



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

**LIDIA GOMES DE CASTRO**

**ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS EM CIDADES PEQUENAS: RELAÇÃO ENTRE  
TEMPERATURA E MORFOLOGIA URBANA**

**FORTALEZA**  
**2022**

LIDIA GOMES DE CASTRO

ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS EM CIDADES PEQUENAS: RELAÇÃO ENTRE  
TEMPERATURA E MORFOLOGIA URBANA

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<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Elisa Zanella.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

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

---

C351z Castro, Lidia Gomes de.  
Zonas Climáticas Locais em Cidades Pequenas: Relação entre Temperatura e Morfologia Urbana / Lidia Gomes de Castro. – 2022.  
115 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programade Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Profa. Dr. Maria Elisa Zanella.

1. Zonas Climáticas Locais. 2. Temperatura. 3. Sensoriamento Remoto. I. Título.

CDD 910

---

LIDIA GOMES DE CASTRO

ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS EM CIDADES PEQUENAS: RELAÇÃO ENTRE  
TEMPERATURA E MORFOLOGIA URBANA

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: 15/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Elisa Zanella  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Marta Celina Linhares Sales  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Flávio Rodrigues do Nascimento  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

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

A Deus.

Aos meus pais, irmã, irmão e amigas (os).

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa é fruto de muita dedicação e paixão à Climatologia Geográfica. Deixo aqui meus sinceros agradecimentos aos amigos e profissionais que estiveram comigo nesta etapa tão importante da minha vida.

À querida Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Elisa Zanella, por acreditar em meu potencial, pela valiosa orientação, pelos ensinamentos, amizade e parceria no decorrer desta jornada, sempre disposta a ajudar de forma doce e carismática, e acima de tudo, Profissional. Minha eterna admiração.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Marta Celina Linhares Sales, Prof. Dr. Flávio Nascimento de Oliveira e Prof. Dr. Jorge Ricardo Félix de Oliveira, pelo tempo, colaborações e sugestões. À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Gabriela Estevão, pelas indicações, conselhos e apoio na qualificação.

Ao Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos (LCGRH/UFC), no qual foi possível aperfeiçoar com maestria os conhecimentos em torno da Climatologia através das reflexões, grupos de estudo, cursos e eventos proporcionados pelo mesmo.

À amizade, apoio e trocas de conhecimento dos amigos do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO/UFC), Mairla Gomes, Antônio Junior, Larissa Neris e Jéssica Freitas.

À colega Alana Inácio, pela ajuda e parceria ao longo do mestrado. À Jack Pastrana pelo apoio, incentivo e motivação em trabalhos, artigos e disciplinas.

Aos meus pais, Liduina e Barroso, por serem minha motivação e incentivarem meu estudo. Aos meus irmãos, Lorena e Caiky, por estarem sempre presentes. À Luana, pela melhor amizade e apoio incondicional.

Agradeço à Rosy e Juliana, pelo auxílio nas pesquisas em campo, vocês foram fundamentais.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, dando suporte financeiro na participação em eventos científicos e a produção desta pesquisa.

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.” (Leonardo Da Vinci, 1452 - 1519)

## RESUMO

A dinâmica de crescimento urbano e adensamento populacional ocasiona efeitos sócio ambientais, sobretudo na ausência de planejamento sustentável adequado, principalmente em regiões equatoriais, onde a formação de Ilhas de Calor Urbanas (ICU) exerce efeitos negativos ao conforto térmico da população. O sensoriamento remoto possibilita a identificação de zonas mais quentes superficialmente devido a radiação emitida pelos corpos dispostos no ambiente estudado, atrelado a isto a caracterização morfológica contribui para a identificação das causas das modificações termais. Com isto, esse trabalho objetiva evidenciar quais são os efeitos na dinâmica térmica de um município de pequeno porte com clima equatorial subúmido como Eusébio (CE) em meio ao processo de modificação morfológica urbana, a partir da análise da relação entre três variáveis: Zonas Climáticas Locais (ZCL), Temperatura Superficial (TST) e Temperatura do Ar (TA). Para isso, na metodologia foi utilizado o ZCL para classificação da paisagem morfológica urbana de Eusébio, com base na altura, rugosidade, cobertura e admissão térmica de materiais (STEWART E OKE, 2012); para a caracterização da dinâmica térmica da superfície foram elaborados mapas e gráficos de TST a partir das bandas do infravermelho termal dos satélites Landsat 5 e 8 para uma análise temporal (2001 a 2021); e foram realizados 2 Transectos Móveis no período seco do ano de 2021 com a TA em 125 pontos do município incorporando áreas com diferentes morfologias. Os processos de sensoriamento remoto e geoprocessamento se deram a partir da plataforma de código aberto Google Earth Engine (GEE) e do software ARCGIS 10.5, seguidos de análises estatísticas descritivas e inferenciais. Na mediana da amostra de dados de 2001, a TST encontra-se na faixa dos 25°C e possui valores inferiores que chegam próximos aos 20 °C, enquanto que para 2021 a mediana se encontra acima de 30 °C. Nas cartas termais é possível verificar que as feições urbanas substituíram áreas verdes o longo dos anos. Às 18h as medições de temperatura do ar registraram o intervalo de 27,50 °C a 28,90 °C, concentrando os maiores valores nos bairros Cidade Alpha e Tamatanduba. As principais influências na TA são pelo tipo de construção, fluxo antropogênico e tipo de cobertura do solo, associação observada na análise da TST do ano de 2021, nas classes de ZCL identificadas e nos transectos, evidenciando áreas relacionadas a supressão hídrica e vegetal para urbanização.



**Palavras-chave:** zonas climáticas locais; temperatura; sensoriamento remoto.

## ABSTRACT

The urban growth and population densification dynamics causes socio-environmental effects, especially in absence sustainable planning adequate, chiefly in equatorial regions, where the formation of Urban Heat Islands (UHI) carries negative effects on the thermal population comfort. Remote sensing enables the identification of warmer areas superficially due to the radiation emitted by the bodies arranged in the studied environment, linked to this, the morphological characterization contributes to the identification of the thermal changes causes. In summary, this research aims to highlight what are the effects on the thermal dynamics of a small city with equatorial sub-humid climate as Eusebio (CE) in the midst of the urban morphological modification process, from the relation analysis between three variables: Local Climate Zones (LCZ), Surface Temperature (LST) and Air Temperature (AT). In brief, the ZCL was used as methodology to Eusebio's urban morphological landscape classification, based on height, roughness, coverage and thermal admission of materials (STEWART AND OKE, 2012); for characterization of the surface thermal dynamics, TST maps and graphs were prepared from the thermal infrared bands of Landsat 5 and 8 satellites for a temporal analysis (2001 to 2021); and two Mobile Transects were performed in the 2021's dry period with AT at 125 points in the municipality incorporating areas with different morphologies. The remote sensing geoprocessing operations was developed from the open source platform Google Earth Engine (GEE) and the software ARCGIS 10.5, followed by descriptive and inferential statistical analysis. In the 2001's median data sample, the LST is in the 25 °C range and has lower values that come close to 20 °C, while for 2021's median is above 30 °C. In the thermal maps, it is possible to see that urban features have replaced green areas over the years. At 6 PM, the air temperature measurements registered a range of 27.50 °C to 28.90 °C, with the highest values concentrated in the Cidade Alpha and Tamatanduba neighborhoods. The main influences on TA are by the construction type, anthropogenic flow and ground cover type, an association observed in the analysis of the 2021's LST, in the identified LCZ classes and in the mobile transects, evidencing areas related to water and vegetation suppression in detriment of urbanization.

**Keywords:** local climate zones; temperature; remote sensing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mapa de localização do município de Eusébio – CE .....	18
Figura 2 -	Hemisfério Sul da Terra - Anomalias de Temperatura (Janeiro- Dezembro) .....	23
Figura 3 -	Esquema típico do fluxo de ar sobre o urbano - (a) dia; (b) noite .	27
Figura 4 -	Comportamento do fluxo de energia radiante .....	31
Figura 5 -	Componente 1 - Características de Altura de Rugosidade .....	35
Figura 6 -	Componente 2 - Grupos de características de rugosidade .....	36
Figura 7 -	Componente 3 - Cobertura de Superfície em torno dos Recursos de Rugosidade .....	36
Figura 8 -	Componente 4 - Admissão Térmica de Materiais .....	37
Figura 9 -	Definição dos tipos construídos e de cobertura do solo na classificação ZCL .....	38
Figura 10 -	Esquema da Classificação Random Forest .....	40
Figura 11 -	Fluxograma da pesquisa .....	42
Figura 12 -	Percurso de Transecto Móvel em Eusébio .....	48
Figura 13 -	Fotografia de céu claro e com ausência de nebulosidade no município de Eusébio .....	49
Figura 14 -	Termo-higrômetro utilizado na medição (A); Veículo equipado com haste e termo-higrômetro (B) .....	50
Figura 15 -	Interface do aplicativo Avenza Maps .....	51
Figura 16 -	Obtenção de dados amostrais para valores TST .....	55
Figura 17 -	Boxplot .....	56
Figura 18 -	Densidade Demográfica de Eusébio/CE (Habitantes/Km <sup>2</sup> ) .....	59
Figura 19 -	RMF - PIB per capita – 2010 .....	60
Figura 20 -	Zona de Convergência Intertropical em atuação no hemisfério Sul .....	61
Figura 21 -	TSTs de Eusébio - 2001 e 2021 .....	66
Figura 22 -	TSTs de Eusébio - 2001 e 2021 .....	69
Figura 23 -	BR – 116 .....	74
Figura 24 -	Área no entorno do Shopping Eusébio .....	76
Figura 25 -	Rodovia CE-010 .....	77

Figura 26 - Construção de shopping na Rodovia CE-040 .....	79
Figura 27 - Espacialização da Temperatura do Ar nos pontos de coleta dos transectos .....	80
Figura 28 - Localização das Temperaturas do Ar mais expressivas .....	82
Figura 29 - Zonas Climáticas Locais em Eusébio – CE .....	86
Figura 30 - Classes ZCL para tipos edificados em Eusébio .....	87
Figura 31 - Classes ZCL para cobertura do solo em Eusébio .....	90
Figura 32 - Sobreposição de mapas para obtenção de dados de mesmos pontos .....	92
Figura 33 - Amostra de pontos aleatórios para todo o município .....	97
Figura 34 - Zonas Climáticas Locais e Temperatura Superficial em Eusébio/CE .....	99

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Acurácia das áreas de treinamento submetidas no ZCL Generator .....	54
Gráfico 2 -	Crescimento populacional no município de Eusébio - 1996 à 2021 .....	58
Gráfico 3 -	Precipitação acumulada anual - 1991 a 2021 .....	62
Gráfico 4 -	Precipitação por mês de 2021 e média mensal (1990 - 2021) .....	62
Gráfico 5 -	Temperatura média do ar - Estação meteorológica mais próxima .....	63
Gráfico 6 -	Boxplot - TST 2001 e 2021 .....	65
Gráfico 7 -	Gráficos de TSTs de Eusébio - 2001 e 2021 .....	71
Gráfico 8 -	Perfil Longitudinal do Transecto Móvel - TA (°C) 15/10/2021 .....	75
Gráfico 9 -	Perfil Longitudinal do Transecto Móvel - TA (°C) 16/10/2021 .....	75
Gráfico 10 -	Boxplots de Temperatura do Ar por bairros de Eusébio abrangidos pelos transectos móveis .....	78
Gráfico 11 -	Boxplot de TA e TST ao longo do transecto .....	94
Gráfico 12 -	Perfil Longitudinal dos Transectos Móveis - TA e TST (°C) por tipo de ZCL .....	96
Gráfico 13 -	Boxplots TST por bairros em 2021 .....	100

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das unidades morfológicas urbanas, construídas e verdes, e seus fenômenos climáticos urbanos, baseado em escalas de comprimento horizontal típicas .....	33
Quadro 2 - Principais Referências .....	43
Quadro 3 - Detalhamento dos transectos móveis .....	49
Quadro 4 - Diretrizes para gerar de Áreas de Treinamento .....	52
Quadro 5 - Estatística descritiva dos dados de Temperatura do Ar da amostra de pontos .....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias normais para condições atmosféricas predominantes no mês de outubro - Estação meteorológica do INMET/Passaré .....	49
Tabela 2 - Estatística descritiva de amostras dependentes de TST - 2001 e 2021 .....	64
Tabela 3 - Teste de amostras dependentes de TST - 2001 e 2021 .....	65
Tabela 4 - Descrição dos dados de TST de cada ano .....	67
Tabela 5 - Área em Km <sup>2</sup> e porcentagem de ZCLs na área de estudo .....	84
Tabela 6 - Temperaturas médias de TST e TA por tipo de ZCL ao longo do transecto .....	93
Tabela 7 - TST em °C por Zona Climática Local .....	98
Tabela 8 - TST em °C por Bairro .....	101
Tabela 9 - ZCL por bairro em Eusébio (%) .....	103

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
GNSS	Sistema de navegação por satélite
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Ilha de Calor
ICA	Ilha de Calor Atmosférica
ICS	Ilha de Calor Superficial
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas
MSS	<i>Multispectral Scanner</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
REM	Radiação Eletromagnética
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SCU	Sistema Clima Urbano
SSPS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
TA	Temperatura do Ar
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
TST	Temperatura de Superfície Terrestre
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCL	Zonas Climáticas Locais



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	22
2.1	Crescimento urbano e impactos climáticos .....	22
2.2	Bases conceituais da Climatologia Geográfica .....	23
2.3	Clima Urbano .....	25
2.4	Metodologias de análise do Clima Urbano .....	28
2.4.1	<i>Temperatura do Ar - Transectos móveis</i> .....	28
2.4.2	<i>Sensoriamento Remoto</i> .....	30
2.4.3	<i>Zonas Climáticas Locais (ZCLs)</i> .....	32
3	PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E METODOLÓGICOS .....	41
3.1	Temperatura Superficial Terrestre (TST) .....	44
3.2	Transectos Móveis .....	47
3.3	Zonas Climáticas Locais - ZCL Generator .....	52
3.4	Estatística Descritiva e Inferencial dos dados .....	54
4	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS, GEOECOLÓGICAS E URBANAS DO MUNICÍPIO DE EUSÉBIO .....	58
5	ANÁLISE TEMPORAL DA TST .....	64
6	TEMPERATURA DO AR .....	74
7	ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS – ZCL .....	84
8	RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS E MODIFICAÇÕES TÉRMICAS .....	92
8.1	Médias de TST e TA por ZCL dos pontos de coleta do transecto ....	92
8.2	Análise visual de dados pontuais ao longo do transecto .....	95
8.3	Zonas Climáticas Locais e TST .....	97
8.4	TST por bairro em Eusébio .....	100
8.5	ZCL por bairro em Eusébio .....	102
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	106
	REFERÊNCIAS .....	110

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização do Brasil perpassa pela dinâmica de expansão econômica refletida no fenômeno da industrialização. Essa base econômica advinda da criação de atividades industriais em diversos espaços, diferente daquela caracterizada pela produção agrária dá ao país uma nova estruturação em diversas vertentes. As mudanças sociais, o aumento do consumo de bens e serviços, o mercado nacional e a integração do território brasileiro elevam o país de uma economia regional a uma economia nacional, impulsionando o crescimento demográfico que estimulou mais ainda a produção dos espaços urbanizados, sobretudo nas capitais (SANTOS, 2005).

O desordenado processo de crescimento urbano e adensamento populacional têm ocasionado inúmeros problemas sócio ambientais, sobretudo na ausência de planejamento sustentável adequado das cidades, principalmente em regiões tropicais, onde a formação de Ilhas de Calor (IC) exerce efeitos negativos à população. (Lin, P *et al* 2017). Os modos de uso e ocupação exercidos em determinado local evidenciam características na cobertura do solo que podem ocasionar determinadas mudanças nas propriedades climáticas dos lugares, principalmente em municípios onde a urbanização é crescente, uma vez que existe uma dinâmica acelerada no processo de degradação dos ambientes naturais e construção de estruturas urbanísticas. Estes aspectos se intensificam quando há atrativos ao aumento populacional, o que leva a implantação de equipamentos que atendam às demandas de serviços e moradia.

As características térmicas existentes no urbano condicionam problemas associados ao desconforto térmico, uma vez que as superfícies pavimentadas e as atividades antrópicas desenvolvidas neste ambiente geram mais calor que nas áreas rurais ou vegetadas, evidenciando um balanço energético diferenciado, o qual interfere em condicionantes do clima local, como a umidade e a Temperatura do Ar (TA).

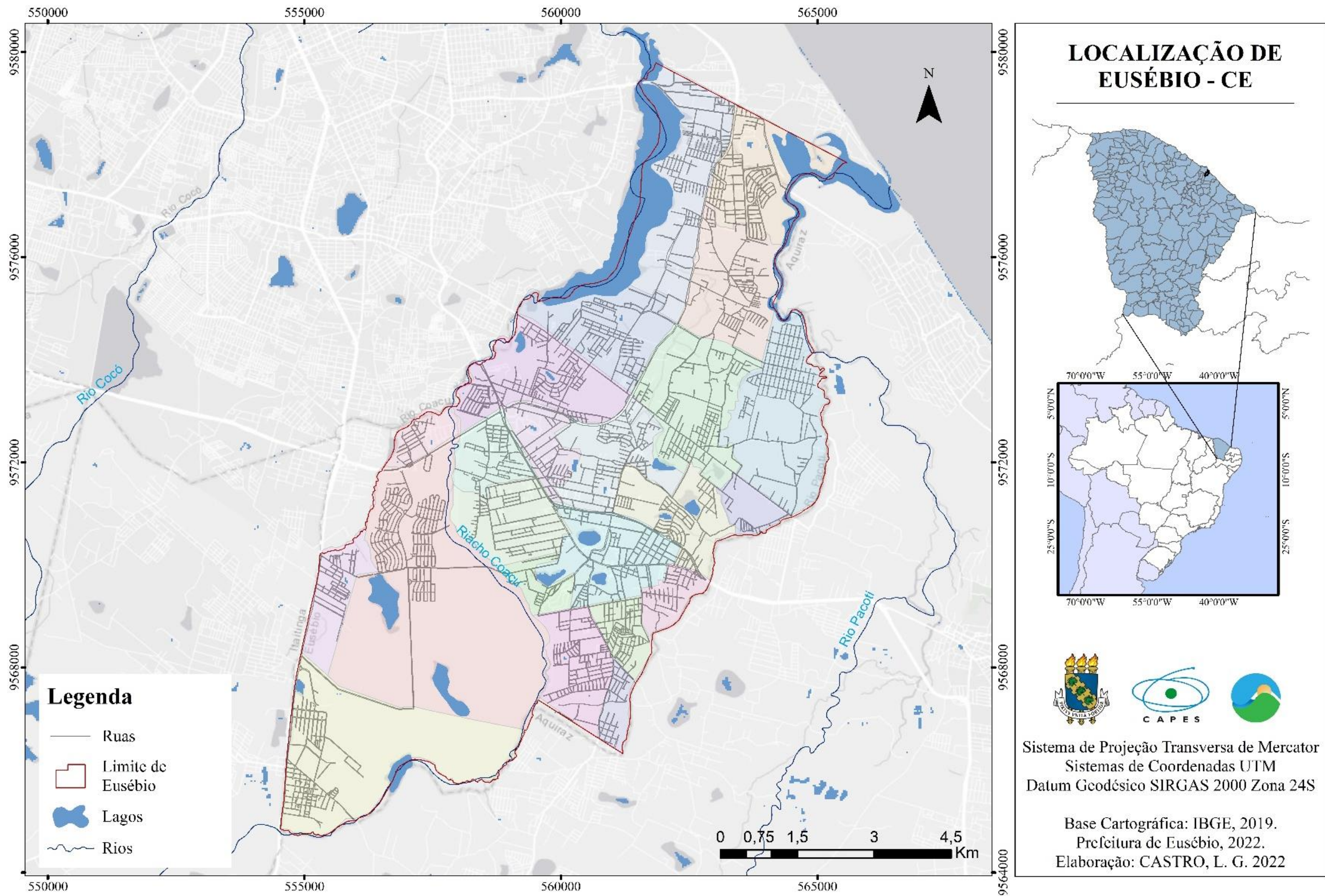
A cidade desempenha modificações que atuam na formação de microclimas que influenciam diretamente no conforto ou desconforto térmico, principalmente na formação de Ilhas de Calor, caracterizadas pelas altas temperaturas. O desconforto térmico está relacionado a Temperatura do Ar, sendo que diversos fatores podem ter influência no aumento ou diminuição da mesma,

dentre eles, o tipo de construções, o fluxo de veículos, a densidade demográfica e a ausência de áreas vegetadas. Tais fatores estão diretamente ligados à temperatura de superfície, característica importante nos estudos termais dos centros urbanos, que se tornam cada vez mais quentes conforme há o crescimento urbano.

Áreas com vegetação dentro do ambiente urbano agem como reguladoras térmicas, porém, a retirada dessa cobertura vegetal do solo e a pavimentação das vias contribuem para o escoamento mais acelerado da água da chuva, o que diminui a evaporação e evapotranspiração, fenômenos contribuintes para o resfriamento da superfície terrestre. Estes fatores influenciam no aumento de Temperatura Superficial, uma vez que a superfície urbana construída ou pavimentada absorve o calor mais facilmente durante o dia e libera durante a noite (GARTLAND, 2010). Fato que destaca a importância de superfícies vegetadas como fomento ao conforto térmico.

