO	TEMPERATURA (°C)				
	PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO CHUVOSO				
	Máxima		Mínima		Máxima		Mínima	Máxima	Mínima		
	23,9		22,2		23,9		22,5	22,7	22,5	23,4	22,2
	PERÍODO SECO		PERÍODO SECO		PERÍODO SECO		PERÍODO SECO				
Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima				
27,5	21,5	27,5	22	27,3	22,8	27,5	21,8				
Bairros: A. S. Fco, Jd. Mon., S. João, Pl. Ren, Cohab, Baviera, M. Alegre, N. Jerus., Curicaca, Boto e Cedro		Bairros: Monte Alegre, Cedro, Carrascal, Planalto Renascer, Boto, Combate e Jardim Monólitos.		Bairros Cedro, Curicaca, Monte Alegre, Planalto Renascer, Triângulo e Jardim Monólitos.		Bairros: Campo Velho, Alto São Francisco, Nova Jerusalém, Monte Alegre, Cedro, Carrascal.					

Fonte: elaborado pelo autor

6 CONCLUSÕES

Os registos das maiores temperaturas foram evidentes na noite do período seco, chegando aos 28°C. Foi também no período seco onde houve a menor temperatura: 21,5°C pela manhã. No período chuvoso, as temperaturas médias, máximas e mínimas são mais homogêneas tanto pela manhã quanto pela noite em cada LCZ.

Após as análises dos dados, é notória a diversidade do campo térmico da sede urbana de Quixadá, quando observada a distribuição da temperatura nos mapas dos transectos móveis. As amplitudes térmicas foram de 1,9° e 1,8°C na manhã e noite no período chuvoso, respectivamente, e de 2,8 e 1,3°C na manhã e noite no período seco, respectivamente.

A metodologia das Zonas Climáticas Locais se mostrou satisfatória, pois mostrou uma diversidade de usos do solo na cidade e que, quando validadas pela relação destas com a temperatura do ar obtida nos transectos, detectou ilhas de calor de fraca magnitude, principalmente no centro da cidade e no seu entorno, áreas que possuem uma maior presença das classes **2₃**, **3** (estes locais apresentaram os picos de temperaturas durante os transectos). As ilhas de calor se revelaram nas LCZ **2₃**, **3**, **7 e 8**, pois são as que possuem uma maior carga de materiais construtivos e apresentaram as maiores temperaturas.

Algumas ruas no centro de Quixadá passam por mudança na pavimentação (troca pelo piso intertravado de concreto), atitude que irá amenizar a retenção de calor e aumento da absorção da água da chuva pelo solo, reduzindo também os alagamentos e enchentes. É necessário também nas praças uma maior presença da pavimentação por pisos intertravados e cobogramas, além do aumento da arborização, por exemplo, na Praça do Leão, que possui pouca presença de espécies vegetais.

O aumento da arborização destes locais que apresentaram as maiores temperaturas reduziria a absorção direta do calor pela superfície, diminuiria a temperatura do ar, aumentaria o percentual de umidade relativa do ar e daria uma maior sensação de conforto térmico da população.

Aliada à mudança do pavimento das ruas e arborização da cidade com espécies adequadas, a construção de forma mais adequada auxilia na redução da impermeabilização do solo e absorção da radiação solar pelas edificações, reduzindo o calor reemitido. A utilização de telhas cerâmicas nas coberturas (reduzindo a presença do alumínio), tijolos cerâmicos ou ecológicos e, se possível, jardins verticais no ambiente urbano, são alternativas na construção civil para melhoria na temperatura das cidades.

É importante que o Estado (seja na esfera municipal, estadual ou federal) tome ciência de que Quixadá precisa de melhores tomadas de decisões no sentido de amenizar a situação de seu clima urbano (principalmente nos bairros que possuem manchas das classes **2₃, 3, 7 e 8**), e medidas como as citadas no parágrafo anterior poderiam auxiliar nessa melhoria microclimática.

A geração de uma cidade com maior sensação de conforto térmico entraria como forma de atingir um dos 17 objetivos no desenvolvimento sustentável proposto pela Organização das Nações Unidas (ONU) até 2030, no qual o de número 11 versa sobre cidades e comunidades sustentáveis, com melhor qualidade do ar, áreas mais verdes e acessíveis, ou seja, uma maior inclusão, segurança, resiliência e sustentabilidade dos espaços urbanos.