Eusébio (Figura 1), município da região metropolitana de Fortaleza/CE, a partir dos anos 2000, despertou interesse por parte dos investidores imobiliários, isso se deu principalmente devido à boa localização geográfica limítrofe à capital - 18 Km de distância em linha reta -, e pelos custos inferiores das terras se comparado aos de Fortaleza (NOGUEIRA, 2011). Assim, passou a exercer influência sobre o vetor imobiliário na região, o que levou a reestruturação do comércio, da indústria e da infraestrutura do município, que contribuiu para seu crescimento econômico, mas também para mudanças no âmbito social e ambiental. Caracteriza-se como cidade de pequeno porte, sendo objeto de estudo apropriado para análises holísticas entre urbano e rural próximo, abrangendo características de uso e cobertura do solo, uma vez que as trocas de energia entre esses ambientes influenciam diretamente a temperatura de superfície, que pode contribuir para o aumento da Temperatura do Ar (KUANBIAO QIU, BAOQUAN JIA, 2020; HUNG-CHU CHEN, *et al* 2020).

Figura 1 - Mapa de localização do município de Eusébio - CE



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) define as cidades pequenas como àquelas com aglomerados urbanos de até 100 mil habitantes, essa classificação leva em conta os aspectos quantitativos e qualitativos dos municípios. Pode-se categorizar Eusébio como uma Cidade Pequena, uma vez que seu contingente populacional total estimado no ano de 2021 é de 55.035 habitantes (IBGE, 2010).

Autores como Oliveira (2020) tem dado enfoque a investigação do clima de cidades pequenas que se torna cada vez mais importante tendo em vista o rápido crescimento das metrópoles que exercem efeito sobre os municípios metropolitanos, sobretudo em torno da economia, estas pequenas cidades evidenciam atributos específicos da temperatura dentro das análises climáticas.

A paisagem urbana possui elementos naturais e não-naturais heterogêneos, os quais geram diferentes reações climáticas ao meio, especialmente quanto à temperatura. Neste ambiente diverso em especificidades, é necessária a análise da paisagem em nível local, principalmente em municípios pequenos com perímetros urbanos ainda menores, como Eusébio, uma vez que nesses lugares é comum a ocorrência de complexos de paisagens vizinhas contrastantes. (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTE, 2004).

O uso do sensoriamento remoto tem sido uma metodologia comumente utilizada no estudo do Clima Urbano, sendo ferramenta de extrema relevância, uma vez que possibilita o estudo em escala temporal mais abrangente e propicia a elaboração de prognósticos de elementos presentes na paisagem, viabilizando a análise das relações com dados coletados localmente. A paisagem urbana se apresenta de forma heterogênea em suas especificidades, o que faz com que a análise dos fenômenos em na escala microclimática contribua para a geração de metodologias que sejam de fato eficazes no diagnóstico das anomalias térmicas nestes ambientes.

Visando aprofundamento desta análise, há a necessidade da aplicação de metodologias com uso tanto do sensoriamento remoto como de coleta de dados locais para diagnóstico de possíveis interferências das mudanças no uso e cobertura do solo do município de Eusébio sobre o aumento da Temperatura Superficial e da Temperatura do Ar, no recorte temporal de 2001 à 2021. Dentro destas metodologias, propõe-se o uso do sistema de classificação da paisagem ZCL (*Local*

*Climate Zones*), relacionando-o com a Temperatura Superficial Terrestre (TST) e dados de Temperatura do Ar (TA) obtidos através de transectos móveis.

No estado do Ceará alguns trabalhos já utilizaram a análise da Temperatura Superficial em estudos de Clima Urbano, destacando a influência desta sobre o conforto térmico (SILVA *et al*, 2018; ESTEVÃO, 2020). Entretanto, a relação entre Temperatura Superficial, Temperatura do Ar e formação de ICs utilizando a metodologia do sistema ZCL ainda é escassa em cidades do estado, o que torna esta pesquisa uma importante ferramenta de estudo do Clima Urbano em cidades de pequeno porte como Eusébio, onde a incidência solar influencia naturalmente no aquecimento da cidade ao longo do ano e medidas eficientes de amenização do calor são necessárias. Trabalhos como o de Cardoso e Amorim (2018) são base para o estudo das ZCLs no Brasil, englobando análises integradas com o uso de sensoriamento remoto, geoprocessamento e medições móveis e fixas na obtenção de temperaturas. Oliveira (2014), investigou o clima urbano de Caucaia/CE sob o sistema termodinâmico, e evidenciou a importância do sensoriamento remoto como metodologia de análise conjunta com dados primários locais.

O conhecimento acerca dos aspectos físicos do ambiente urbano é crucial para a prospecção de cenários futuros, visando o desenvolvimento urbano sustentável, contribuindo com o meio natural e, conseqüentemente com a qualidade de vida. Com isto, objetiva-se identificar as morfologias termicamente homogêneas existentes em Eusébio/CE a partir do sistema de classificação de Zonas Climáticas Locais relacionando-o à formação de zonas mais quentes e visando a tomada de decisões mais eficazes para mitigação de ICAS.

Trabalhos como o de Estevão (2020), evidenciaram mudanças progressivas nas temperaturas superficiais na cidade de Juazeiro do Norte (CE) com o crescimento urbano. O município de Eusébio apresenta intensas mudanças das características vegetacionais, hídricas e superficiais ao longo dos últimos 20 anos pela construção de condomínios horizontais e infraestrutura urbana com o crescimento de áreas pavimentadas e construídas, bem como muitas áreas de solo exposto pelo processo de comercialização de loteamentos, como evidenciam os trabalhos de Silveira (2012) e Nogueira (2011). Esta dinâmica de crescimento pode corroborar no descontrole dos sistemas de geração de ilhas de frescor provenientes de zonas com maior densidade de vegetação e corpos d'água (GARTLAND, 2010),

demonstrando a necessidade de aprofundamento das análises futuras sobre o Clima Urbano do município.

O município em questão passa por mudanças em sua estrutura urbana constantemente, assim como outros municípios brasileiros com características semelhantes. Deste modo o objetivo desse trabalho é evidenciar quais são os efeitos na dinâmica térmica de um município de pequeno porte com clima equatorial subúmido como Eusébio (CE) em meio ao processo de modificação morfológica urbana, a partir da análise da relação entre três variáveis: Zonas Climáticas Locais (ZCL), Temperaturas Superficiais (TST) e Temperatura do Ar (TA), para atender a tal objetivo foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- Analisar os impactos das modificações no uso e ocupação do solo sobre o clima local do município de Eusébio;
- Identificar bairros com maiores modificações na temperatura superficial ao longo do tempo analisado e maior aquecimento do ar atualmente;
- Mapear as características morfológicas urbanas do município;
- Definir associações entre Temperatura do Ar, Morfologia Urbana e Temperatura Superficial.

Diante do exposto, esta pesquisa apresenta-se como aporte aos estudos ambientais e à sociedade, contribuindo para a criação de ferramentas de análise que possibilitem o mapeamento de locais mais susceptíveis ao aumento de temperatura de forma crescente dentro dos municípios, atentando para planejamentos mais eficientes vinculando crescimento urbano e meio ambiente. É necessário destacar a importância de tal estudo, não só para as iniciativas públicas de planejamento urbano, mas também para os profissionais da indústria imobiliária, uma vez que dadas metodologias podem contribuir para o conhecimento de materiais construtivos e de arranjos urbanos que promovam o bem-estar térmico nas cidades.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A proposta do trabalho tem por base a relação entre variáveis climáticas, morfologia urbana e temperatura, estabelecendo assim um fluxo de trabalho baseado em teorias e fundamentações metodológicas para o diagnóstico das mudanças na temperatura.

### 2.1 Crescimento urbano e impactos climáticos

Dados do 6º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas - IPCC estimam que o aquecimento global atinja 1,5 °C entre 2030 e 2052, levando em consideração as mudanças nos sistemas naturais e atuais atividades humanas e seus efeitos sobre o clima. Os riscos climáticos desse aquecimento para os sistemas naturais e para os seres humanos “dependem da magnitude e ritmo do aquecimento, localização geográfica, níveis de desenvolvimento e vulnerabilidade e de escolhas e da implementação de opções de adaptação e mitigação” (IPCC, 2021). Neste sentido, o crescimento urbano apresenta aspectos relevantes na mudança climática em escalas locais. A localização geográfica justifica nesta pesquisa a relação entre a dinâmica de crescimento das cidades e o aumento das temperaturas, visto as condições climáticas tropicais do objeto de estudo e a ação dos sistemas atmosféricos atuantes sobre essa região que inferem sobre as características climáticas urbanas.

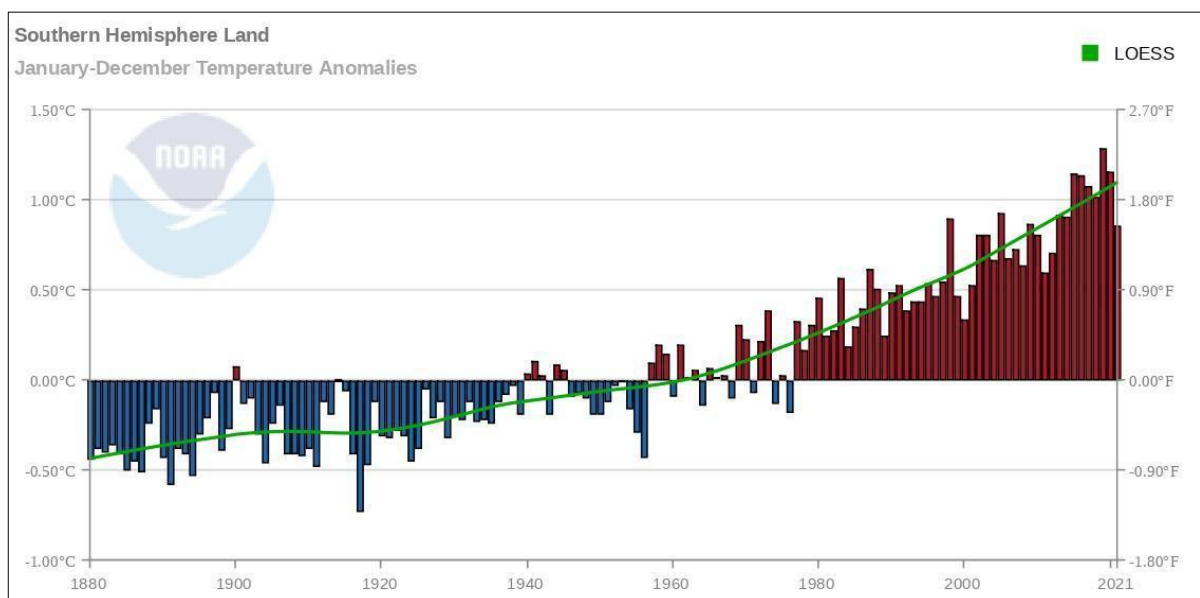
De acordo com dados da ONU (2018), até 2050 estima-se que a população urbana mundial chegará a 92,4%, enquanto a população rural chegará a 7,6%. Este dado aponta para a necessidade de aprofundamento dos estudos termais nas cidades, uma vez que a população mundial se torna cada vez mais urbana e as atividades e construções provenientes desta organização espacial podem gerar impactos à saúde e ao bem-estar dos moradores a partir dos efeitos modificadores dos sistemas naturais.

Os picos de calor são um risco à saúde dos moradores de áreas urbanas localizadas em climas tropicais, sobretudo para crianças e idosos, mais susceptíveis a problemas relacionados às altas temperaturas, e ainda, para as classes pobres, mais vulneráveis ao calor no seu cotidiano. Dados da Organização das Nações Unidas (ONU) juntamente com a Administração Nacional Oceânica e Atmosférica



(NOAA, 2022) afirmam que 2021 foi o 6° ano mais quente já registrado, desde 1880, com temperatura média superficial terrestre e oceânica da Terra de 0,84 °C acima da média para o século XX. Para a América do Sul 2021 foi o 45° ano consecutivo com temperaturas acima da média destacando setembro como o mês mais quente da América do Sul já registrado, com uma temperatura de mais 1,86°C (Figura 2). Tais mudanças na Temperatura Superficial da Terra estão relacionadas a efeitos já previstos como impactos na extensão das geleiras, a ocorrência de ciclones tropicais globais acima das médias e conseqüentemente aumento das temperaturas nas cidades.

Figura 2 - Hemisfério Sul da Terra - Anomalias de Temperatura (Janeiro-Dezembro)



Fonte: National Centers for Environmental Information - NOAA, 2022.

Esta dinâmica de crescimento pode corroborar no descontrole dos sistemas de geração de ilhas de frescor provenientes de zonas com maior densidade de vegetação e corpos d'água (GARTLAND, 2010), demonstrando a necessidade de aprofundamento das análises futuras sobre o clima urbano no município de Eusébio e em regiões com características semelhantes.

## 2.2 Bases conceituais da Climatologia Geográfica

A Climatologia Geográfica tem suas bases científicas na Meteorologia, de acordo com os estudos de Zavattini (2000) a partir de obras importantes como a *"Introduction à l'étude scientifique du climat"* do francês Pédelaborde de 1970. Esses

estudos revelam que a Climatologia se estabelece como um ramo da Geografia Física, e que obtém subsídios de outras ciências geográficas, dentre elas a Geomorfologia, Biogeografia e Hidrografia, pois os fenômenos estudados encontram-se na atmosfera, assim como também da Geografia Humana, considerando as influências das cidades, atividades humanas e dos elementos naturais sobre o clima.

Para Zavattini (2000, p. 28), o papel da geografia nas análises meteorológicas é de “analisar as variações temporais e espaciais da chuva, da temperatura, da umidade, dos ventos, das massas de ar, ou seja, entender a ação dos diferentes e inúmeros tipos de tempo”. Ainda sob o pensamento do autor, cabe a Geografia compreender a dinâmica atmosférica de determinado local sem deixar de considerar o conjunto de meteoros, uma vez que a gênese dos acontecimentos depende de variados fatores físicos, sociais e biológicos.

A climatologia enquanto ciência geográfica “trata dos padrões de comportamento da atmosfera em suas interações com as atividades humanas e com a superfície do Planeta durante um longo período de tempo” (MENDONÇA; DANNI OLIVEIRA, 2007, p. 15), sendo base para explicar os tipos de paisagens resultantes da relação homem e natureza no âmbito dos fenômenos atmosféricos e possibilitar intervenções na organização espacial.

No âmbito escalar, há de se considerar alguns aspectos que particularizam as regiões e sua dinâmica climática. Max Sorre, em sua obra “*Traité de climatologie biologique et medicale*” publicada em 1934, destaca que o Clima de determinado local é formulado pela sucessão habitual dos tipos de tempo, estes por sua vez, são estruturados por fatores ambientais característicos, tais como altitude, atuação de sistemas atmosféricos predominantes, radiação, dentre outros. Nesta perspectiva, o autor delinea o objeto da Climatologia, tomando como base a noção que engloba a periodicidade dos estados atmosféricos e também os eventos extremos (SORRE, 2006).

Com isso o papel das escalas climáticas se torna fundamental na definição e investigação dos tipos de tempo e do clima sobre a natureza e sociedade, podendo relacionar o Clima Local, por exemplo, a uma escala aproximada de tipos médios de tempo (SORRE, 2006). Ainda assim, há de se

verificar que os fenômenos atmosféricos ocorrem de maneira muito dinâmica de um espaço geográfico a outro, desde bairros a ruas dentro de uma cidade, neste caso, a escala a ser analisada é a Microclimática, na qual as especificidades ambientais e antropogênicas, por menores que sejam, atuam na formação do clima local e em ilhas de frescor ou calor nos centros urbanos.

### **2.3 Clima Urbano**

A atmosfera urbana e suas propriedades físicas como umidade e temperatura, sofrem interferências advindas dos conjuntos urbanos relacionados às mudanças nas características das superfícies (morfologia) e atividade antropogênica. A dimensão e a forma urbana desempenham papel importante nas mudanças atmosféricas a partir de componentes específicos. Os tecidos, coberturas da superfície e estrutura urbana (prédios, rodovias, vegetação, etc) determinam o fluxo de radiação, temperatura e umidade das superfícies, (OKE *et al*, 2017).

Os aspectos inerentes ao urbano resultam na formação de um clima específico, que difere em suas categorias de análise do clima dos ambientes naturais, pela interferência humana na morfologia do espaço e pelos tipos de uso e ocupação do solo. As primeiras concepções teóricas do Clima Urbano dão suporte ao estudo e desenvolvimento de novas técnicas de investigação, sendo indispensável à fundamentação das análises congruentes às bases dessa ciência.

O Sistema Clima Urbano (SCU), proposto na tese de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro em 1976, fundamenta-se na Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (1972), entendendo o Clima Urbano como um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização (MONTEIRO; MENDONÇA, 2011). Neste sentido, a análise do Clima Urbano é a integração dos diferentes elementos e suas correlações ecológicas, morfológicas e funcionais, o que evidencia a necessidade de um arcabouço metodológico e científico para a compreensão desse sistema em suas diferentes interfaces. O autor fundamenta-se no conceito de Tipos de Tempo de Pierre Pédelaborde e no conceito de Ritmo Climático de Max Sorre para sua abordagem atmosférica com base na análise do ritmo dos tipos de tempo ou sucessão dos estados atmosféricos em dado lugar (MONTEIRO; DANNI OLIVEIRA, 2007).

O S.C.U tem sua importância na análise dos diferentes fenômenos climáticos e suas interações no âmbito da urbanização, é subdividido em três subsistemas definidos como canais de percepção, são eles: Subsistema Termodinâmico (Conforto Térmico); Subsistema Físico-químico (Qualidade do ar); e, Subsistema Hidrodinâmico (Impactos Meteorológicos).

Ugêda Júnior e Amorim (2016) destacam que “do ponto de vista teórico-metodológico não houveram significativas alterações e o SCU permanece essencialmente aquilo que foi proposto por Monteiro”, entretanto, ao longo dos anos as técnicas de análise se tornam cada vez mais precisas e inovadoras, sendo de suma importância a complementação de novas metodologias ao estudo do SCU.

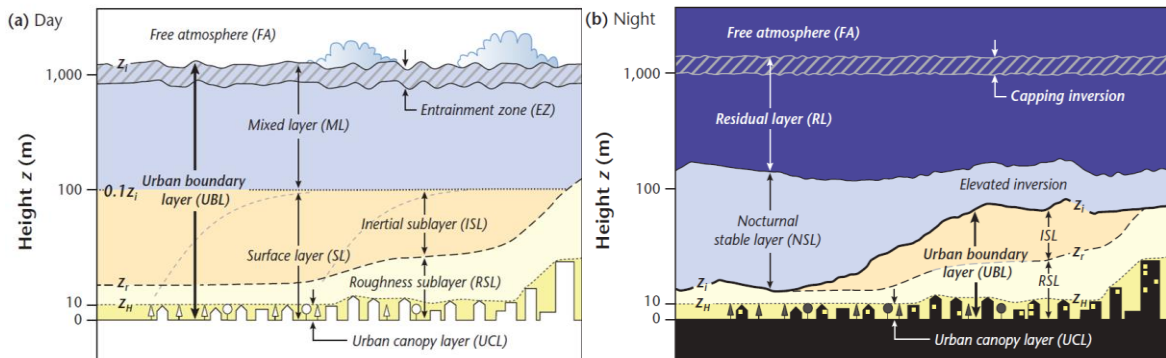
A dinâmica térmica proveniente do processo de urbanização, é analisada a partir do Subsistema Termodinâmico, o qual evidencia as características resultantes da interação entre a radiação solar e o balanço térmico de dado local, considerando a circulação atmosférica regional e variações espaciais na troca de calor. A estrutura urbana, a topografia, os tipos de uso do solo e as funções desenvolvidas pelos cidadãos resultam em efeitos térmicos em espaços dentro da cidade, que se diferem pelo grau de reflexão e absorção provenientes dos tipos de conjuntos de características existentes (MONTEIRO; MENDONÇA, 2011).

A interação atmosférica entre ambientes urbanos e rurais estabelece características inerentes à criação de microclimas e relações de balanço energético. De acordo com Gartland (2010), a diminuição da evaporação de energia do rural para o urbano está associada à diminuição da cobertura vegetal, além de influenciar na dinâmica de armazenamento de calor diário devido o lento processo de evaporação e liberação de calor noturna com a redução da Temperatura Superficial.

O espaço urbanizado possui grande interferência nas mudanças do clima em escala local, desde a morfologia às atividades humanas produzidas. O albedo de determinadas superfícies, por exemplo, resulta em níveis altos de emissão de calor para a atmosfera. A camada mais baixa da atmosfera, a qual encontra-se em contato com a superfície da terra é influenciada pelas atividades existentes nesta região, como a emissão de gases poluentes, emitância térmica, umidade do ar, intensidade e direção dos ventos. Durante o dia a temperatura emitida pela superfície terrestre gera bolsões de ar quente que acendem até a camada do limite inferior da atmosfera. No período noturno, devido o resfriamento da superfície a

camada limite diminui tornando-se estável (Figura 3) (OKE *et al*, 2017). Seguindo esta análise, reitera-se a influência das superfícies próximas e da morfologia urbana na modificação dos microclimas e na geração de ICs, e ainda, a importância da investigação da interação atmosférica nos diferentes períodos do dia.

Figura 3 - Esquema típico do fluxo de ar sobre o urbano - (a) dia; (b) noite



Fonte: OKE *et al* (2017).

Essas interações entre atmosfera e superfície urbana ocasionam as Ilhas de Calor, definidas por Gartland (2010) como um “oásis inverso” na cidade, zonas onde as propriedades térmicas se apresentam mais quentes que seus arredores, devido às atribuições físicas dos equipamentos que compõem o meio, fluxo antropogênico e a circulação atmosférica. Em zonas equatoriais, as Ilhas de Calor se apresentam como prejudiciais ao ser humano, ocasionando desconforto térmico e interferência no desenvolvimento das atividades cotidianas, além de oferecer risco à saúde das populações mais vulneráveis.

A impermeabilidade das superfícies e os materiais escuros existentes na morfologia urbana fornecem ao ambiente construído características termais que geram Ilhas de Calor, em áreas urbanas e suburbanas, concomitante a essas causas estão também associadas às atividades antropogênicas desenvolvidas e a poluição proveniente das indústrias e automóveis (GARTLAND, 2010).

Moura, Zanella e Sales (2008, p. 37) destacaram que

As ilhas térmicas podem ser analisadas sob os aspectos das variações espaciais e temporais, fatores que vão determinar a intensidade e frequência do fenômeno. As variações espaciais ocorrem tanto no ambiente intraurbano como no interurbano e podem ser verificadas nos níveis escalares verticais e horizontais.

Outra característica relacionada ao crescimento urbano e que pode influenciar nas diferenciações térmicas e geração de Ilhas de Calor é a densidade e taxa de ocupação populacional, como afirma Gartland (2010, p. 34), “o calor antropogênico é gerado pelas atividades humanas e é proveniente de diversas fontes, como edifícios, processos industriais, carros e até mesmo as próprias pessoas”. Os efeitos da temperatura são percebidos de formas diferentes por cada indivíduo ou grupo social, a Geografia do Clima trata deste fenômeno associado à qualidade de vida nos diferentes estratos sociais (SANT’ANNA NETO, 2008).

Amorim *et al* (2014) com o uso de transectos móveis noturnos mostrou “que a urbanização e as características do uso do solo são responsáveis pela distribuição da Temperatura do Ar gerando Ilhas de Calor nos bairros densamente construídos e no centro” da cidade de Presidente Prudente (SP). Como destacam Cileke Cilek, (2021) as temperaturas de superfícies mais altas são atribuídas a áreas com solo pouco permeável, com escassez de vegetação e áreas agrícolas não plantadas (solo exposto), logo, os tipos de superfícies construídas e coberturas do solo podem gerar Ilhas de Calor Superficiais e influenciar diretamente a formação de Ilhas de Calor atmosféricas.

## **2.4 Metodologias de análise do Clima Urbano**

### **2.4.1 Temperatura do Ar - Transectos móveis**

Os dados fornecidos por estações meteorológicas fixas são muito utilizados na análise climática das cidades por oferecerem uma fonte de dados temporalmente abrangente e dispor de diversos tipos de variáveis climatológicas. Entretanto, esta fonte de dados se torna insuficiente em grande parte das cidades brasileiras, principalmente as de pequeno porte ou distantes das capitais e metrópoles.

Para reduzir a escassez de dados climáticos, as medições móveis têm sido implementadas nos estudos de clima urbano no mundo todo. Este tipo de coleta de dados verifica as variações que podem existir entre a temperatura de determinados locais e seus respectivos usos do solo, a partir de trajetos preestabelecidos que podem ser realizados por meio de bicicleta, motocicleta (RODRÍGUEZ, L. R. *et al.* 2020; LIU *et al.* 2017) e automóveis (DORIGON, 2020;

PITON *et al*, 2021), com uso de termo-higrômetros. Diferentemente das estações fixas, os transectos oferecem menor custo de investimento.

O Transecto Móvel consiste numa metodologia de medição da Temperatura do Ar por meio de percurso predeterminado em dada região, escolhendo locais representativos para a coleta dos dados com uso de aparelhagem meteorológica básica (GARTLAND, 2010). No Brasil, trabalhos como de Amorim (2009) comparam os dados obtidos por meio desta metodologia à análise das temperaturas superficiais.

A metodologia do uso de transectos móveis para medições da Temperatura do Ar também tem suma importância no mapeamento e análise das Ilhas de Calor. Minaki e Amorim (2013) utilizaram-na “para verificar a existência, intensidade e disposição da ilha de calor urbana (ICU)”. Amorim, Neto e Dubreuil (2009), analisaram “a estrutura térmica do clima urbano com base na interpretação do canal térmico do satélite Landsat 7 e de medidas de superfície por meio da realização de transectos”. Estes últimos buscaram ainda,

[...] identificar como se processa a produção do clima urbano em cidades de porte médio do oeste paulista, partindo de uma análise das formas de estruturação do espaço, das características do uso do solo e dos materiais construtivos na geração de Ilhas de Calor e suas implicações no conforto ambiental (AMORIM, NETO E DUBREUIL, 2009, p. 66).

Tal metodologia possibilitou aos autores a identificação de pontos com temperaturas mais elevadas no centro da cidade de Presidente Prudente - SP, relacionados à densidade de construções e bairros industriais, e ainda, detectaram pontos fora do perímetro urbano, caracterizados pela presença de conjuntos habitacionais, que apresentaram também temperatura significativa, relacionada diretamente ao material construtivo, embora em menor grau que no centro. Oliveira (2020) identificou maiores temperaturas durante a realização de transectos móveis em pontos com ausência de vegetação e maior densidade urbana na cidade de Crateús. Com base nesses trabalhos, verifica-se que os dados obtidos através dos transectos móveis são ideais na elaboração da modelagem espacial de Ilhas de Calor e mostram relação com a realidade do meio físico climático, considerando-se a camada a nível do topo dos edifícios (AMORIM, M. C. C. T, 2019).

### **2.4.2 Sensoriamento Remoto**

O avanço das geotecnologias possibilita uma abrangência maior na análise das causas e efeitos das mudanças nas temperaturas em diferentes escalas temporais e espaciais para o Clima Urbano. O sensoriamento remoto termal permite identificar zonas mais quentes superficialmente e analisar o balanço de energia na relação com ICs. A partir do cálculo da Temperatura Superficial Terrestre (TST) por meio do canal infravermelho termal de satélites como o Landsat, a temperatura resultante incorpora os efeitos das propriedades termodinâmicas e radiativas da superfície (VOOGT e OKE, 2003).

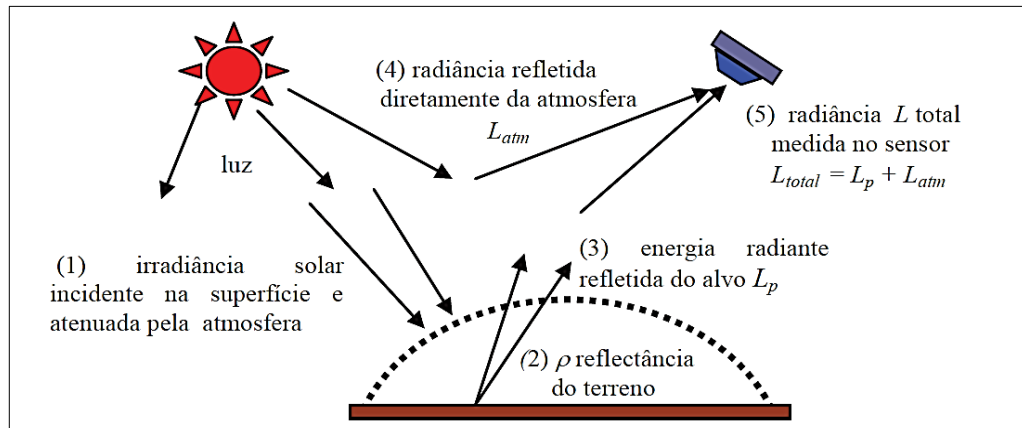
Os locais que concentram maior temperatura nos municípios são caracterizados pelo tipo de uso e cobertura do solo, dos quais pode-se constatar a interferência na produção de calor. De acordo com Jensen (2009, p. 254),

Todos os objetos do mundo real tendo temperatura acima do zero absoluto apresentam movimento aleatório. A energia das partículas da matéria molecular em movimento aleatório é chamada de calor cinético. Quando essas partículas colidem, elas mudam seu estado de energia e emitem radiação eletromagnética.

Este calor cinético interno de um corpo é convertido também em energia radiante (Figura 4). Esta energia é detectada pelos sensores dos satélites e pode ser utilizada em diversos tipos de tratamentos das imagens obtidas (JENSEN, 2009). De acordo com Souza e Júnior (2012), “As trocas e o balanço de energia superficial são funções da interação da radiação com a cobertura da terra”, neste sentido a elaboração de cartas TST, é um dos parâmetros para se medir e localizar as Ilhas de Calor de determinado local a partir do tipo de cobertura do solo.



Figura 4 - Comportamento do fluxo de energia radiante



Fonte: Meneses, 2012.

No que concerne ao clima das cidades, o sensoriamento remoto permite identificar e mitigar zonas quentes em ambientes urbanizados, tendo em vista a heterogeneidade do arranjo urbano, pelos diferenciados tipos de superfícies existentes, com diferentes respostas espectrais aos satélites. A coleta de dados da Temperatura do Ar através de postos meteorológicos se torna muito limitada devido às poucas unidades espalhadas pelo território nacional, porém, a análise por meio de sensoriamento remoto possibilita uma análise temporal e espacial mais abrangente de variáveis como a temperatura de superfície e cobertura do solo. Tal recurso permite a visualização das modificações que podem ocorrer com a retirada da cobertura vegetal para a construção de condomínios e da infraestrutura para atender a demanda urbana, por exemplo.

São várias as missões espaciais responsáveis pela obtenção de imagens espectrais da Terra. Neste trabalho, para a análise da temperatura da superfície, optou-se pela utilização dos produtos da coleção de satélites do programa Landsat, disponibilizados desde o ano de 1972, os quais dispõem de imagens com faixas espectrais que vão de  $0.43\mu\text{m}$  a  $12.51\mu\text{m}$ . Ao todo foram lançados até o momento 9 satélites operacionais de observação terrestre, cada missão apresenta avanços em resolução espacial, radiométrica e temporal por meio dos sensores *Multispectral Scanner* (MSS), *Thematic Mapper* (TM), *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) e *Operational Land Imager* (OLI) (USGS, 2022).

Nesta pesquisa foram utilizados dados das missões Landsat 5 para análise dos anos antecedentes a 2013, e para os anos subsequentes a 2013 foi utilizado o Landsat 8, este último possui resolução de 12 bits, o que permite que os

sensores detectem diferenças ainda mais sutis do que o Landsat 5. Para a abrangência total da área de estudo é utilizada a referência orbital 216/73 das imagens dos satélites. Para o Landsat 5 foi utilizada a Banda 6, e para o Landsat 8 foi utilizada a banda 10, ambas correspondentes ao Infravermelho Termal de cada satélite.

Estudos evidenciam a importância da análise termal da escala urbana e de seu entorno, a fim de obter uma abrangência das características dos tipos de uso e cobertura do solo, uma vez que as trocas de energia entre elas influenciam diretamente a temperatura de superfície, que pode contribuir para o aumento da Temperatura do Ar (KUANBIAO QIU, BAOQUAN JIA, 2020; HUNG-CHU CHEN, *et al* 2020).

A aquisição de dados de satélite se torna cada vez mais acessível por meio das tecnologias desenvolvidas, uma vez que a obtenção desses produtos por meio de *downloads* exige máquinas com potentes processadores e armazenamento amplo, além de serem necessárias várias etapas de edição dos rasters em softwares de geoprocessamento. O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma baseada em nuvem que otimiza tempo e refina recursos computacionais de alto desempenho para processamento de densas séries de dados geoespaciais, que englobam todos os produtos Landsat, e demais produtos. Na plataforma, por meio das linguagens de programação Python e Java, é possível desenvolver operações algébricas por pixel das bandas dos satélites, através de funções geradas por códigos se obtendo uma gama de informações e produtos em formatos diversos, como rasters, quadros e gráficos (GORELICK, N. *et al*, 2017). Neste trabalho optou-se por utilizar esta ferramenta para a aquisição da base de sensoriamento remoto para posteriores edições finais no ArcGIS 10.5.

#### **2.4.3 Zonas Climáticas Locais (ZCLs)**

A morfologia urbana exerce modificações climáticas considerando-se a localização geográfica e os fenômenos climáticos em escala global associados. Diversos campos da ciência têm interesse no estudo das formas e dos componentes urbanos, a climatologia urbana, por exemplo, se debruça sobre a análise das geometrias das construções, da rugosidade, do tipo de material construtivo que influencia na radiação emitida e presença de vegetação (Quadro 1). Tais

características produzem efeitos climáticos específicos de acordo com cada conjunto existente (OKE, 2017).

Quadro 1 - Classificação das unidades morfológicas urbanas, construídas e verdes, e seus fenômenos climáticos urbanos, baseado em escalas de comprimento horizontal típicas

<b>Unidades Urbanas</b>	<b>Características Construídas</b>	<b>Verde e Características da Água</b>	<b>Fenômenos Climáticos Urbanos</b>	<b>Escala Climática</b>
<b>Faceta</b>	Telhado, parede, estrada	Folha, gramado, lago	Sombras, fluxo de calor de armazenamento, orvalho e padrões de geadas	Micro
<b>Elemento</b>	Edifício residencial, arranha-céus, armazém	Árvore	Esteira, empilhamento de plumas	Micro
<b>Canyon (Desfiladeiro)</b>	Rua, desfiladeiro	Linha de rua árvores ou jardins, rio, canal	Sombreamento entre ruas, vórtice do desfiladeiro, bioclima para pedestres, clima do pátio	Micro
<b>Bloco</b>	Bloco de cidade (delimitado por desfiladeiros com interior pátios), fábrica	Parque, madeira, lagoa de armazenamento	Clima do parque, fábricas	Local
<b>Vizinhança ou Zona Climática Local</b>	Centro da cidade, residencial (quarteirão), zona industrial	Cinturão verde, floresta, lago, pântano	Climas locais de vizinhança, brisas locais, poluição do ar no distrito	Local
<b>Cidade</b>	Área construída	Completa floresta urbana	Ilha de calor urbana, cúpula de fumaça, padrões de efeitos urbanos sobre umidade, vento	Meso

<b>Região Urbana</b>	A cidade mais o campo ao redor	“Pluma” urbana, nuvem e anomalias de precipitação	Meso
----------------------	--------------------------------	---	------

Fonte: Adaptado de Oke (2017).

Para a classificação das morfologias urbanas termicamente homogêneas dos tipos edificados e de cobertura do solo de Eusébio, este trabalho baseia-se no sistema ZCL como principal ferramenta na análise das influências sobre a intensidade das Ilhas de Calor Urbano (ICU), provenientes das temperaturas atmosféricas e superficiais.

*Local Climate Zones* - ZCL (Zonas Climáticas Locais), criado por Stewart e Oke (2012), é um sistema de classificação da paisagem dividido em subclasses que contempla a necessidade de espacialização morfológica da cidade e busca a integração global de análises desta natureza para diferentes tipos de cidades, possibilitando a geração de um banco de dados padronizado que contribua com o diagnóstico da magnitude de Ilhas de Calor, sendo possível analisar a capacidade de modificar os climas locais de superfície pelo tecido, cobertura da terra, estrutura e metabolismo existente (BECHTEL; DEMUZERE; STEWART, 2020).

A saber, Stewart e Oke (2012, p. 1884-1887) definiram as ZCLs como

Regions of uniform surface cover, structure, material, and human activity that span hundreds of meters to several kilometers in horizontal scale. Each ZCL has a characteristic screenheight temperature regime. [...]The landscape universe consists of 17 standard ZCLs, of which 15 are defined by surface structure and cover And 2 by construction materials and anthropogenic heat emissions.

O sistema ZCL relaciona componentes da paisagem urbana e rural para a investigação do clima local de superfície, com base em parâmetros pré-estabelecidos, como proporção, fator de vista do céu, fração da superfície de construção, fração de superfície impermeável, altura dos elementos de rugosidade e densidade de fluxo de calor antropogênico. A relevância de se englobar áreas circunvizinhas no mapeamento das ZCLs está na dinâmica de continuidade gradual do ar entre os tipos de ambientes, em “transições térmicas” entre os limites (STEWART e OKE, 2012).

A altura dos edifícios e da vegetação caracterizam a rugosidade urbana de determinado local (Figura 5). Zonas onde a rugosidade de prédios se apresenta alta, ou seja, com maior número de pavimentos das construções, principalmente com a presença de edifícios, contribuem para o barramento da ventilação e conseguinte impedimento do resfriamento dessas áreas através das brisas (LIMA JÚNIOR, 2018).

Outra leitura do efeito da altura da rugosidade urbana está relacionada à presença de áreas de prédios com número de pavimentos suficientes para gerar um efeito de sombreamento durante parte do dia e favorecer a geração de corredores de vento. Assim como as construções, a rugosidade também está relacionada a vegetação, por meio da qual é exercido sobre as superfícies o efeito de sombreamento evitando o seu aquecimento, nesse sentido atribui-se o conforto térmico a áreas com maior densidade e altura vegetal. (MOURA, *et al*, 2006).

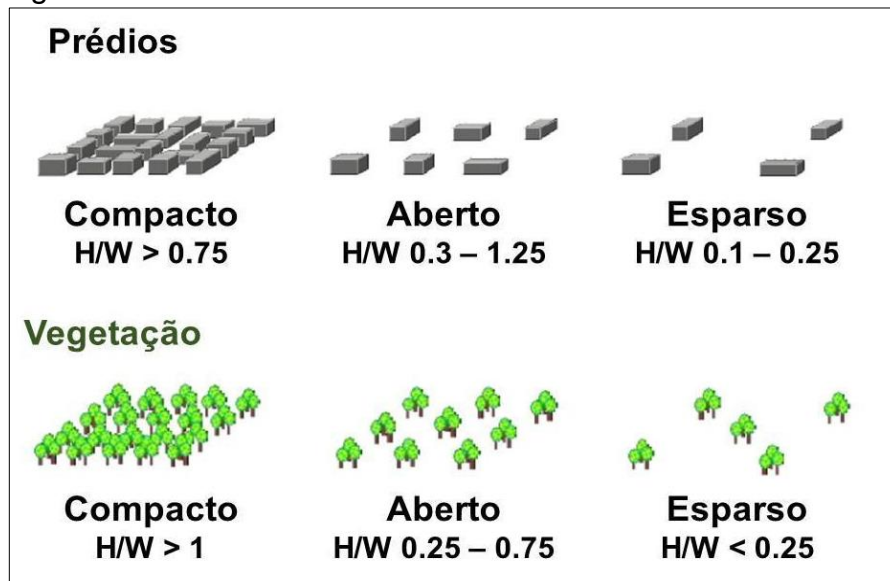
Figura 5 - Componente 1 - Características de Altura de Rugosidade



Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012).

A largura de ruas no ambiente urbano contribui para o melhor fluxo não apenas de pessoas e veículos, mas também para a circulação do ar devido o nível de rugosidade horizontal (Figura 6). Os parques urbanos onde há maior densidade de vegetação agem como reguladores de Temperatura do Ar. Zonas com presença de aglomerados de construções inibem os efeitos de resfriamento da temperatura no dossel urbano pela supressão de corredores de vento (LIMA JÚNIOR, 2018).

Figura 6 - Componente 2 – Grupos de características de rugosidade



Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012).

As características do solo influenciam no resfriamento e aquecimento do urbano próximo devido ao grau de absorção e reflectância proveniente dos tipos de cobertura (Figura 7). Solos permeáveis e com a presença de vegetação rasteira contribuem também para a infiltração pluviométrica e reduzem o escoamento superficial nas cidades, evitando a ocorrência de enchentes, comuns em locais pavimentados.

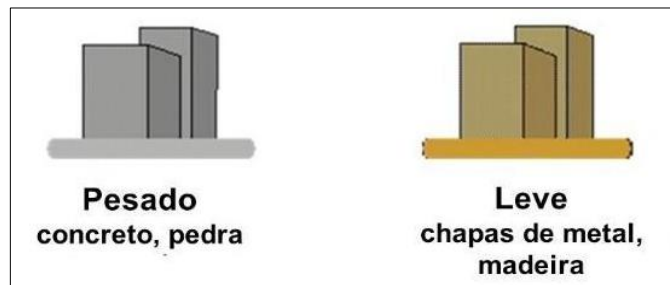
Figura 7 - Componente 3 - Cobertura de Superfície em torno dos Recursos de Rugosidade



Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012).

Áreas com presença abundante de indústrias geram maior admissão térmica devido o tipo de material construtivo, ganhos antropogênicos provenientes dos tipos de atividades desenvolvidas, presença de maquinário pesado, alta circulação de veículos (Figura 8), o que influencia na temperatura da superfície dessas zonas, sendo possível sua análise e detecção a partir de sensores termais dos satélites.





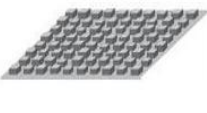
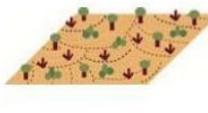







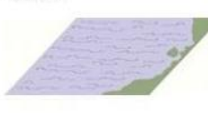


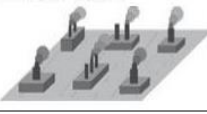
Figura 8 - Componente 4 – Admissão Térmica de Materiais



Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012).

Com base nestes componentes, é gerada a tabela padrão de classificação da paisagem em ZCLs (Figura 9), dividida em 15 classes definidas pela cobertura e estrutura da superfície e 2 classes definidas por materiais de construção e emissões antrópicas de calor. Dependendo da área de estudo e suas características urbanas, as classes são definidas pela existência ou não dos tipos construtivos e de cobertura da terra, podendo estarem abrangidas em uma determinada área tipos de zonas multifárias. De acordo com o sistema, as Zonas são regiões que apresentam cobertura uniforme quanto a sua superfície, estrutura, materiais construtivos e tipos de atividades humanas desenvolvidas em uma escala horizontal definida por centenas de metros a quilômetros de área. Para cada ZCL há uma dinâmica da temperatura específica na altura do dossel urbano, sendo mais características em superfícies secas e com baixa interferência dos sistemas atmosféricos e em relevos planos. (STEWART; OKE, 2012).