Sobre trabalhos futuros em clima urbano nas cidades que compõem o Sertão Central, seria interessante a utilização da metodologia das Zonas Climáticas Locais em suas sedes, pois, a região possui um potencial de crescimento como, por exemplo, Quixeramobim, cidade vizinha à Quixadá. Isto iria enriquecer os estudos de clima urbano em cidades médias, pois elas ainda carecem de análises nesta área do conhecimento geográfico.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional das Águas – ANA. Catálogo de Metadados da ANA. Disponível em:
<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/3c8b249e-8ec3-4db1-b188-bab3c3c3240f>. Acesso em: 29 jan. 2022.
- ALVES, J. M. B. *et al.* Eventos extremos diários de chuva no Nordeste do Brasil e características atmosféricas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 227-233, mar. 2017.
- ALVES, J. M. B. *et al.* Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste do Brasil durante janeiro de 2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 1, n. 21, p. 56-76, abr. 2006.
- ANUÁRIO DO CEARÁ 2021. Guia das cidades. Disponível em:
<https://www.anuariodoceara.com.br/wp-content/themes/anuario/assets/anuario-20-21.pdf>. Acesso em 22 mar. 2021.
- ANUÁRIO DO CEARÁ 2022. Guia das cidades. Disponível em:
https://www.anuariodoceara.com.br/wp-content/themes/anuario_2022/assets/anuario-22-23.pdf. Acesso em 20 abr. 2023.
- AMORIM, M. C. C. *et al.* Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França), **Confins - Revista Franco-Brasileira de Geografia** [Online], 7 | 2009, Consultado o 21 março 2021. URL: <http://confins.revues.org/6070>; DOI: 10.4000/confins.6070
- AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 29-45, 2015.
- BARBOZA, E. N.; ALENCAR, G. S. S.; ALENCAR, F. H. H. de. Influência do asfaltamento nas variáveis de conforto térmico em ruas de Missão Velha – CE. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 599-607, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n1-042>.
- BERTRAND, Georges. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **RA'E GA**, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004. Disponível em:
<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3389/2718>. Acesso em: 15 out. 2022.
- BDIA – Banco de Dados de Informações Ambientais. Disponível em:
<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em 02 fev. 2022.
- BRASILEIRO, F. M. G.; ZANELLA, M. E. Ocorrência de ilhas de calor no espaço urbano: reflexões no contexto da cidade de Sobral, Ceará. **Geopauta**, Vitória da Conquista, v. 5, n. 4, p. 1-23, dez. 2021.

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; ROSSETI, K. A. C. Pavimentação Asfáltica: Contribuição no Aquecimento de Áreas Urbanas. **Engineering And Science**, Cuiabá, v. 1, n. 3, p. 64-72, jun. 2015.

CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos –. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília: Coronário Editora Gráfica, 2016. 252 p. Disponível em:

<https://www.cgEE.org.br/documents/10195/11009696/DesertificacaoWeb.pdf/7dad223-9c25-4ccf-b788-d5c720c33630?version=1.9>. Acesso em: 14 abr. 2023

CANEPPELE, Laís Braga. **Varição microclimática influenciada pela topografia e urbanização**. 2018. 78 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

CARDOSO, R. S. **Modelagem do microclima e estratégias de mitigação do calor urbano em zonas climáticas locais**. 2021. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Unesp - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2021.

CARDOSO, R. S.; AMORIM, M. C. C. T. Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, Porto, n. 12, p. 75-99, dez. 2017.

CASTRO, L. G. de. **Zonas Climáticas Locais em cidades pequenas: relação entre temperatura e morfologia urbana**. 2022. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

DEMUZERE, M.; KITNER, J.; BECHTEL, B. LCZ Generator: A Web Application to Create Local Climate Zone Maps. **Frontiers In Environmental Science**, [S. l.], v. 9, p. 1-18, abr. 2021.

DIMITROV, S.; POPOV, A.; ILIEV, M. An Application of the LCZ Approach in Surface Urban Heat Island Mapping in Sofia, Bulgaria. **Atmosphere**, [S.L.], v. 12, n. 11, p. 1-18, out. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos12111370>.

DUARTE, J. S. de S.; CARACRISTI, I. Clima e qualidade de vida na cidade de Sobral: buscando a dimensão cotidiana dos estudos climáticos. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, Sobral, v. 1, n. 6, p. 95-108, out. 2004.

ESTEVIÃO, G.S. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo das ilhas de calor de Juazeiro do Norte – Ceará**. 2016. 157 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial síntesis, S.A., 1996. 285p.

FERREIRA, A. G., DA SILVA MELLO, N. G. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Calendário das chuvas. Disponível em: <http://www.funceme.br/app-calendario/ano/ceara/media/2021>. Acesso em: 17 fev. 2022.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 248 p.

HARTKAMP, A.D, *et al.* 1999. **Interpolation Techniques for Climate Variables**. NRG-GIS Series 99-01. Mexico, D.F.: CIMMYT, 34p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/quixada/panorama>. Acesso em: 21 mar. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Enciclopédia dos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 1959. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv27295_16.pdf. Acesso em 26 abr. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama Censo 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em 18 jul. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto interno bruto dos municípios. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/pesquisa/38/47001?tipo=ranking&indicador=46997&ano=2019&localidade1=231130>. Acesso em: 02 jul. 2022.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Ambientais. Acervo da DSA - Divisão de Satélites Ambientais. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic>. Acesso em 16 dez. 2022.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Ceará em mapas. Disponível em: http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/pdf/Municipios_Desertificacao_2010.pdf. Acesso em: 16 fev. 2022.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Municipal 2017 – Quixadá. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Quixada_2017.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: IGCE/UNESP, Lab. Geomatématica, Texto Didático 06. 2002.