Figura 9 - Definição dos tipos construídos e de cobertura do solo na classificação ZCL

Tipos construídos	Definição	Tipos de cobertura do solo	Definição
1. Arranha-céus compacto 	Densa mistura de edifícios altos com dezenas de andares. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.	A. Árvores densas 	Paisagem densamente arborizada de árvores caducas e / ou perenes. Cobertura do solo principalmente permeável (plantas baixas). A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.
2. Médio compacto 	Densa mistura de edifícios médios (3-9 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedra, tijolo, telha e concreto.	B. Árvores dispersas 	Paisagem levemente arborizada de árvores caducas e / ou perenes. Cobertura do solo principalmente permeável (plantas baixas). A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.
3. Edifício baixo compacto 	Densa mistura de prédios baixos (1 a 3 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedra, tijolo, telha e concreto.	C. Bush, esfrega 	Arranjo aberto de arbustos, arbustos e árvores baixas e lenhosas. Cobertura do solo principalmente permeável (solo descoberto ou areia). A função da zona é matagal natural ou agricultura.
4. Arranha-céus aberto 	Arranjo aberto de edifícios altos para dezenas de andares. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.	D. Plantas baixas 	Paisagem sem características de grama ou plantas / colheitas herbáceas. Poucas ou nenhuma árvore. A função da zona é pastagem natural, agricultura ou parque urbano.
5. Abra o meio 	Arranjo aberto de edifícios médios (3-9 andares). Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.	E. Rocha nua ou pavimentada 	Paisagem sem características de rocha ou cobertura pavimentada. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função da zona é deserto natural (rocha) ou transporte urbano.
6. Abra um prédio baixo 	Arranjo aberto de edifícios baixos (1-3 andares). Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Madeira, tijolo, pedra, azulejo e materiais de construção de concreto.	F. Solo nu ou areia 	Paisagem sem características de solo ou cobertura de areia. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função da zona é deserto natural ou agricultura.
7. Baixo crescimento leve 	Densa mistura de edifícios de um só andar. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente compactada. Construção leve materiais (por exemplo, madeira, palha, metal corrugado).	G. Água 	Grandes corpos de água abertos, como mares e lagos, ou pequenos corpos, como rios, reservatórios e lagoas.
8. Arranha-céus grande 	Arranjo aberto de grandes edifícios baixos (1-3 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de aço, concreto, metal e pedra.	<b>PROPRIEDADES VARIÁVEIS DE COBERTURA DE TERRA</b>	
9. Construído escassamente 	Disposição esparsa de edifícios pequenos ou médios em um ambiente natural. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas).	b. árvores nuas	Árvores decíduas sem folhas (por exemplo, inverno). Maior fator de visão do céu. Albedo reduzido.
10. Indústria pesada 	Estruturas industriais baixas e médias (torres, tanques, pilhas). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada ou compactada. Materiais de construção de metal, aço e concreto.	s. cobertura de neve	Cobertura de neve > 10 cm de profundidade. Baixa admissão. Albedo alto.
		d. solo seco	Solo ressecado. Baixa admissão. Grande proporção de Bowen. Albedo aumentado.
		w. chão molhado	Solo alagado. Alta admissão. Proporção de Bowen pequena. Albedo reduzido.

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012).



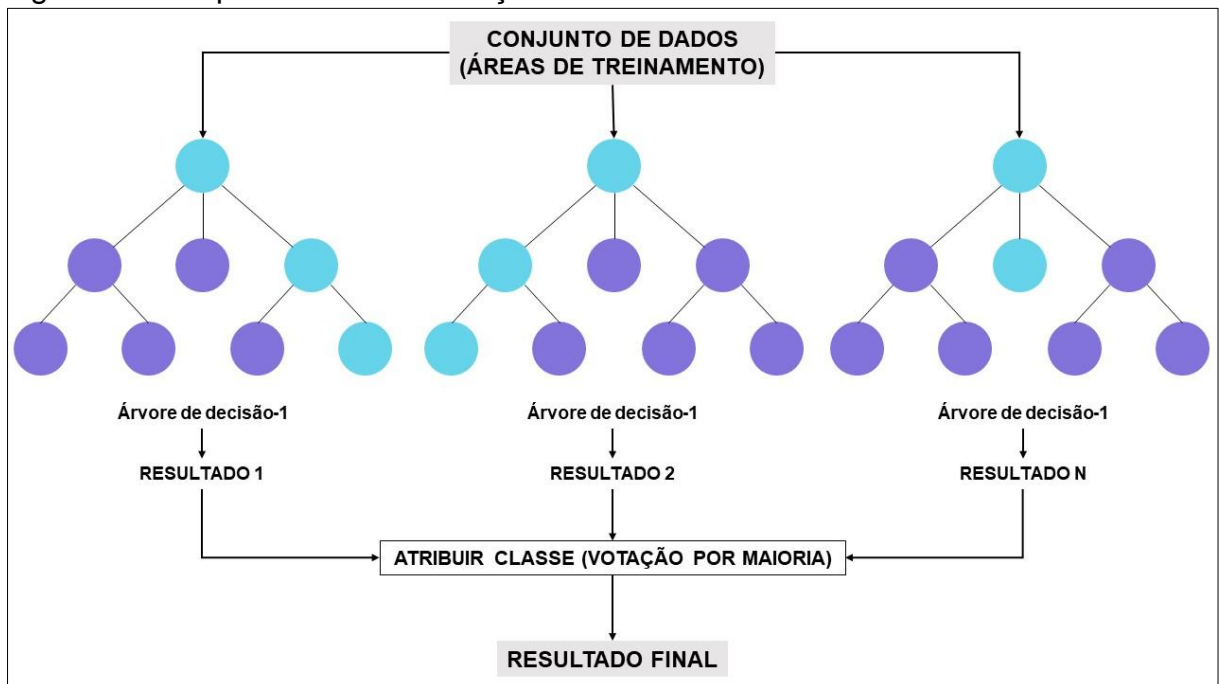
Esse sistema, combinado a outras metodologias de análise de IC, como o sensoriamento remoto e medições de temperatura local, pode contribuir com o melhor planejamento das cidades e mitigação de áreas mais aquecidas. Cardoso e Amorim (2018) utilizaram-na juntamente com o uso de transectos móveis e identificaram diferenças térmicas de até 3,8° entre zonas com diferenças significativas em suas características físicas.

Em 2015, o projeto WUDAPT (*World Urban Database and Access Portal Tools*), gerou protocolos para a produção de mapas de ZCLs, a partir de etapas de elaboração de áreas de treinamento por meio do software “SAGAGis”. Com objetivo de acelerar e automatizar em partes o procedimento, o aplicativo online “ZCL Generator” foi desenvolvido recentemente com foco em resultados de ZCLs em tempo razoável para a tomada de decisões, automatizando os procedimentos anteriores e aprimorando a precisão dos resultados (BECHTEL, B. *et al.* 2019; DEMUZERE, *et al* 2020; DEMUZERE, *et al* 2021). Esta ferramenta fornece uma precisão na análise dos dados fornecidos, adotando estratégias de mapeamento ZCL em nuvem com acurácia de dados e testagem usando o mecanismo terrestre do Google (DEMUZERE, *et al* 2021).

O classificador foi elaborado com o intuito de simplificar o mapeamento das Zonas Climáticas Locais para cidades de todo o mundo utilizando o tipo de classificação “*Random Forest*”, o qual consiste em um algoritmo de classificação supervisionada que funciona a partir na produção de várias árvores de decisão com base em um subconjunto selecionado aleatoriamente de amostras e variáveis de treinamento (BREIMAN, 2001).

Na prática, este método funciona da seguinte maneira: são gerados dados de entrada, neste caso, as áreas de treinamento vetorizadas a partir dos critérios da classificação de ZCL, estas por sua vez são submetidas a um processo de validação por grupos de duas ou mais variáveis selecionados aleatoriamente dentro das amostras fornecidas, essa etapa é repetida até se obter a classe mais precisa dentro do conjunto de dados disponibilizados (BREIMAN, 2001) (Figura 10).

Figura 10 - Esquema da Classificação Random Forest



Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de BELGIU & DRĂGUT (2016).

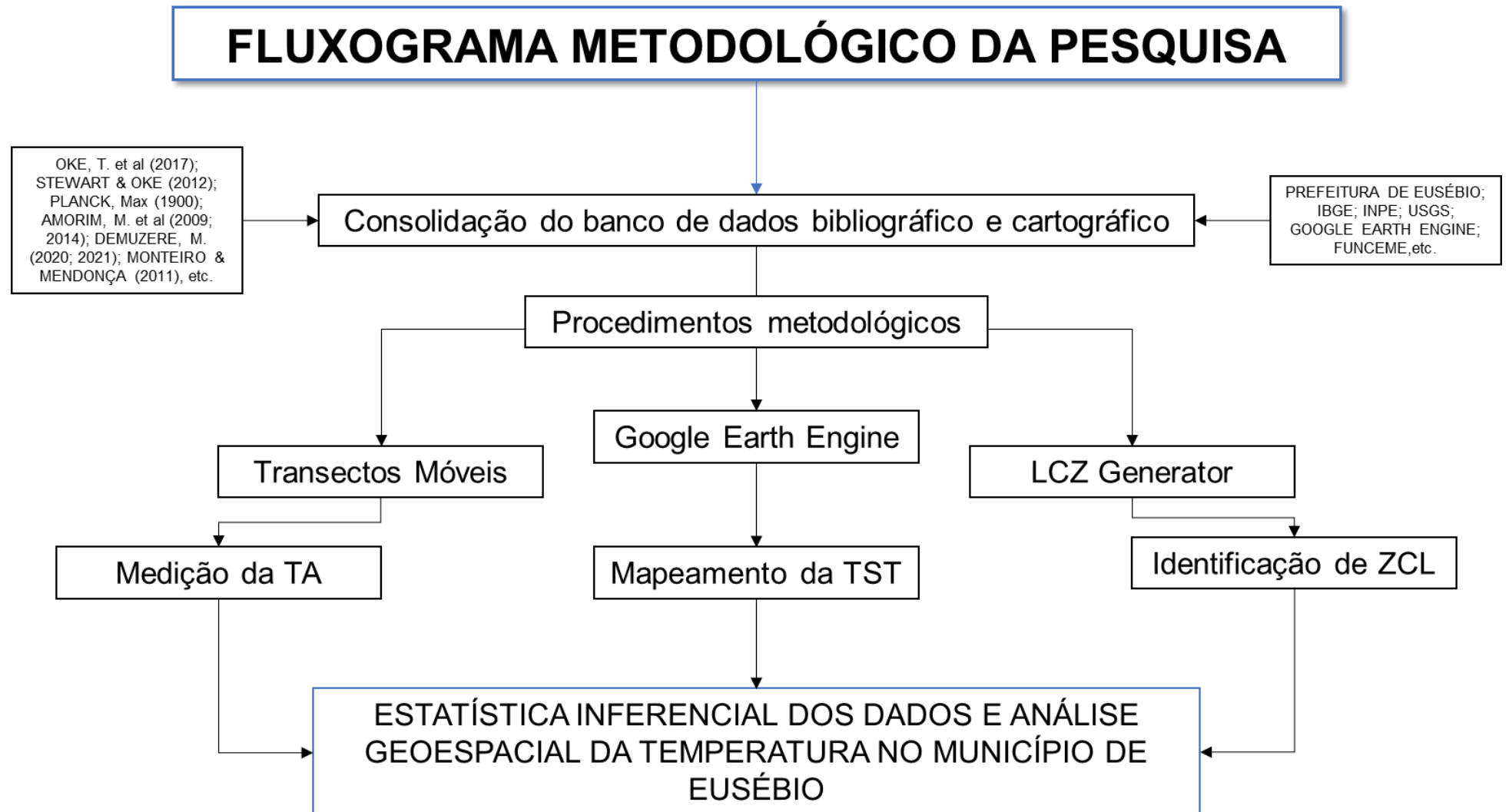
No caso da classificação por Zonas Climáticas Locais, as áreas de treinamento se dão a partir da vetorização de polígonos representativos de cada zona levando em consideração variáveis de altura, rugosidade, cobertura da superfície e admissão térmica de materiais, o algoritmo do aplicativo ZCL Generator identifica a partir dessas amostras as classes que melhor correspondem ao sistema ZCL.

Esse método tem se mostrado eficaz na geração de classificações com dados hiperespectrais na análise geoespacial e de sensoriamento remoto, por apresentar alta dimensionalidade e multicolinearidade de dados, em tempo ágil, além de ser resistente ao sobreajuste do conjunto dados (BELGIU & DRĂGUT, 2016).

### **3 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E METODOLÓGICOS**

A pesquisa tem como principal intuito identificar regiões com maiores modificações nas características térmicas no município de Eusébio, para tal foi organizada uma estrutura de análise (Figura 11) baseada principalmente em sensoriamento remoto e coleta de dados locais, seguindo etapas de estudo que englobaram ferramentas metodológicas e possibilitaram análises acuradas dos resultados.

Figura 11 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A revisão bibliográfica da pesquisa foi sustentada por fontes de acervos físicos e digitais, elencando obras basilares do conteúdo abordado, bem como produções científicas atuais (Quadro 2), com intuito de abranger as diferentes leituras a respeito do objeto de estudo e de atualizar as metodologias de análise. A principal ferramenta de pesquisa de artigos científicos foi a plataforma online “Compendex” (Engineering Village - Elsevier), a qual disponibiliza uma série de produções de revistas com alto nível de qualificação.

Quadro 2 - Principais Referências

<b>PRINCIPAIS REFERÊNCIAS UTILIZADAS</b>	
<b>Bases da Climatologia</b>	MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA (2017) MONTEIRO, C. A. F., MENDONÇA, F. (2011) ZANELLA, M. E. (2014) SANT'ANNA NETO, J. L. (2008) KOTTEK, Markus <i>et al.</i> (2006) SORRE, M. (2006) FERREIRA, A. G. DA SILVA MELLO, N. G (2005) ZAVATTINI, J. F. (2000) AYOADE, J. O (1988)
<b>Clima Urbano/ Ilhas de Calor</b>	LIMA JÚNIOR, A. F. (2018) OKE, T., MILLS, G., CHRISTEN, A., & VOOGT, J. (2017) BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. (2016) GARTLAND, L. (2010) MOURA, M. O.; ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L. (2008) MOURA, T., NERY, J., ANDRADE, T., & KATZSCHNER, L. (2006)
<b>Sensoriamento Remoto</b>	GORELICK, N. <i>et al.</i> (2017) MENESES, P. R; ALMEIDA, T. (2012) JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C. N. (2009) VOOGT J.A, OKE T.R, (2003)
<b>Zonas Climáticas Locais</b>	CILEK, M. U, CILEK, A. (2021) PINTON, L. <i>et al.</i> (2021) DEMUZERE M., KITTNER J., BECHTEL B. (2021) DEMUZERE, M., <i>et al</i> (2020) BECHTEL, B. <i>et al.</i> (2019) CARDOSO, R.; AMORIM, M. (2017) STEWART, I.D. & OKE, T. (2012)

<b>Transectos Móveis</b>	RODRÍGUEZ, L. R. <i>et al.</i> 2020 ESTEVÃO, G. S.; ALBUQUERQUE, G. S.; SILVA, M. O. (2020) AMORIM, M. C. C. T, 2019 SCHWARZ, Nina <i>et al.</i> (2012) ROVANI, F. F. M. <i>et al.</i> (2010) AMORIM, M. C. C. T. <i>et al.</i> (2009)
<b>Temperatura Superficial</b>	HUNG-CHU C, QI H., BAUKE V. (2020) SCHWARZ, Nina <i>et al.</i> (2012) SOUSA, S. B.; JÚNIOR, L. G. F. (2012)
<b>Dinâmica de crescimento urbano de Eusébio</b>	SILVEIRA, A. E. G (2012) NOGUEIRA, C. M. L (2011)

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os dados rasters das imagens de satélite foram adquiridos por meio da plataforma GEE, provenientes do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Os dados cartográficos vetoriais da área foram obtidos em instituições de pesquisa oficiais como o IBGE, INMET e FUNCEME, bem como em instituições públicas como a Prefeitura Municipal de Eusébio. Com uso da ferramenta de geoprocessamento “ARCGIS 10.5” foram elaborados os mapas finais e mapas de informação secundária.

### 3.1 Temperatura Superficial Terrestre (TST)

As Temperaturas da Superfície da Terra foram obtidas através da Coleção de imagens 1 Nível - 1 do Landsat, por meio das bandas térmicas correspondentes aos sensores TM e TIRS do Landsat 5 e 8, respectivamente, dependendo do período selecionado para análise. Para o alcance de resultados de Temperatura Superficial em graus célsius foi necessária a realização de etapas de conversão dos coeficientes de reescalonamento disponibilizados nos metadados das imagens.

Para ambos os satélites primeiramente é realizada a conversão dos níveis de cinza a radiância espectral do Topo da Atmosfera (TOA), ou seja, os números digitais das imagens espectrais brutas são submetidos à conversão da banda térmica em radiância espectral o que representa a temperatura de um corpo escuro com emissividade igual a 1, este fator está associado a banda termal correspondente ao satélite - banda 6 para Landsat 5 e bandas 10 e 11 para Landsat 8 (Equação 1) (USGS, 2021).

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Onde:

$L_{\lambda}$  = Radiância espectral TOA (Watts/( m<sup>2</sup> \* srad \* μm))

$M_L$  = Fator de reescalonamento multiplicativo específico de banda dos metadados (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, onde x é o número da banda)

$A_L$  = Fator de reescalonamento aditivo específico de banda de os metadados (RADIANCE\_ADD\_BAND\_x, onde x é o número da banda)

$Q_{cal}$  = Valores de pixel de produto padrão quantizados e calibrados (DN)

No caso do Landsat 5 e versões anteriores especificamente, é necessário se obter anteriormente nos metadados os valores de Irradiâncias Espectrais Exoatmosféricas Solares (ESUN) (Equação 2) para o cálculo da radiância e a refletância dos dados. O Landsat 8 possui em seus metadados os coeficientes necessários já quantizados e calibrados (USGS, 2022).

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\sin(\theta_{SE})} \quad (2)$$

Onde:

$\rho_{\lambda}$  = TOA refletância planetária

$\theta_{SE}$  = Ângulo de elevação solar local. O ângulo de elevação do sol do centro da cena em graus é fornecido nos metadados (SUN\_ELEVATION).

$\theta_{SZ}$  = Ângulo zenital solar local;  $\theta_{SZ} = 90^{\circ} - \theta_{SE}$

Posteriormente foi realizada a conversão para Reflectância (Equação 3) e finalmente obtém-se a temperatura de brilho do topo da atmosfera pela conversão dos dados da banda térmica em graus kelvin (Equação 4), sendo necessária a conversão para a unidade de graus celsius.

$$\rho_{\lambda'} = M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho} \quad (3)$$

Onde:

$\rho_{\lambda'}$  = refletância planetária TOA, sem correção para o ângulo solar.

$M_{\rho}$  = Fator de reescalonamento multiplicativo específico da banda dos metadados (REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_x, onde x é o número da banda)

$A_{\rho}$  = Fator de reescalonamento aditivo específico da banda dos metadados (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_x, onde x é o número da banda)

$Q_{cal}$  = Quantizado e calibrado valores de pixel de produto padrão (DN)

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (4)$$

Onde:

$T$  é a temperatura de brilho em graus Kelvin

$L_\lambda$  é a radiância espectral (Watts/m<sup>2</sup>\* sr \* μm)

$K_1$  é a Constante de conversão térmica (K1\_CONSTANT\_BAND\_X, onde x é o número da banda, 6 (Landsat 5), 10 ou 11 (Landsat 8)) Informação disponibilizada nos metadados da imagem.

$K_2$  é a Constante de conversão térmica (K2\_CONSTANT\_BAND\_X, donde x é o número da banda, 6 (Landsat 5), 10 ou 11 (Landsat 8)) Informação disponibilizada nos metadados da imagem.

O satélite Landsat realiza capturas de imagens na órbita de linha 217/caminho 63, que corresponde ao limite territorial da área de estudo em questão, a cada 16 dias no horário local de 10h25min (-3h GMT), sendo que essa resolução temporal limita análises periódicas devido à instabilidade climática provocada por nuvens densas em determinados períodos do ano sobre a área de estudo. Com isto, a seleção de anos analisados pelas cartas termais corresponde a obtenção de imagens em períodos de estabilidade climática e pouca nebulosidade.

Foram produzidos mapas TST representativos do intervalo de anos entre 2001 e 2021, atentando-se para critérios definidos para melhor acurácia dos resultados. Realizou-se o processo de filtragem de imagens para o período seco dos anos e para imagens com cobertura de nuvens abaixo de 20%, além da aplicação de algoritmo para correção atmosférica. Para a unificação das imagens selecionadas com base nos critérios, foi criado um mosaico para seu processamento com a mediana de valores dos melhores pixels.

Todas as etapas aqui especificadas são desenvolvidas por meio de algoritmos organizados na plataforma Google Earth Engine (GEE), a qual disponibiliza todas as camadas e coleções de imagens dos satélites estudados em nuvem. O procedimento é facilitado pela automatização dos cálculos empregados por meio de códigos abertos *Java* os quais acessam os dados disponíveis nos metadados das imagens.

Para o Landsat 5 foi acedida a camada "LANDSAT/LT05/C01/T1\_TOA" e para Landsat 8 a camada "LANDSAT/LC08/C01/T1\_TOA". Ambas fornecem os coeficientes necessários para as conversões utilizadas com dados TOA. Com intuito de obter resultados com melhor acurácia e com mínima interferência atmosférica nos



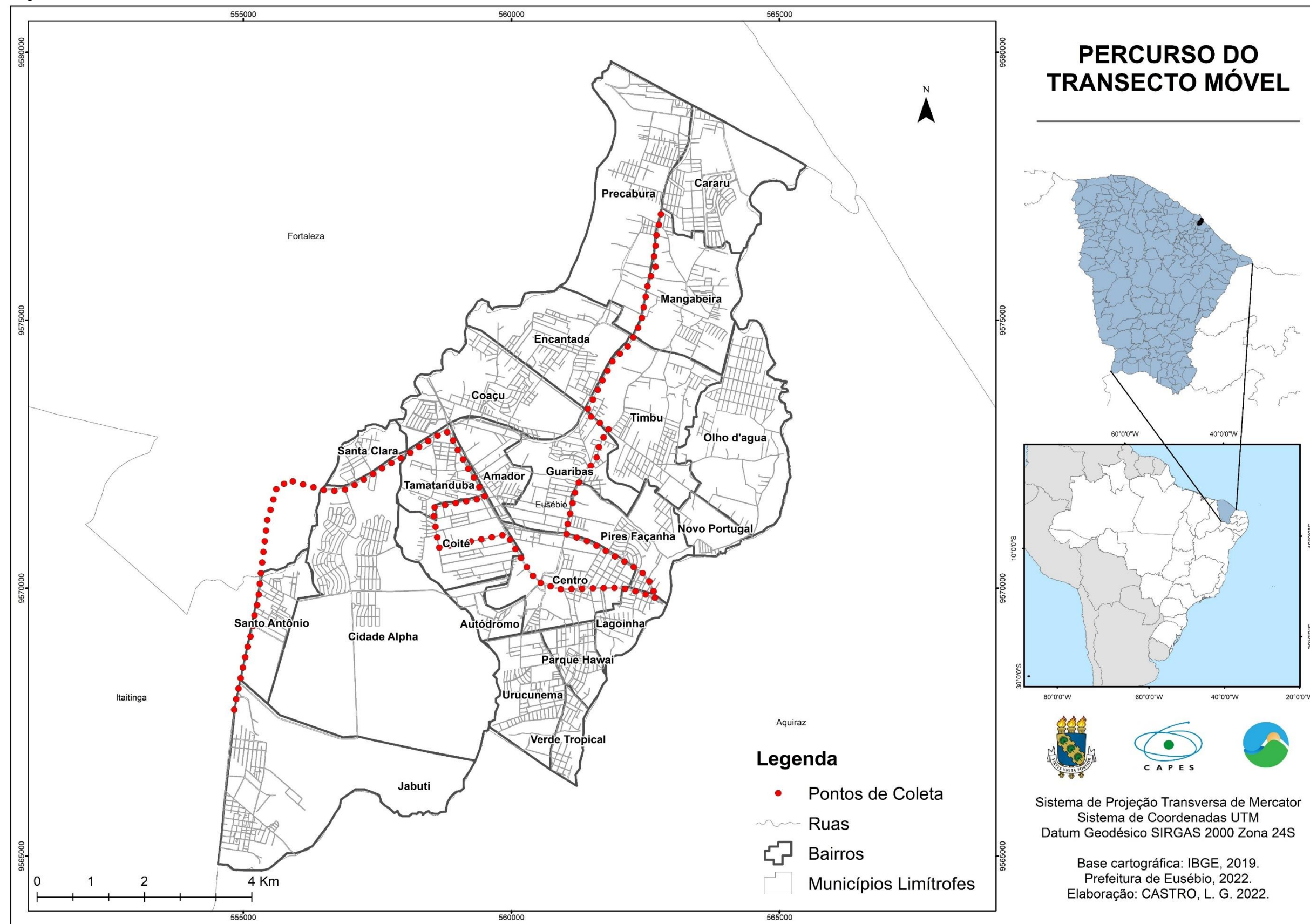
valores nas TSTs, foi aplicado um filtro de imagens, por meio do qual foi possível obter a mediana dos melhores pixels das imagens contidas no ano de 2001 e de 2021 evitando episódios de dados espúrios.

Para a análise evolutiva individual de corpos com temperaturas superficiais de maior expressividade identificadas na área de estudo, foram elaborados gráficos de linha para séries temporais de TST, a partir da extração de valores dos pixels correspondentes a ponto georreferenciados nesses locais.

### **3.2 Transectos Móveis**

A obtenção de dados de temperatura atmosférica se deu a partir da realização de Transectos móveis por rota pré-estabelecida no município de Eusébio/CE. O percurso foi projetado entre as coordenadas 3°56'10.38"S e 38°30'31.43"O e 3°48'34.67"S 38°25'43.97"O, sendo iniciado no Km 18 da rodovia BR - 116 e finalizado no bairro Mangabeira da rodovia CE - 010, visando a abrangência de maior variedade de morfologias, desde zonas industriais e urbanizadas a áreas mais vegetadas (Figura 12). Em razão do tamanho da área de estudo, foi utilizado apenas um veículo, suficiente para a coleta de dados em maior parte do município dentro do intervalo de uma hora.

Figura 12 - Percurso de Transecto Móvel em Eusébio



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Foram realizados 2 transectos de mesma rota para a coleta dos dados termiais atmosféricos para episódios de outono nos dias 15 e 16 de outubro de 2021, no horário de 18h para ambos os dias (Quadro 3).

Quadro 3 - Detalhamento dos transectos móveis

TRANSECTOS	PERCURSO	PERÍODO	HORÁRIO	DATA	DIA
Transecto A	Sul - Leste - Norte	Seco	18h	15/10/2021	Sexta
Transecto B	Sul - Leste - Norte	Seco	18h	16/10/2021	Sábado

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Contemplou-se o período seco do ano para o estado do Ceará e com condições climáticas estáveis (Tabela 1), sem registro de precipitação pelo posto pluviométrico do município de Eusébio no dia da medição (FUNCEME, 2021), à altitude média de 27m, predominância de céu claro e baixa nebulosidade (Figura 13), sob atuação da Massa Equatorial do Atlântico Sul, estabelecida pela ação do Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul o que ocasiona a estabilidade do tempo no período seco do ano no norte do Nordeste Brasileiro (ZANELLA, 2014).

Figura 13 - Fotografia de céu claro e com ausência de nebulosidade no município de Eusébio



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Tabela 1 - Médias normais para condições atmosféricas predominantes no mês de outubro - Estação meteorológica do INMET/Passaré

Temperatura do Ar (°C)	Velocidade do Vento (m.s <sup>-1</sup> )	Pluviometria (mm)	Nebulosidade as 18h (%)
27,4	3,8	15	0,3

Fonte: Adaptado de INMET (2022).

Por ser uma metodologia flexível de análise da Temperatura do Ar e que pode ser realizada em qualquer hora do dia ou da noite (GARTLAND, 2010; DE OLIVEIRA, 2020), a definição dos horários de coleta dos dados nesta pesquisa foi baseada em critérios climáticos primordialmente, e logísticos, prezando pela segurança do grupo de pesquisadores e equipamentos utilizados. Rovani (2010) realizou transectos no bairro Camobi em Santa Maria/RS, nos horários de 09h, 12h, 15h, 18h e 21h, e concluiu que às 12h as superfícies recebem maior insolação pelas vertentes de orientação norte e aquece rapidamente o ar próximo, entretanto, em horários a partir das 18h se definem melhores contrastes térmicos entre o núcleo urbano e seu entorno, sendo possível definir melhor a magnitude das ICs.

A Temperatura do Ar foi medida utilizando um termo-higrômetro da marca *Incoterm* (modelo: 7666.02.0.00) com precisão de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , acoplado em haste posicionada na lateral de um veículo, à 2m do solo (Figuras 14). O veículo se deslocou a uma velocidade constante de 30Km/h a 40 Km/h, respeitando o tempo previsto para execução do trajeto, de no máximo 60 minutos. Tais critérios de velocidade foram estabelecidos com base nos trabalhos de Gheno (*et al*, 2012), Assis, D. C. (*et al* 2016), Porangaba e Amorim (2017). Devido a estabilidade climática e a baixa interferência de radiação das superfícies no período da noite na área de estudo, não foi necessária a utilização de abrigo.

Figura 14 - Termo-higrômetro utilizado na medição (A); Veículo equipado com haste e termo-higrômetro (B)

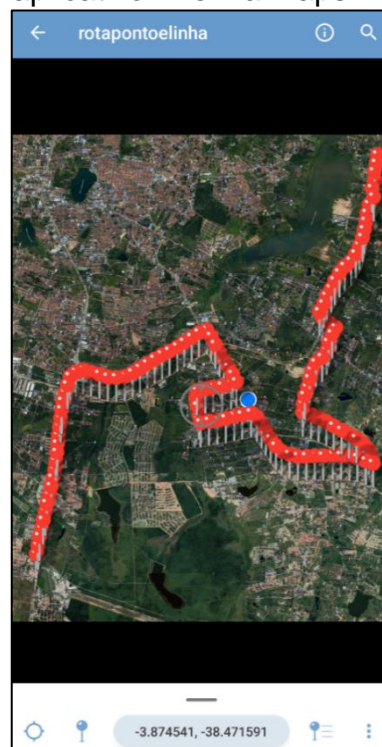


Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

O percurso foi pré-estabelecido inicialmente no módulo “ArcMAP” do software “ArcGIS 10.5”, por meio da elaboração de arquivo no formato “*shapefile*” do tipo *Polyline*, determinando-se 125 pontos de coleta de dados equidistantes 200m entre si a partir do recurso *Construct Points* do editor de feições, totalizando uma rota de 24,8 Km.

O arquivo com o shape de pontos e imagem de satélite atribuída através da ferramenta *Add Basemap* do ArcMAP, foi exportado em formato GeoPDF para o aplicativo “Avenza Maps” (Figura 15), onde foi possível monitorar a passagem no momento exato do veículo pelos pontos amostrais definidos ao longo do percurso com suporte por Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) do próprio *smartphone* (PITON *et al*, 2021). A tabulação dos dados foi realizada manualmente por membro da equipe de pesquisa em campo, e posteriormente inserida em arquivo Excel para o manejo estatístico e espacial.

Figura 15 - Interface do aplicativo Avenza Maps



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A análise da morfologia urbana para a classificação das Zonas Climáticas Locais de Eusébio foi critério para o estabelecimento da rota. A região sul do

município, nos bairros Cidade Alpha e Jabuti, detém maior densidade vegetacional e poucas vias de acesso, o que inviabilizou a passagem do veículo por essa zona, optando-se pela via adjacente ao município, devido tais interferências logísticas no percurso, foi necessário realizar parte da rota em um trecho de estrada no município de Fortaleza incorporando alguns pontos de coleta no bairro Pedras. Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas comparativas entre as demais variáveis analisadas.

### 3.3 Zonas Climáticas Locais - ZCL Generator

A geração das zonas climáticas se deu a partir do “ZCL Generator”, aplicativo online que possibilita a definição das zonas a partir da integração com o Google Earth Engine, o qual utiliza no processo de classificação diferentes satélites (Landsat, Sentinel e outros) e uma vasta quantidade de informações geoespaciais, além de ser baseado em nuvem e permitir análise planetária.

Para o mapeamento são delimitadas Áreas de Treinamento na área de estudo a partir da vetorização de polígonos correspondentes a locais representativos das classes de ZCL. Para tal, foram seguidos os parâmetros inerentes a esse tipo de classificação definidas por Stewart e Oke (2012) (Quadro 4).

Quadro 4 - Diretrizes para gerar de Áreas de Treinamento

<b>DIRETRIZES PARA GERAR ÁREAS DE TREINAMENTO</b>	
<b>Propriedade</b>	<b>Descrição</b>
Tamanho	Grandes áreas homogêneas que tenham no mínimo 200 m de largura no ponto mais estreito;
Forma	Evitar formas complexas, com muitos vértices;
Homogeneidade	Para cada tipo de área de treinamento, selecionar as com características semelhantes;
Distância das Fronteiras	Manter uma distância mínima de 100m das outras ZCLs e inclusive das mesmas classes para evitar que o classificador receba sinais espectrais mistos;
Sazonalidade	Evitar áreas com sazonalidade. Ex.: Canteiros de obras/ lagos intermitentes/ áreas agricultáveis;

Distribuição Espacial	Distribuir áreas de treinamento em toda a extensão da área de interesse: mínimo 5 e máximo 15 para cada ZCL.
-----------------------	--

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Stewart e Oke (2012).

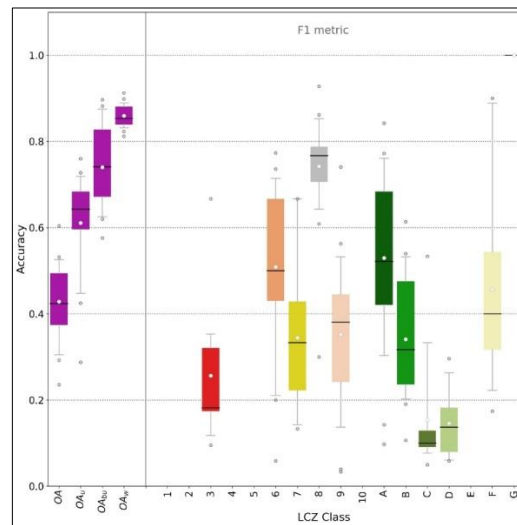
Foram utilizados como suporte na identificação das classes de dados espaciais do município, bem como reconhecimento em campo das áreas vetorizadas. A submissão dos polígonos e realização do processamento por meio do aplicativo se deu no dia 05/06/2022, tendo como referência imagens do Google Earth e o reconhecimento *in loco* da área de estudo para a definição das classes.

Após a conclusão da etapa de vetorização, o arquivo em formato kml. é submetido por meio de cadastramento simplificado do usuário ao classificador online para a geração das zonas climáticas. A partir de então as áreas de treinamento passam pelo controle de qualidade automatizado baseado em “*Random Forest*”. Esse processo baseia-se na inserção do conjunto de dados de áreas de treinamento combinado com uma riqueza de dados de observação da Terra para a classificação de floresta aleatória, resultando em um mapa ZCL com controle de qualidade. Este controle diz respeito a três etapas (DEMUZERE *et al*, 2021), são elas:

- 1- Detecção de polígonos suspeitos, ou seja, sinalização de polígonos fora dos padrões de tamanho e forma definidos no sistema ZCL (Quadro 7);
- 2- Identificação da média espectral: se o valor de um polígono de ZCL classe *i* é considerado um valor discrepante em comparação com os valores espectrais médios de todos os outros polígonos dessa classe;
- 3- E, a terceira etapa considera todos os valores de pixel individuais de todos os polígonos em cada classe ZCL em comparação com a abordagem de média de polígono da etapa 2. Neste caso, as coordenadas do pixel servem para identificar pontos suspeitos de erro dentro de polígonos.

Após a finalização, caso o aplicativo tenha concluído com sucesso todas as etapas, é retornado ao e-mail do usuário um arquivo *zip*. com as saídas geradas, que inclui *shapefile* de polígonos suspeitos de erro, mapa final da classificação ZCL, gráficos estatísticos e metadados gerais (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Acurácia das áreas de treinamento submetidas no ZCL Generator



Fonte: ZCL Generator, 2022.

Com os dados fornecidos é realizada a etapa de geoprocessamento, layout final e classificação com cores especificadas para cada classe no sistema, dentro do software ArcGIS.

### 3.4 Estatística Descritiva e Inferencial dos dados

Os dados climáticos de determinado estudo, assim como outros dados relacionados a diferentes áreas, possuem caráter dinâmico e variável, uma vez que estão relacionados a fenômenos inconstantes e muitas vezes imprevisíveis, ademais algumas fontes de informações são restritas e limitam a frequência de obtenção de resultados, e quando se é possível tal frequência, podem ocorrer dispersão dos dados o que leva a dificuldade na interpretação dos mesmos (SACHS, L. 2012). Com isso, os métodos estatísticos são procedimentos e princípios matemáticos necessários para a descrição e interpretação minuciosa de subconjuntos amostrais de determinada população de uma variável visando sanar as incertezas em torno desta e possibilitar a tomada de decisões a respeito. Nesta pesquisa foi utilizado o software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) para obtenção dos resultados estatísticos.

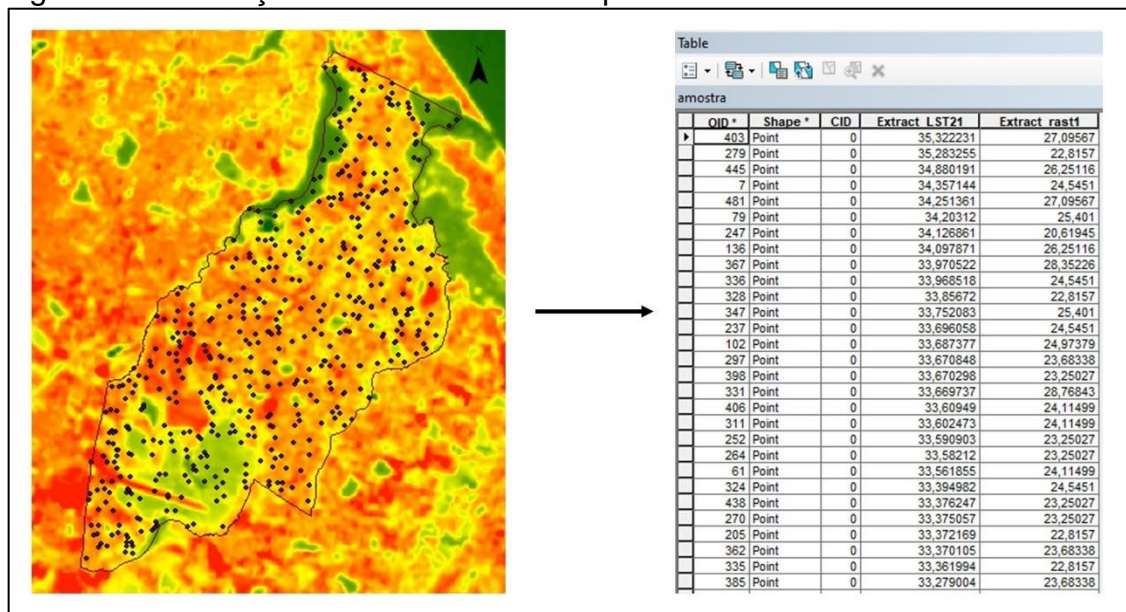
No caso dos dados aqui utilizados, na primeira etapa de investigação, que corresponde a estatística descritiva, foi realizada uma análise do objetivo da pesquisa para a definição do tipo de amostragem. Como a pesquisa em questão diz



respeito a dados quantitativos de TST no município de Eusébio, optou-se pelo tipo de Amostragem Probabilística Simples para esta variável, quando todos os dados têm a mesma probabilidade de serem selecionados dentro da população geral.

Para a obtenção da amostra, no software ArcGIS 10.5, por meio da ferramenta “*Create Random Points*” foram gerados 1500 pontos aleatórios dentro da área de estudo, abrangendo todas as classes de bairros, gerando um *shapefile* de pontos como produto. Para a extração dos dados dos *rasters* de ZCL e TST para a comparação entre os mesmos foi executada a ferramenta “*Extract Multi Values to Points*”, com isso, para cada ponto gerado no procedimento anterior, foram capturados dados de cada camada *raster* correspondente, compondo ao final uma Quadro de atributos que foi exportado para o formato csv. (Figura 16). Para a extração dos dados do shape de bairros do município, foi realizada a conversão para *raster*, possibilitando o uso da ferramenta citada acima.

Figura 16 - Obtenção de dados amostrais para valores TST



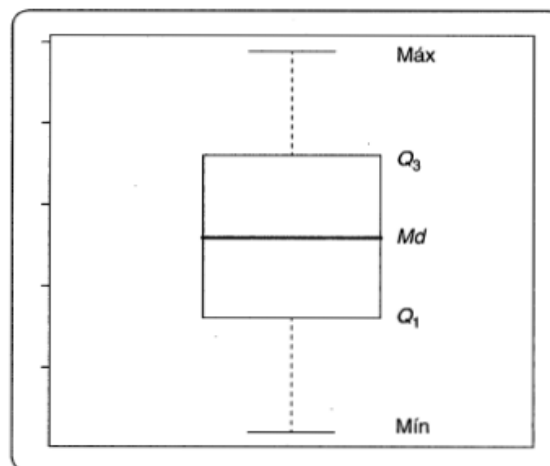
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O mesmo procedimento foi aplicado para elaboração de compostos temporais de TST, mas com extração por pontos georreferenciados definidos pela autora com base na observação de locais com maiores modificações na Temperatura Superficial.

Para a comparação dos dados de TST, ZCL e TA por ponto dos transectos, foi realizado o mesmo procedimento, mas para a amostra de pontos georreferenciados no trajeto.

Para a análise da mediana, dispersão, assimetria e discrepância dos dados trabalhados na pesquisa, é utilizado também o *Boxplot* (Figura 17), gráfico diagrama que permite a observação exploratória de dados essenciais da amostra por meio da “representação gráfica de cinco medidas de posição ou localização de determinada variável: valor mínimo, primeiro quartil ( $q_1$ ), segundo quartil ( $q_2$ ) ou mediana, terceiro quartil ( $q_3$ ) e valor máximo” (FÁVERO, L. P., & BELFIORE, P., 2017).

Figura 17 - Boxplot



Fonte: FÁVERO, L. P., & BELFIORE, P. (2017).

25% dos valores são descritos pelo primeiro quartil ( $q_1$ ), a mediana é representada pelo segundo quartil ( $q_2$ ), onde 50% dos dados estão ordenados abaixo e os outros 50% acima dela, e o terceiro quartil ( $q_3$ ) representa 75% das observações. O retângulo, ou seja, a diferença entre  $q_3$  e  $q_1$ , é representativo do Intervalo Quartílico, que define se a dispersão dos dados é heterogênea ou homogênea. Valores situados acima ou abaixo das caudas superior e inferior, respectivamente, representam dados discrepantes dos demais, sendo classificados como valores atípicos ou *outliers* (FÁVERO, L. P., & BELFIORE, P., 2017).

Para a análise mais aprofundada das médias dos dados utilizou-se a estatística inferencial, por meio de Testes de Hipóteses, que permitem gerar resultados conclusivos sobre a população de dados gerais a partir da amostra

estabelecida. Com os dados médios obtidos para amostras de TST foi aplicado o teste de hipóteses paramétrico “*t* de Student”, o qual compara as médias entre os dois grupos dependentes, a partir de estatística inferencial da amostra e apresenta-se ideal para comparações temporais de dados pareados, ou seja, o mesmo tipo de dados em momentos diferentes (SACHS, L. 2012). Para a aplicação do teste na análise das médias de forma eficiente foram realizados testes de normalidade da amostra.