LIMA JÚNIOR, A. F. **Clima urbano: análise do campo térmico e sugestão de áreas prioritárias para implementação de medidas mitigadoras**. 2023. 261 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

LIMA, R. J. R.; CRISPIM, A. B.; SOUZA, M. J. N. de. Relação entre o Relevo e o Uso da Terra do Município de Quixadá - Ceará. **Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 73-88, dez. 2016.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles**. Ed. Hucitec, São Paulo, 1985.

MACEDO NETO, R. X. de. **Temperatura da superfície nos materiais de pavimentação: uma contribuição ao desenvolvimento urbano**. 2015. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

MAIA, R. P; B., *et al.* Geomorfologia do Campo de Inselbergues de Quixadá, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 239-253, abr./jun. 2015.

MELLO, M. A. R. de.; MARTINS, N.; SANT'ANNA NETO, J. L. A influência dos materiais construtivos na produção do clima urbano. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 5, p. 27-40, set. 2009.

MESQUITA, F. N. S.; GOMES, Y.B.; VALÉRIO, Y.; CARACRISTI, I. Análise das variações do campo térmico de Sobral (CE): tratamento gráfico-estatístico dos dados de temperatura dos bairros da cidade. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1., 2017, Campinas. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. [S.L.]: Instituto de Geociências - Unicamp, 2017. p. 2593-2597.

MONTEIRO, C. A. F. A cidade como processo derivador ambiental e a geração de um clima urbano. **Geosul**, Florianópolis, v. 5, n. 9, p. 80-114, 1990.

MOURA, M. O. **O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico**. 2008. 318 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Objetivos do Desenvolvimento sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 22 mar. 2023.

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

OLIVEIRA, J. R. F. de. **O clima da cidade de Caucaia-Ce sob a perspectiva termodinâmica**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

OLIVEIRA, J. R. F. de. **O clima urbano em cidade de pequeno porte no semiárido cearense: o caso de Crateús**. 2020. 151 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. **Atmosphere**, 14:4, p. 268–277, 1976. DOI: 10.1080/00046973.1976.9648422

OKE, T. R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **IOM Report, TD**. World Meteorological Organization, Geneva, 2006.

OSTACHEVSKI, T.; PAGANI, R. N.; PIETROVSKI E. F. Problemas, objetivos e soluções em Metabolismo Urbano: abordagens com Smart Cities. In: Congresso brasileiro de Engenharia da Produção: as engenharias na saúde, X, 2020, Curitiba. **Anais do ConBRepro 2020**. Curitiba: UTFPR, 2020. Disponível em: <https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/>

PAULINO, R. da C.; SILVEIRA, A. P.; GOMES, V. dos S. Flora de Inselbergues do Monumento Natural Monólitos de Quixadá, no sertão central do Ceará. **Iheringia, Série Botânica.**, [S. l.], v. 73, n. 2, p. 182–190, 2018. DOI: 10.21826/2446-8231201873110. Disponível em: <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/450>. Acesso em: 01 fev. 2022.

RABELO, D. R.; SANTOS, M. R. S.; SOUSA FILHO, M. R. P. Análise comparativa dos dados pluviométricos de satélite e de superfície em bacia hidrográfica semiárida. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 63-75, mar. 2022.

SANT'ANNA NETO, J. L. **História da Climatologia no Brasil: gênese, paradigmas e a construção de uma Geografia do Clima**. Tese de Livre-Docência. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2001.

SANTOS, L. N.; VIEIRA, M. E. S.; CASTELO, S. C. **Construindo Quixadá**. Fortaleza: Demócrito Rocha, 2011.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas**. Campinas: Editora Unicamp, 2003.

SOUSA FILHO, M. R. P.; RABELO, D. R.; SANTOS, M. R. S.; Girão, I. R. F. Uso do geoprocessamento na espacialização de dados pluviométricos na região metropolitana de Fortaleza. **International Journal of Development Research**, v. 12, p. 54473-54479, mar. 2022.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. **Classifying climate field sites by “local climate zones”**: the case of Nagano, Japan. Preprints, Seventh Int. Conf. on Urban Climate, 29 June–3 July, Yokohama, Japan, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228879062_Classifying_urban_climate_field_sites_by_local_climate_zones_The_case_of_Nagano_Japan. Acesso em: 14 mar. 2021.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. **Local Climate Zones for Urban Temperature Studies**. Bull. Amer. Meteor. Soc., 93, p.1879–1900, 2012. doi: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1

UN (2019). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. Population Division of the United Nations Department of Economic and Social Affairs.

VAREJÃO-SILVA, M, A. **Meteorologia e Climatologia**. 2. ed. Recife: Versão Digital, 2006.

VALIN JÚNIOR, M. de O.; SANTOS, F. M. de M. Análise da utilização de abrigos termo-higrométricos alternativos para transectos móveis. **Engineering Sciences**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 53-64, 4 out. 2020.

YNOUE, R. Y. *et al.* **Meteorologia: noções básicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

ZANELLA, M. E. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CLIMA E OS RECURSOS HÍDRICOS DO SEMIÁRIDO NORDESTINO. **Caderno Prudentino de Geografia**, [S. l.], v. 1, n. 36, p. 126–142, 2014. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3176>. Acesso em: 20 jul. 2023.