Para todo teste de hipóteses há duas hipóteses pré-estabelecidas, a Hipótese nula ( $H_0$ ) e a Hipótese alternativa ( $H_1$ ), uma representa a afirmação e a outra, o seu complemento. Para o teste T de Student são estabelecidas as seguintes hipóteses (Equações 5 e 6):

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 \quad (5)$$

$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2 \text{ ou } \mu_1 > \mu_2 \text{ ou } \mu_1 < \mu_2 \quad (6)$$

Onde a Hipótese nula ( $H_0$ ) é de que os dados de  $\mu_1$  são iguais a  $\mu_2$  e a Hipótese alternativa ( $H_1$ ) é de que os dados  $\mu_1$  são diferentes, maiores ou menores que  $\mu_2$ . A estatística do teste (Equação 7) é expressa de acordo com a seguinte equação:

$$t = \frac{D \cdot \sqrt{n}}{S_D} \quad (7)$$

Onde:

$n$  = número de pares (*antes, depois*) observados;

$D$  = média das diferenças observadas e

$S_D$  = desvio padrão das diferenças observadas

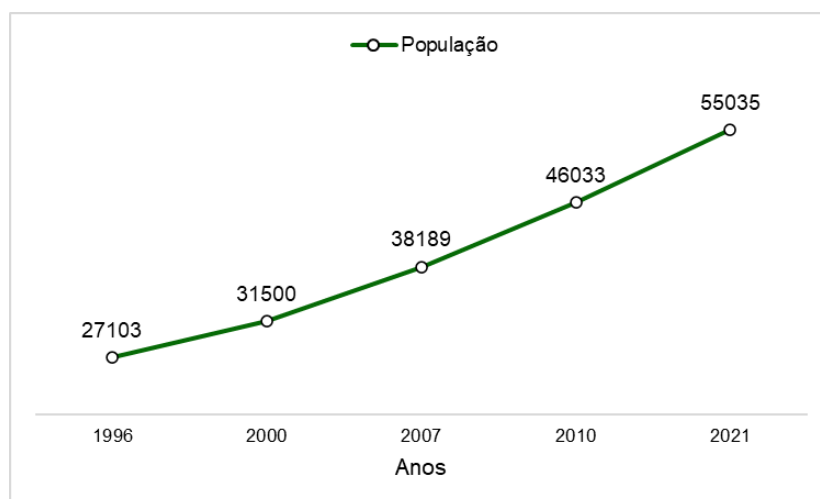
As amostras consideradas para a realização das análises de médias correspondem a distribuição de 1500 pontos aleatórios dentro do limite da área de estudo. Na análise por grupos foram realizadas estatísticas percentuais de cada ZCL por bairro, tomando como referência os pontos distribuídos em cada.

#### 4 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS, GEOECOLÓGICAS E URBANAS DO MUNICÍPIO DE EUSÉBIO

O município de Eusébio apresenta intensas mudanças das características vegetacionais, hídricas e superficiais ao longo dos últimos 20 anos, pela construção de condomínios horizontais e implementação de infraestrutura urbana com o crescimento de áreas pavimentadas e construídas, bem como muitas áreas de solo exposto pelo processo de comercialização de loteamentos, como evidenciam os trabalhos de Silveira (2012) e Nogueira (2011). Esta dinâmica de crescimento corrobora no descontrole dos sistemas de geração de ilhas de frescor provenientes de zonas com maior densidade de vegetação e corpos d'água (Gartland, 2010).

De acordo com o censo IBGE, realizado em 2000, a população residente total era de 31.500 habitantes, e para 2021, a estimativa foi de 55.035 habitantes, 57,23% acima do número anterior, observado no início do recorte temporal estabelecido nesta pesquisa (IBGE, 2022). O número de habitantes residentes em 2021 ultrapassa o dobro de habitantes no ano de 2000, o que demonstra que houve o adensamento demográfico de forma gradual ao longo dos anos, acompanhando o crescimento urbano do local (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Crescimento populacional no município de Eusébio - 1996 à 2021

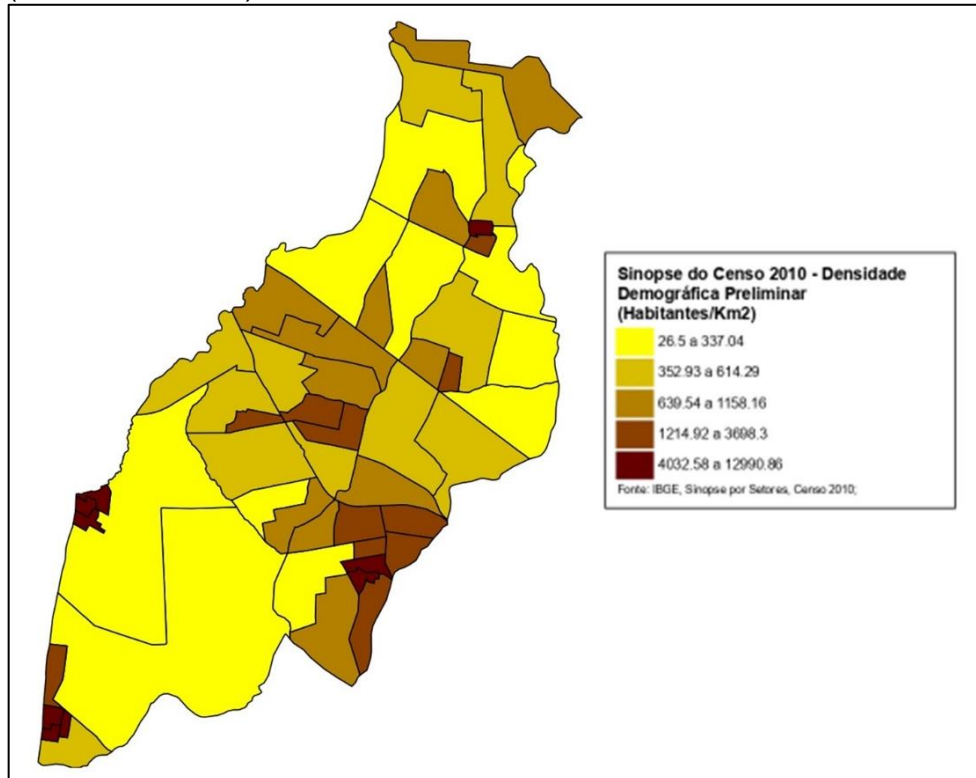


Fonte: IBGE (2022).

De acordo com o último censo do IBGE em 2010, a densidade demográfica era de 582,66 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Como é possível observar no

mapa (Figura 18), a densidade demográfica de Eusebio se concentra na zona central, nos arredores das principais rodovias que cortam o município.

Figura 18 - Densidade Demográfica de Eusébio/CE (Habitantes/Km<sup>2</sup>)



Fonte: IBGE (2010).

Eusébio anteriormente distrito de Aquiraz, foi elevado à categoria de município no ano de 1987 e inserido na área de desenvolvimento Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) com a Lei n° 11.845 de 05 de agosto de 1991, que definiu a RMF e Microrregiões do Estado do Ceará (CEARÁ, 1991). O município está à 18 km em linha reta da capital a leste da faixa litorânea, possui uma área territorial de 79,005 km<sup>2</sup>, subdividida em 23 bairros e abrange uma população média estimada em 55.035 habitantes no ano de 2021 (IBGE, 2022; PREFEITURA DE EUSÉBIO, 2022).

O processo de urbanização de Eusébio se relaciona ao desenvolvimento dos Vetores de Expansão Socioespaciais de Fortaleza, primeiramente a partir da década de 1980 com a industrialização fomentada por incentivos fiscais cedidos pelo setor público sobretudo ao sul do município nas margens da BR - 116, e posteriormente pelo vetor imobiliário e turístico, estimulado pelas potencialidades paisagísticas e ambientais. O município passou então a aportar moradores fixos que

mantém a relação de conurbação com a capital, e se destacou em primeiro lugar no Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* da RMF no ano de 2010 (Figura 19) (COSTA, TSUKUMO, 2013; COSTA, *et al* 2014).

Figura 19 - RMF - PIB per capita - 2010

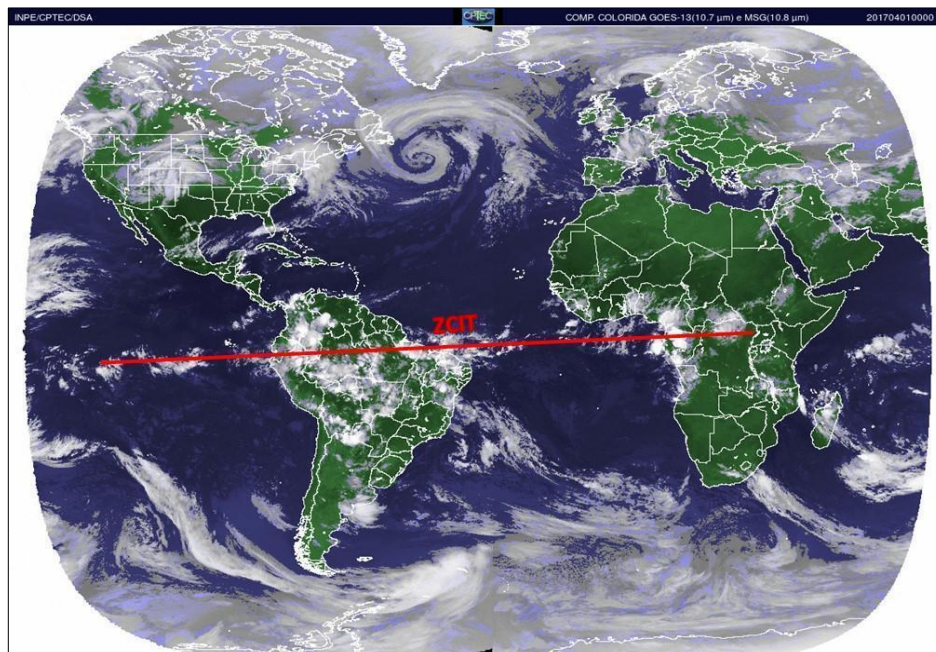


Fonte: COSTA, TSUKUMO (2013).

A área encontra-se sob a unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros, caracterizados pelas superfícies planas advindas da deposição de sedimentos erosionais provenientes da formação Barreiras do período recente Terciário-Quaternário. Estando incluída nesta unidade, apresenta propriedades florísticas dos domínios fitogeográficos do entorno, como o Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica, além de restingas, existentes em áreas próximas à zona praial. A Unidade Fitoecológica predominante é o Complexo Vegetacional Costeiro e se apresentam trechos de Manguezal próximo à foz do Rio Pacoti, no setor nordeste do município, estas unidades sofrem o impacto do aumento populacional e especulação imobiliária, sendo ameaçadas constantemente sua conservação. O relevo é plano com ocorrências de suave-ondulados e diferentes altitudes nos trechos relacionados à erosão de rios (MORO, 2015). Os principais cursos d'água de Eusébio são o Rio Pacoti, o Riacho Coaçu e a Lagoa da Sabiaguaba (COGERH, 2022), os quais apresentam densidade de ocupação urbana em seu entorno.

O clima predominante no município é do tipo “As” (Savana Equatorial de verão seco) de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (KOTTEK et al, 2006). A região Nordeste do Brasil apresenta regime sazonal e alta variabilidade da precipitação, tendo como o principal sistema atmosférico atuante na região a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), banda de nuvens formada pela confluência dos ventos alísios provenientes do hemisfério norte e do hemisfério sul, a mesma é responsável pelo maior aporte pluviométrico durante a quadra chuvosa, que se estende do mês de fevereiro a maio na área de estudo (Figura 20) (FERREIRA e DA SILVA MELO, 2005; ZANELLA, 2014).

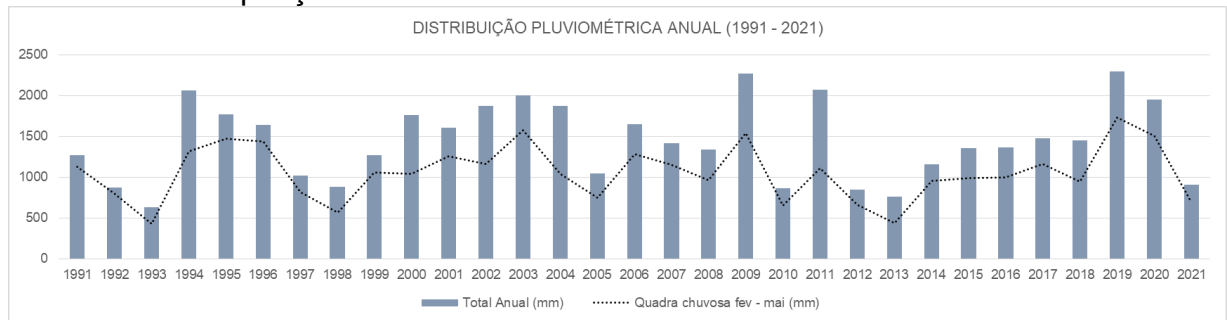
Figura 20 - Zona de Convergência Intertropical em atuação no hemisfério Sul



Fonte: INPE (2022).

A dinâmica pluviométrica no município apresenta na série histórica de 1990 à 2021, anos representativos de períodos mais chuvosos e mais secos (Gráfico 3). 2021 apresenta uma redução no volume acumulado de chuvas em relação ao ano de 2001, recorte temporal analisado na pesquisa.

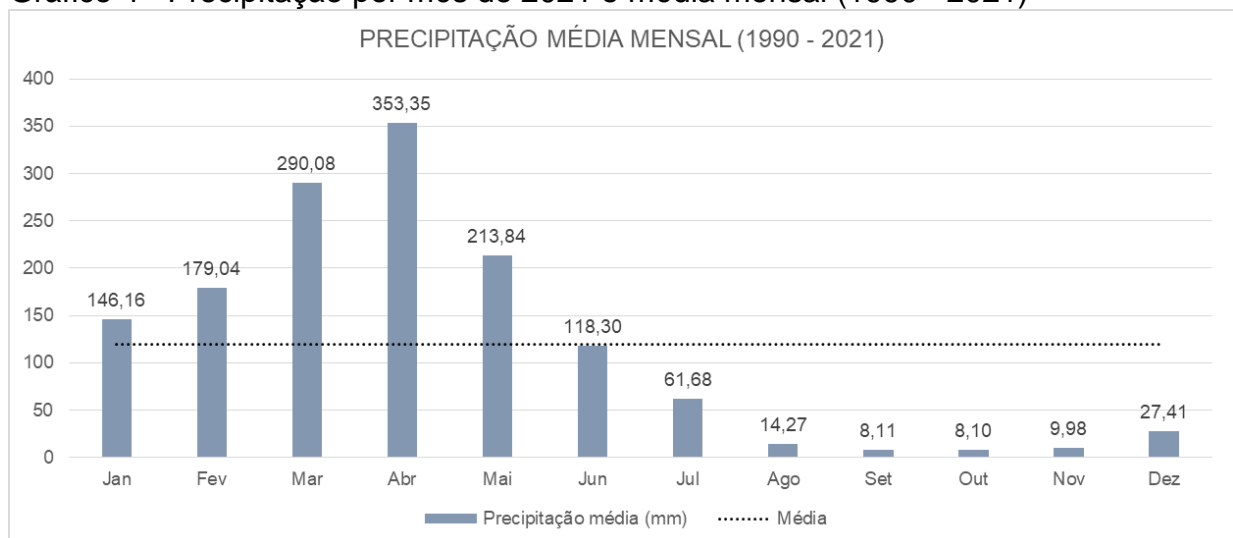
Gráfico 3 - Precipitação acumulada anual - 1991 a 2021



Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de FUNCEME (2022).

Segundo dados da FUNCEME (2022), os meses representativos no volume de precipitação no município de Eusébio são fevereiro, março, abril e maio, tendo também as chuvas da pré-estação, que se iniciam ainda no mês de dezembro/janeiro. O período mais seco do ano é representado sobretudo pelos meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro, segundo semestre do ano, quando o município se encontra sobre influencia climática do Anticiclone do Atlântico Sul, sistema que causa estabilidade climática na região (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Precipitação por mês de 2021 e média mensal (1990 - 2021)

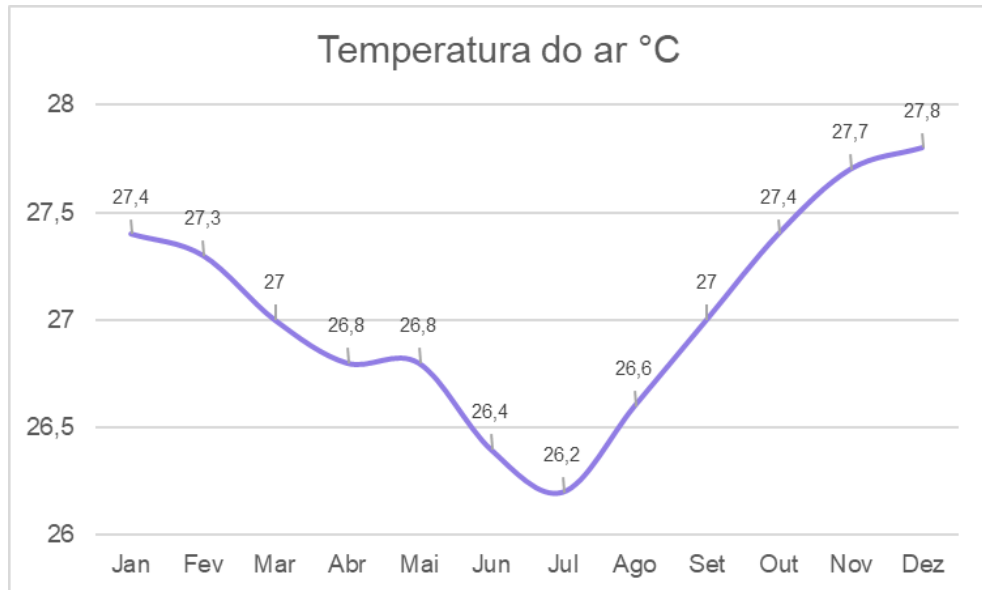


Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de FUNCEME (2022).

A temperatura média compensada do ar (°C) para os meses do ano foi estabelecida de acordo com a normal climatológica para a estação convencional de meteorologia mais próxima, localizada na cidade de Fortaleza no bairro Passaré nas coordenadas 3°49'12.00"S e 38°32'24.00"O. No gráfico 6 é possível verificar que o mês de outubro, escolhido para a realização dos transectos móveis no presente trabalho, apresenta temperatura média do ar de 27,4 °C (INMET, 2022).



Gráfico 5 - Temperatura média do ar - Estação meteorológica mais próxima



Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de INMET (2022).

Os dados climáticos, principalmente as médias, fornecem informações acerca da dinâmica da área de estudo, evidenciando relações entre o microclima e o clima regional, que exerce influências sobre as análises a serem realizadas. Os dados de Temperatura do Ar e de precipitação das estações meteorológicas evidenciam os meses que tem maior interferência da radiação solar sobre a área de estudo, o que está associado a resposta térmica dos materiais dispostos sobre ela, logo, verifica-se que o período seco do ano apresenta maior impacto das altas temperaturas, influenciando no conforto térmico urbano.

## 5 ANÁLISE TEMPORAL DA TST

A análise comparativa dos dados de TST para os anos de 2001 (01/08/2001) e 2021 (23/07/2021) apresenta considerável discrepância nos valores médios na estatística descritiva da amostra obtida das cartas termais. Verificou-se que a média de TST para 2021 é de aproximadamente 5,5 °C a mais que a média das temperaturas superficiais em 2001, considerando-se a amostra de 1500 pontos distribuídos aleatoriamente na área de estudo (Tabela 2).

Tabela 2 - Estatística descritiva de amostras dependentes de TST - 2001 e 2021

ESTATÍSTICAS DE AMOSTRAS PAREADAS					
	Valor Mínimo (°C)	Valor Máximo (°C)	Média (°C)	N° da amostra	Desvio Padrão
<b>TST 2001</b>	21,06	31,24	24,65	1500	1,58921
<b>TST 2021</b>	24,41	35,40	30,19	1500	2,04991

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Para o teste T de Student desta análise são estabelecidas as seguintes hipóteses (Equações 8 e 9):

$$H_0 = \mu_{2001} = \mu_{2021} \quad (8)$$

$$H_1 = \mu_{2001} \neq \mu_{2021} \text{ ou } \mu_{2001} < \mu_{2021} \text{ ou } \mu_{2001} > \mu_{2021} \quad (9)$$

Onde a Hipótese nula ( $H_0$ ) é de que a Temperatura Superficial de 2001 ( $\mu_{2001}$ ) é igual a Temperatura Superficial de 2021 ( $\mu_{2021}$ ) e a Hipótese alternativa ( $H_1$ ) é de que a Temperatura Superficial de 2001 ( $\mu_{2001}$ ) é diferente, maior ou menor que a Temperatura Superficial de 2021 ( $\mu_{2021}$ ).

Como nas hipóteses formuladas há possibilidade da média de um dos grupos ser maior ou menor que do outro, foi considerada a bilateralidade do teste *Sig. 2-tailed* e o valor da prova do teste (p-value) foi de 0,000 (Tabela 3), o que indica que a hipótese nula pode ser rejeitada a um nível de significância de 5% pois a probabilidade de erro ao rejeitar  $H_0$  é de 0%, concluindo assim que as amostras de TST para os anos de 2001 e 2021 possuem diferenças entre si.

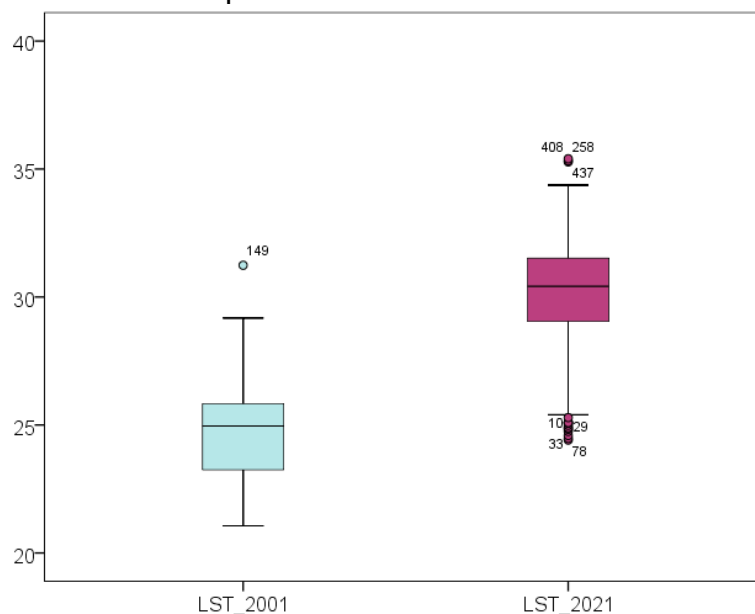
Tabela 3 - Teste de amostras dependentes de TST - 2001 e 2021

TESTE DE AMOSTRAS PAREADAS								
	Média	Desvio Padrão	Erro padrão médio	95% Intervalo de confiança da diferença		t	df	p value (Sig. 2-tailed)
				Inferior	Superior			
<b>TST 2001</b>								
<b>- TST 2021</b>	- 5,54	1,78	0,07	-5,70	-5,38	-69,41	499	0,000

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

É possível confirmar essa diferenciação e identificar que houve aumento dos valores médios de TST no ano de 2021 a partir da análise do “*Boxplot*” (Gráfico 7). A mediana da TST para 2001 estabelece-se na faixa dos 25 °C e possui valores inferiores que chegam próximo aos 20 °C, enquanto que para 2021 a mediana se encontra acima de 30 °C e a dispersão dos dados ocorre de forma mais heterogênea conforme o intervalo interquartilico o que infere que valores semelhantes de Temperatura Superficial se apresentaram frequentemente no espaço da área em análise.

Gráfico 6 - Boxplot - TST 2001 e 2021



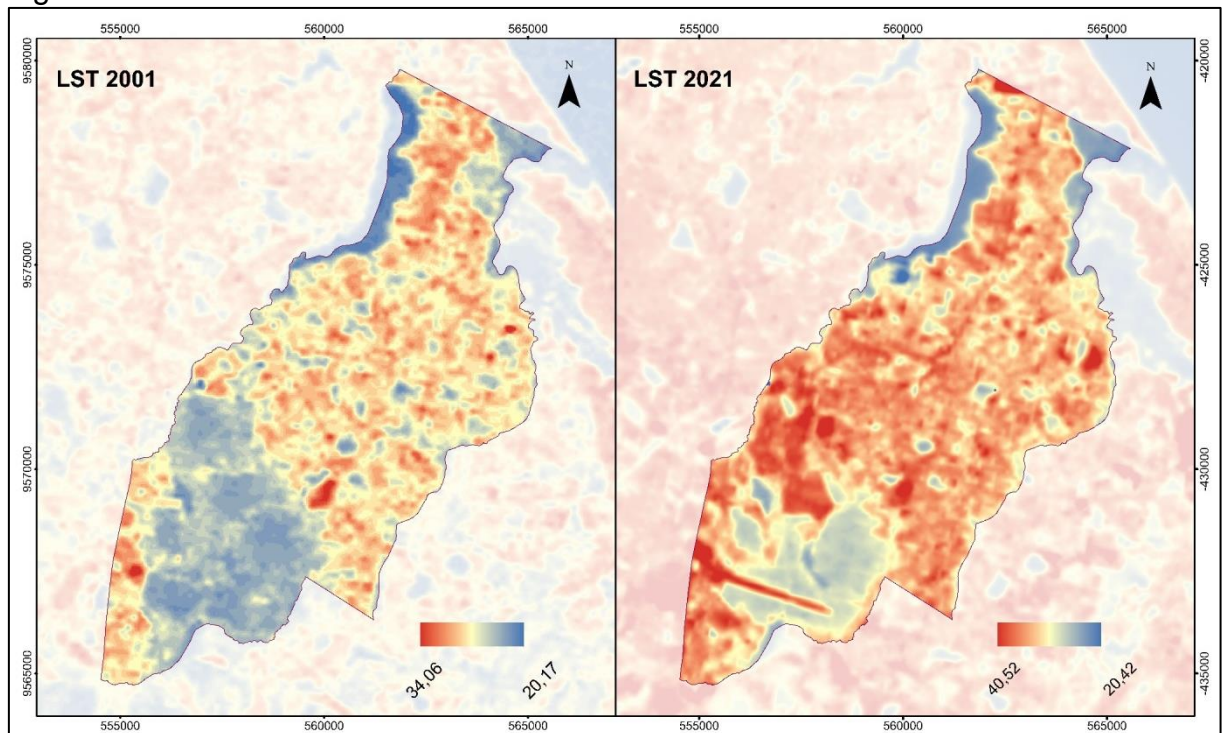
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Para ambos os grupos a distribuição de dados apresenta-se assimétrica, tendo em vista a descentralização da mediana no intervalo existente entre o terceiro e o primeiro quartil. O ano de 2001 apresentou o valor mínimo de Temperatura

Superficial de 21,06 °C e máxima de 31,24 °C, enquanto 2021 registrou 24,41 °C de TST mínima, e 35,40 °C de máxima de acordo com o Quadro e com os valores associados aos limites inferiores e superiores expostos no gráfico de caixas.

Na espacialização das TSTs nos mapas (Figura 21) é possível reafirmar essa modificação nas características térmicas do município de Eusébio visualmente, as quais exibem feições relacionadas a organização urbana no ano de 2021 em relação a feições associadas a solo exposto e áreas com vegetação preservada em 2001.

Figura 21 - TSTs de Eusébio - 2001 e 2021



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A padronização das classes de Temperatura Superficial dos mapas não foi possível pela demasiada discrepância dos dados entre um ano e outro, optando-se pela exposição da escala de classificação individualmente, ademais esta configuração permite observar mais precisamente a realidade de cada carta e relacionar com as características ambientais existentes em cada período. Salienta-se que os dados analisados estatisticamente representam uma amostra de 1500 pontos no espaço analisado.

A Temperatura Superficial Terrestre foi espacializada em cartas termais correspondentes ao recorte temporal estabelecido na pesquisa com foco na

identificação de áreas com maiores modificações ao longo do tempo (Figura 22). Todas as imagens correspondem ao período seco dos anos. Tendo em vista as interferências climáticas no momento de captura das imagens de alguns anos, o intervalo entre os mapas não segue um padrão. Entretanto é possível visualizar as modificações que ocorreram aos longos dos anos com base na TST dos alvos dispostos na área de estudo. O ano com maior média de TST na amostra obtida foi 2021, com 30,19°C e o ano com menor TST foi 2004, com média de 23,16°C (Tabela 4).

Tabela 4 - Descrição dos dados de TST de cada ano

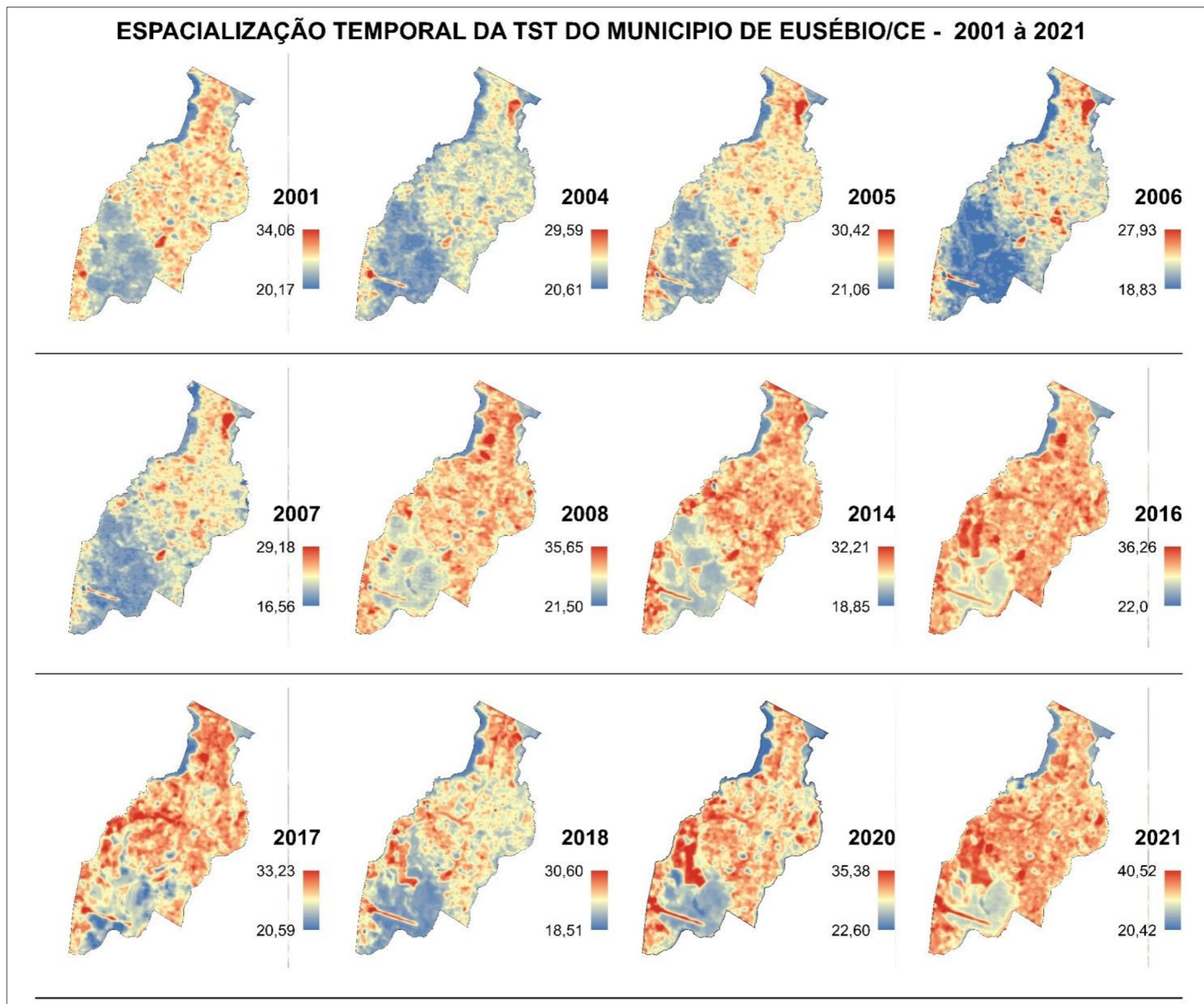
<b>Estatísticas Descritivas de TST (°C) de todos os anos</b>						
<b>Ano</b>	<b>Amostra de pontos</b>	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Data - Landsat</b>
2001	1500	21,06	31,24	24,65	1,59	01/08/2001
2004	1500	21,06	27,52	23,16	0,97	24/07/2004
2005	1500	21,94	27,52	24,78	1,15	27/07/2005
2006	1500	21,50	26,67	23,56	1,11	14/07/2006
2007	1500	19,73	27,52	24,13	1,04	15/06/2007
2008	1500	22,38	34,86	28,08	1,88	21/09/2008
2014	1500	23,65	29,87	26,85	1,27	20/07/2014
2016	1500	23,11	34,89	28,92	1,84	26/08/2016
2017	1500	22,38	31,84	27,37	1,79	13/08/2017
2018	1500	22,86	29,16	25,72	1,14	13/06/2018
2020	1500	22,85	33,60	28,37	2,05	05/08/2020
2021	1500	24,41	35,40	30,19	2,05	23/07/2021

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O ano de 2001 apresenta uma distribuição das classes de TST mais altas em parte do município, mais especificamente no setor centro-norte, que chegam aos 34°C. Essa característica evidencia que essa área se associa a presença de pouca

vegetação de caráter arbóreo, a qual responde facilmente as interferências dos regimes pluviométricos na região, fornecendo dados de maiores temperaturas superficiais. Enquanto a área Sul do município evidencia TSTs mais baixas, devido a presença de vegetação densa. Esse padrão se apresenta nos demais anos, e estão associados não apenas a supressão de vegetação, mas também a precipitação inerente ao ano.

Figura 22 - TSTs de Eusébio - 2001 e 2021



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O ano de 2004 evidencia a supressão de vegetação ao sul do município para a construção de infraestruturas de indústrias, tendo em vista a proximidade com a BR-116. Ademais, é possível visualizar feições com TST mais elevada relacionadas a construção do condomínio Alphaville Fortaleza entre a Lagoa da Sabiaguaba e Rio Pacoti, ao norte do município.

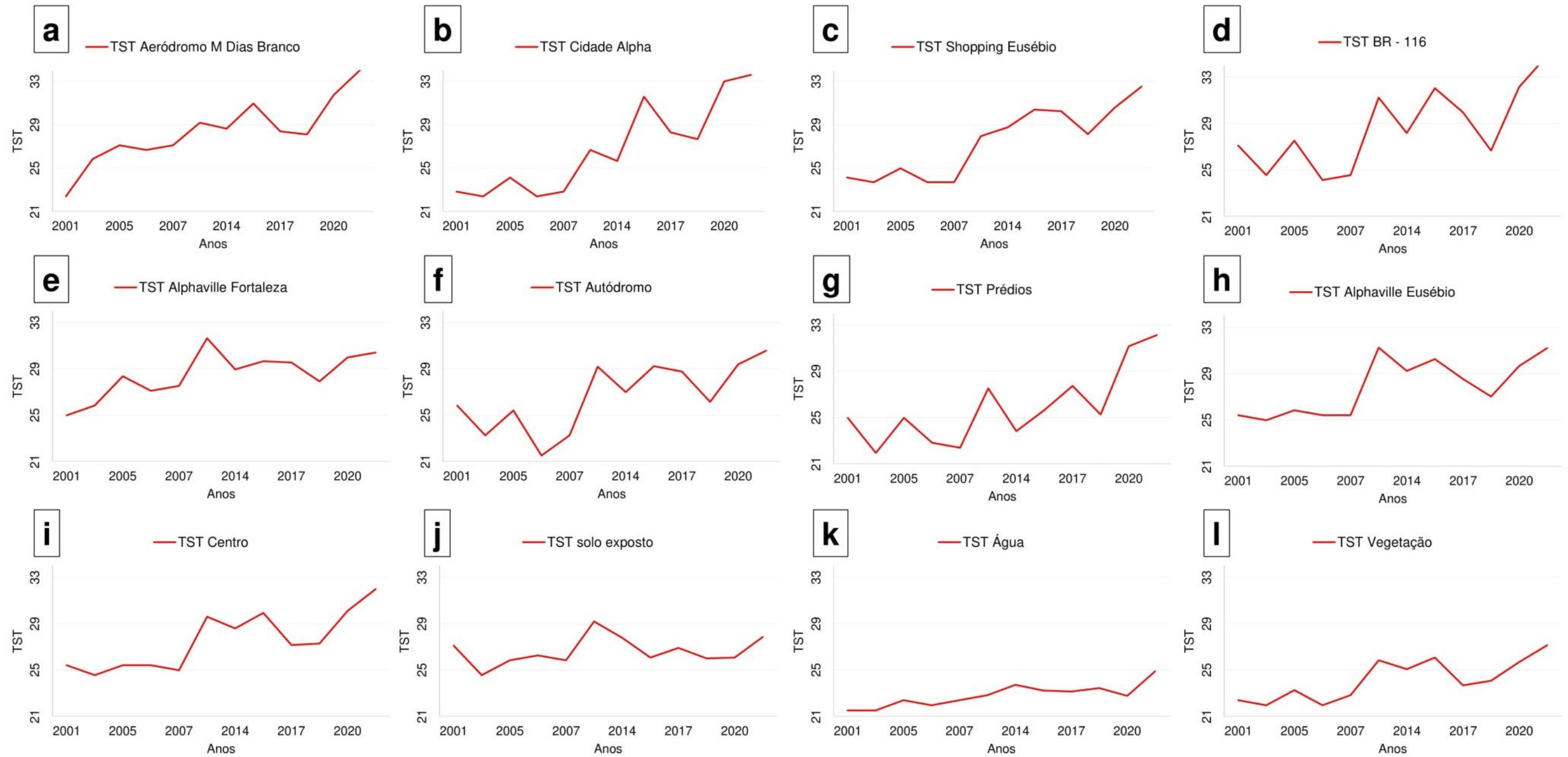
O processo de urbanização com a entrada de condomínios horizontais e loteamentos fechados em Eusebio é paralelo ao aumento das temperaturas nos locais de maior interesse imobiliário. Silveira e Sales (2011) identificaram uma maior aglomeração dos condomínios horizontais no entorno da rodovia CE-040 e adjacências, após a emancipação do município. Esse fato corrobora com os dados de TST obtidos nas cartas termais. Feições mais expressivas quanto ao aumento da TST são estabelecidas no espaço ao longo dos anos, principalmente em torno das principais rodovias e próximo aos corpos hídricos e vegetação.

O mapa de 2016 demonstra novas áreas com maior TST, o que se associa a entrada de maior infraestrutura urbana ao longo das rodovias BR-116 e CE-040. A instalação do primeiro Shopping Center de Eusébio, no ano de 2014 (PREFEITURA DE EUSÉBIO, 2014), e sua expansão nos anos seguintes marca o início de uma série de construções associadas a serviços de bens e consumo nesse perímetro, o que efetivamente fomentou a circulação de automóveis e aglomeração de pessoas e proporcionou o aumento da TST. Os mapas evidenciam a supressão de área vegetada e de corpos hídricos antes existentes no local.

O ano de 2021 deixa evidente os pontos de maior e menor temperatura de superfície atualmente na área de estudo. Com tais informações é possível identificar que conjuntos de equipamentos promovem modificações tão intensas no espaço urbano ao ponto de serem evidentes essas feições nas cartas termais, podendo estar associadas a formação de Ilhas de Calor Atmosféricas. Nesse sentido, foram elencados pontos representativos de Temperatura Superficial em 2021 e investigada a evolução da TST ao longo dos anos 2001 - 2021 a partir dos gráficos de linha (Gráfico 8).



Gráfico 7 - Gráficos de TSTs de Eusébio - 2001 e 2021



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O gráfico “a” está associado a evolução da TST no aeródromo localizado na fábrica M Dias Branco, na BR-116. Observa-se que no ano de 2001 a TST se apresentava em torno dos 21°C e teve aumento crescente até o ano de 2021, onde estabeleceu 33°C. Esta área teve sua vegetação suprimida ao longo dos anos, passou pelo processo de exposição do solo e pavimentação da pista de pouso de aeronaves.

O gráfico “b” corresponde ao condomínio Cidade Alpha, também localizado na BR-116. Este, por sua vez, ocupa uma parcela considerável dentro da área de maior densidade vegetacional do município, onde é evidenciada a presença de corpos hídricos como o Rio Coaçu. É nitidamente a feição mais característica em proporção e alta Temperatura Superficial dentro da análise em questão. No gráfico é possível definir o ano 2014 como sendo o início do aumento da TST no local, isso relaciona-se a supressão vegetal para a abertura de lotes de grande extensão. No ano de 2021, o local chegou aos 33°C de TST.

Como destacado na descrição dos mapas termais de superfície, o shopping Eusébio, evidenciado no gráfico “c”, foi inaugurado no ano de 2014, tendo desde então um crescimento evidente na TST do local e seu entorno, chegando próximo aos 33°C no ano de 2021.

A BR-116 apresenta fluxo intenso de veículos pesados e materiais construtivos associados a indústria, essas características promovem o aumento da temperatura de superfície, principalmente em anos secos, quando a incidência do sol é maior. No gráfico “d”, observa-se que a TST não é menor que 24°C em nenhum dos anos analisados, se tornando maior com o passar dos anos e atingindo os 33°C em 2021.

Os gráficos “e” e “g” apresentam semelhança na evolução temporal da TST, sendo que os mesmos representam os condomínios Alphaville Fortaleza e Alphaville Eusébio, respectivamente. Ambos apresentam um aumento na TST a partir do ano de 2007 e atingem no máximo, em 2021, os 30°C. Esses condomínios localizam-se próximos a corpos hídricos e possuem arborização em sua constituição.

A TST temporal do bairro Autódromo, identificada no gráfico “f”, onde existe a presença de empresas e indústrias, se estabelece entre os 21°C e 30°C ao longo no tempo, sendo mais evidente as maiores temperaturas superficiais a partir

do ano 2008. Para o gráfico “g” representativo da área com condomínio vertical localizada próximo ao Atacadão, na CE-040, evidencia-se heterogeneidade na escala temporal de TST, existindo valores entre os 21°C e 32°C de forma não padronizada de aumento ou diminuição de temperatura de superfície.

O bairro Centro, representado pelo gráfico “i”, também se apresenta mais quente superficialmente a partir do ano 2007, passando dos 25°C no ano de 2001 aos 32°C no ano de 2021.

Os gráficos “j”, “k” e “l” representam tipos de cobertura do solo, como solo exposto, água e vegetação, respectivamente. Para o solo exposto os valores de TST ficam em torno dos 25°C e 30°C em todo o período, enquanto que para corpos hídricos, a TST não ultrapassa os 25°C. A área com maior densidade de vegetação atinge os 27°C no ano de 2021.

É possível identificar relações entre os anos e os dados de Temperatura Superficial para cada local investigado e no conjunto dos mesmos. Os anos de 2007 e 2014 geralmente representam um ponto de aumento na TST de boa parte das feições, tais anos estão relacionados a implantação de equipamentos urbanos ou de supressão vegetal, como é o caso do Shopping Eusebio e a abertura de loteamentos fechados.

Identificados os pontos de maior dinâmica de modificação da TST no município de Eusébio, são estabelecidas as bases espaciais para outras análises do clima, que ajudam a sustentar o fato de que as superfícies dos materiais construtivos e dos tipos de cobertura do solo influenciam na Temperatura do Ar. Neste sentido, são analisados os fatores inerentes a Temperatura do Ar com base na coleta de dados locais e classificação dos tipos de morfologia urbana existentes na área de estudo, a fim de obter resultados relacionados na abordagem da temperatura em Eusébio.

## 6 TEMPERATURA DO AR

De acordo com a caracterização morfológica do município e observações em campo, maiores temperaturas estão associadas a áreas com maior fluxo de veículos pesados e atividade industrial intensa (Figura 23), equipamentos que possuem maior radiância devido ao grau de emissividade de energia dos componentes físicos do material construtivo, geralmente galpões e containers que geram maior nível de calor próximo ao dossel urbano.

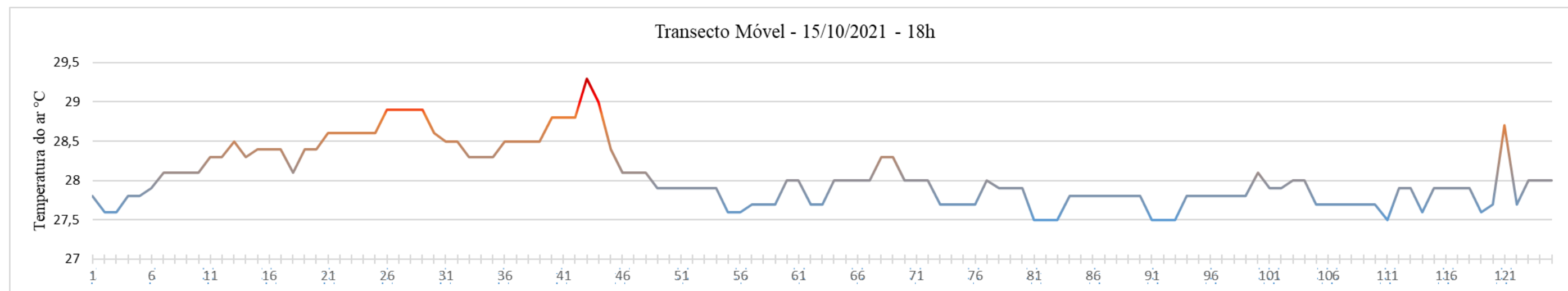
Figura 23 - BR - 116



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

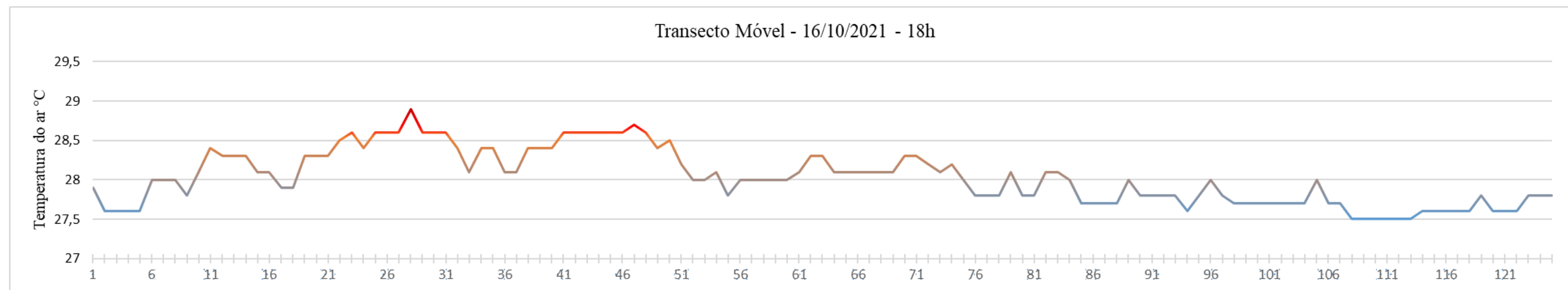
Os dados obtidos nos percursos realizados com transectos móveis caracterizaram determinadas especificidades na Temperatura do Ar. É possível relacionar esses dados aos bairros e trechos pelos quais foram realizadas coletas. Nos gráficos (Gráficos 9 e 10) observa-se que as maiores temperaturas em ambos os transectos se encontram nos trechos iniciais.

Gráfico 8 - Perfil Longitudinal do Transecto Móvel - TA (°C) 15/10/2021



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Gráfico 9 - Perfil Longitudinal do Transecto Móvel - TA (°C) 16/10/2021



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Outro trecho com características mais expressivas se encontra em torno da área de comércio e serviços do município, entre os pontos de coleta de número 40 ao 47, onde se percebeu em ambos os dias um maior fluxo antropogênico e presença de trânsito intenso de veículos. Para a análise da temperatura do ar, tais fatores têm demasiada influência, por exercerem modificações no ar circundante. Este trecho possui atrativos comerciais e de lazer, por comportar shoppings, lojas de prestação de serviços e maior heterogeneidade morfológica, e fica localizado entre os bairros Tamatanduba e Amador (Figura 24).

Figura 24 - Área no entorno do Shopping Eusébio



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Diferentemente dessas áreas, ao final do percurso, ao longo da rodovia CE-010 (Figura 25) é identificada a diminuição desses valores entre os pontos de coleta 100 ao 125, os quais mantêm valores abaixo dos 28 °C, o que está relacionado a diminuição do fluxo antropogênico e de veículos, ademais pela presença de áreas mais vegetadas e maior proximidade com corpos hídricos e com a zona costeira, a qual favorece a entrada de brisas no município.

Figura 25 - Rodovia CE-010



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

As brisas são geradas nesses locais principalmente porque áreas com corpos d'água geralmente são amplas e abertas em relação ao seu entorno, não apresentando obstáculos para a circulação do vento.

Nos dados obtidos para os dois dias de pesquisa em campo os valores de Temperatura do Ar se mantiveram entre 27,50 °C e 28,90 °C (Quadro 5), a menor temperatura foi registrada no bairro Mangabeira, o último bairro alcançado pelo trajeto e as maiores foram obtidas no bairro Santo Antônio e no trecho correspondente a Fortaleza.

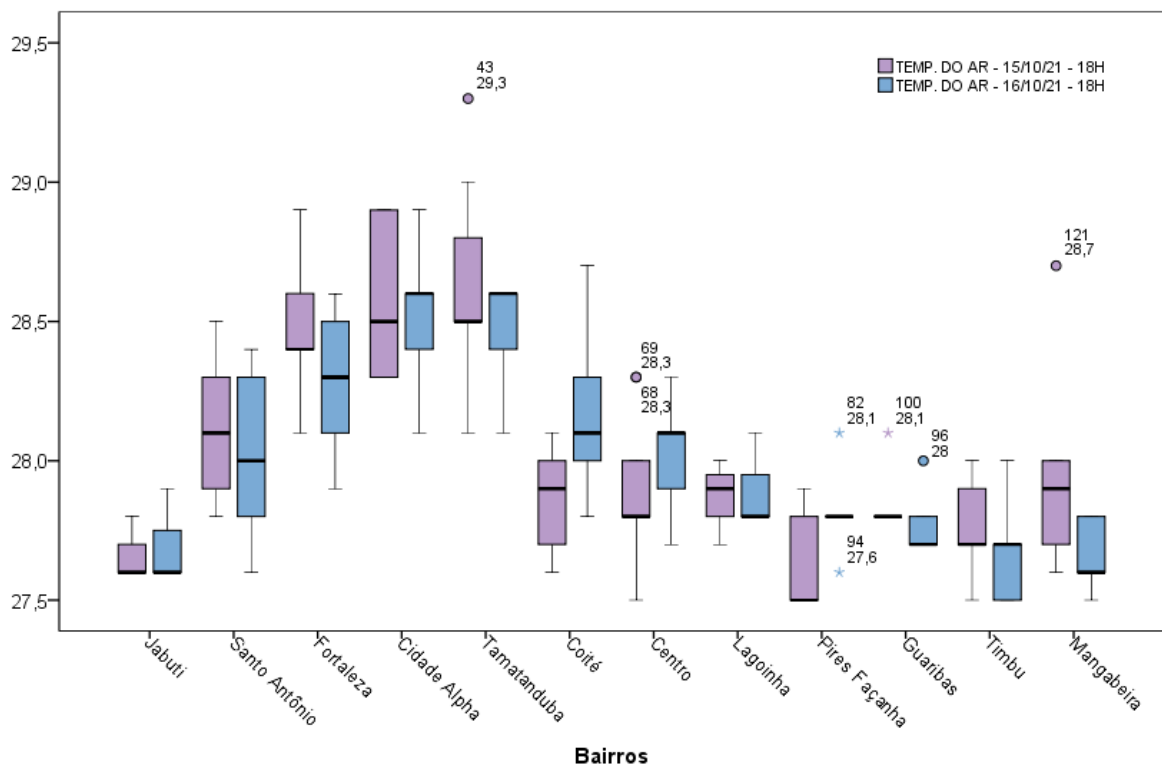
Quadro 5 - Estatística descritiva dos dados de Temperatura do Ar da amostra de pontos

	<b>TEMP. DO AR - 15/10/21 - 18H</b>	<b>TEMP. DO AR - 16/10/21 - 18H</b>
Nº de pontos	125	125
Média	28,04	28,03
Mínima	27,50	27,50
Máxima	29,30	28,90
Mediana	27,90	28,00
Desvio Padrão	0,38949	0,34546

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Nos gráficos de caixas (Gráfico 11) é possível identificar os bairros onde se obtiveram menores e maiores temperaturas ao longo do percurso nos transectos realizados. As medições marcaram as temperaturas no intervalo de 27,50 °C a 28,90 °C, concentrando os maiores valores nos bairros Cidade Alpha e Tamatanduba. As principais influências na Temperatura do Ar estão no tipo de construção, fluxo antropogênico e tipo de cobertura do solo. Apesar de estar em uma zona com vegetação, o bairro Cidade Alpha possui loteamentos e solo exposto, além de estar mais próximo a área industrial do município e no limite com a cidade de Fortaleza.

Gráfico 10 - Boxplots de Temperatura do Ar por bairros de Eusébio abrangidos pelos transectos móveis



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

No bairro Tamatanduba há maior concentração antropogênica devido à presença do Shopping Eusébio, principal atrativo para lazer e prestação de serviços, e que desenvolve função fundamental na valorização deste bairro para a inserção de infraestrutura urbana. Como este equipamento encontra-se próximo à rodovia CE-040, há também um maior fluxo de automóveis em trânsito, gerando maior emissão de gases no entorno e maiores temperaturas atmosféricas.



Com o processo de crescimento urbano, ao longo do trajeto se encontram obras de construções em andamento, as quais estão associadas a equipamentos de infraestrutura urbana e moradia, tais como shoppings, condomínios e lojas (Figura 26).

Figura 26 - Construção de shopping na Rodovia CE-040



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

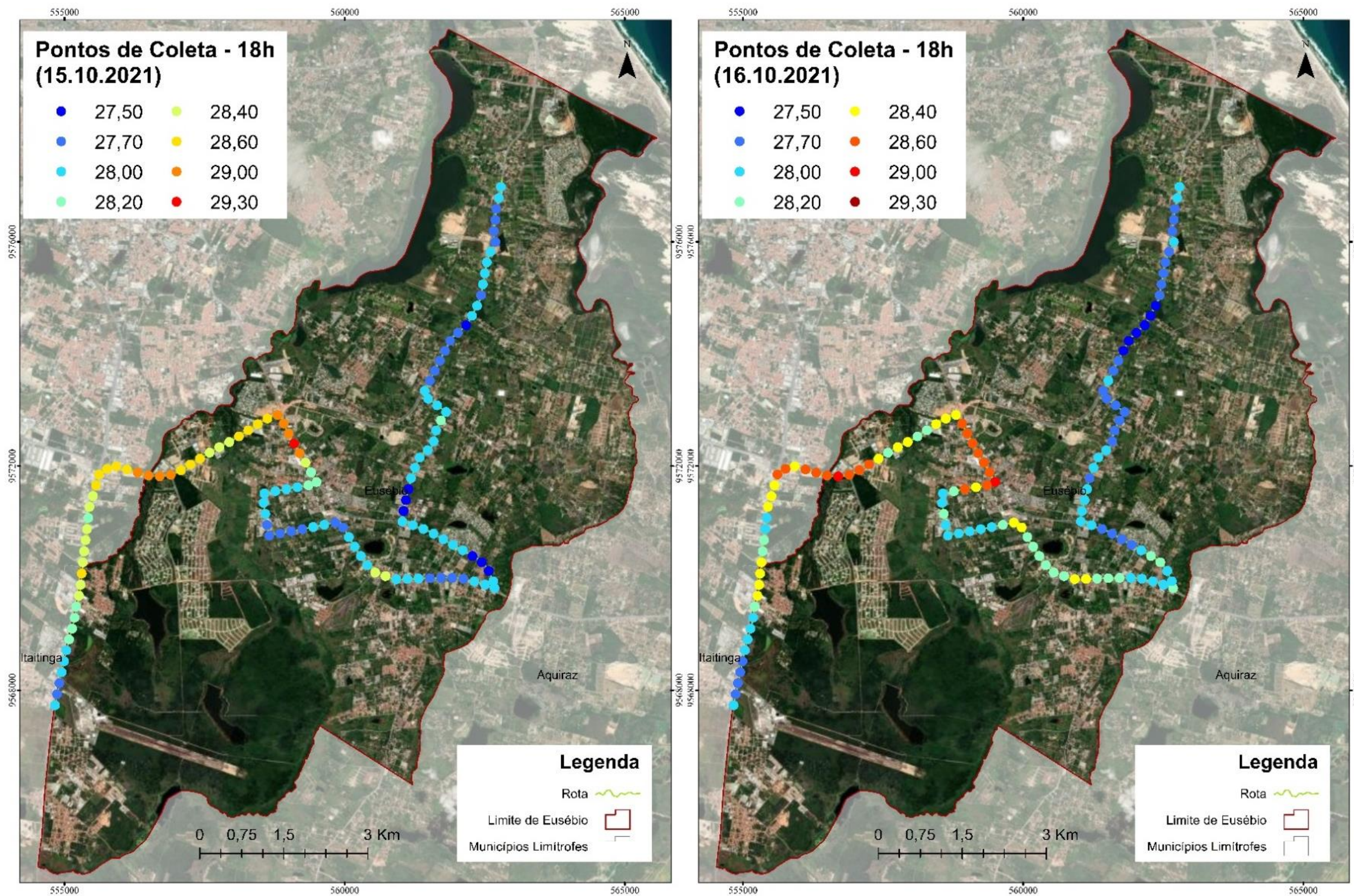
As temperaturas se apresentam homogêneas e estáveis entre os pontos de coleta, devido à dinâmica do balanço de energia exercida pela camada limite da atmosfera e pela superfície resfriada. Ainda assim é possível evidenciar picos de temperaturas os quais pode estar relacionado ao fluxo antropogênico e de veículos, maior atividade comercial e de serviços em determinadas áreas no horário de coleta.

As áreas mais afastadas do centro urbano evidenciam temperaturas menores e pode se relacionar a diminuição de edificações e a presença de áreas vegetadas, características dos arredores dos núcleos de calor.

As temperaturas obtidas ao longo do trajeto evidenciam propriedades térmicas específicas de cada ambiente dentro do urbano, como é possível visualizar pelas menores temperaturas concentradas no sentido norte do município nos 2 transectos (Figura 27), onde ambientes vegetados prevalecem e a entrada dos ventos provenientes do litoral amenizam os efeitos do calor, ao contrário dos dados coletados na região sudoeste, a qual mantém maior proximidade com a cidade de Fortaleza e caracteriza-se como uma via movimentada devido às atividades logísticas das indústrias existentes no local.

Figura 27 - Espacialização da Temperatura do Ar nos pontos de coleta dos transectos

## PERCURSO DOS TRANSECTOS MÓVEIS - 18H - TEMPERATURA DO AR DOS PONTOS



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

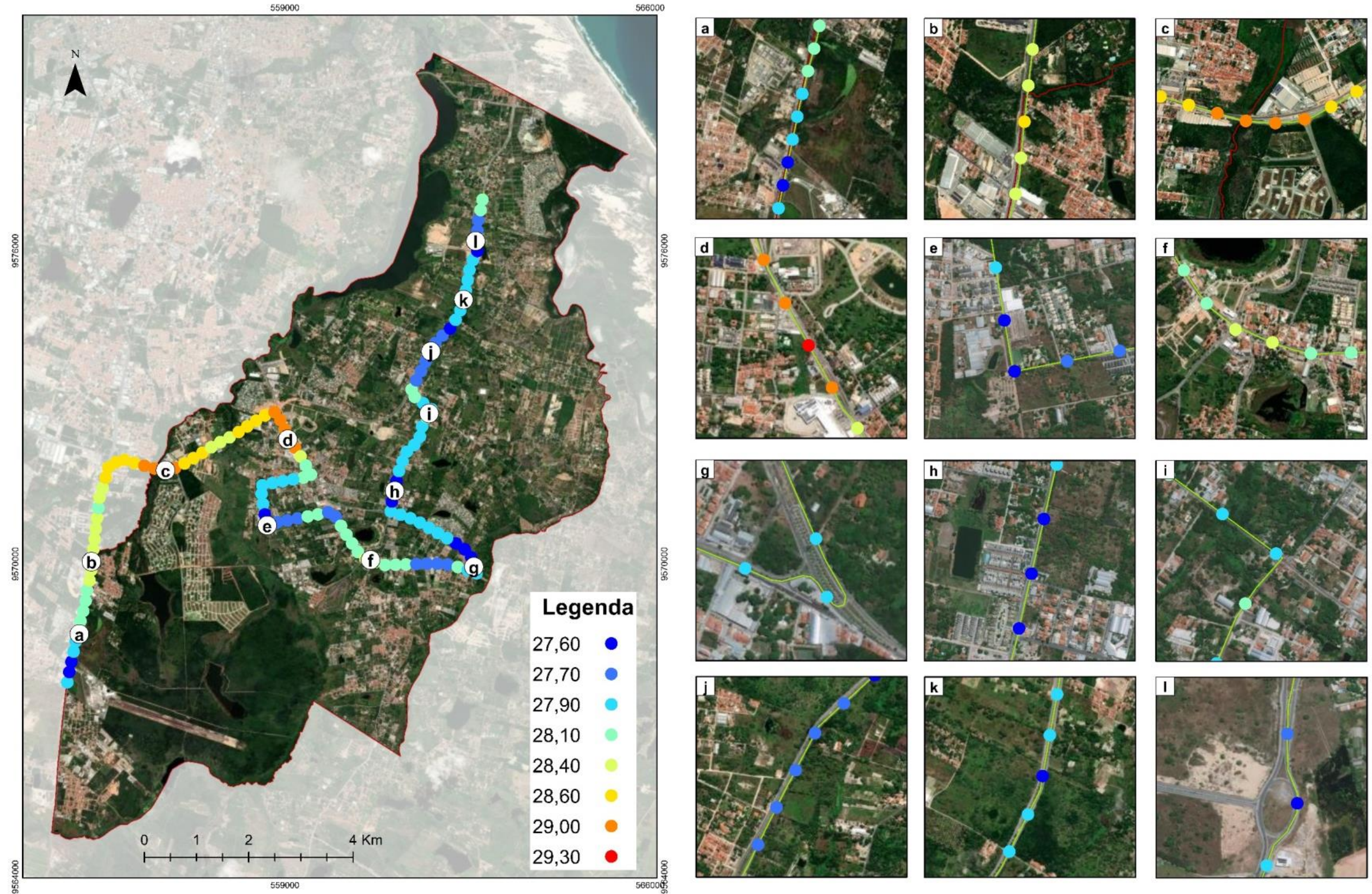
Os dados coletados na metade do percurso estão associados a zonas com maior fluxo antropogênico devido às atividades comerciais e de serviços, como é possível verificar na figura 30. A primeira coleta de dados corresponde a uma sexta feira e a segunda, a um dia de sábado. Essa informação possibilita associar a existência de pontos de maior temperatura no segundo dia em alguns trechos ao maior fluxo de veículos e calor antropogênico existente no local.

O ponto de maior Temperatura do Ar se localiza na CE-040, no entorno do Shopping Eusébio, local de maior fluxo antropogênico e de veículos, principalmente no horário da coleta de dados, às 18h. Esta área apresenta a formação de um núcleo de calor diferente do restante do trajeto.

Os dados de menor temperatura atmosférica ao longo do trajeto se concentram no sentido norte do município, sendo verificados também nas proximidades do bairro Centro e Cidade Alpha.

Figura 28 - Localização das Temperaturas do Ar mais expressivas

### DETALHAMENTO DO TRANSECTO MÓVEL - 15/10/2021 - 18h



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Apesar de comumente o centro das cidades estar mais associado à detenção dos serviços e adensamento urbano, para o município de Eusébio há uma inversão nessa característica. Ao longo do processo de urbanização, áreas mais próximas à capital Fortaleza passaram a deter a função de centro comercial e de ocupação, enquanto o bairro Centro permaneceu com funções de atividades tradicionais, como disponibilidade de serviços pontuais, o que diminui o fluxo de pessoas e transportes. Tal fato se associa à presença de temperaturas medianas em relação aos bairros com temperaturas mais discrepantes relatadas anteriormente. Nesse sentido, relaciona-se à interferência da vegetação que também detém grande importância na análise da geração de zonas frescas no urbano.

## 7 ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS - ZCL

Dentro da classificação de Zonas Climáticas Locais proposta por Stewart e Oke (2012) as classes de edificações são subdivididas em 10 tipos, entretanto, para o município de Eusébio algumas destas classes não são representativas no ambiente de estudo por não alcançarem a escala mínima para a geração de áreas de treinamento, a exemplo das classes 1 e 4 que estão relacionadas a presença de construções compactas de alta elevação, como edifícios e prédios.

Foram identificadas 7 classes de edificações, dentre as quais foram condensadas as que se associavam na área de pesquisa, como as classes “ZCL 2 e 3”, “ZCL 5 e 6” e “ZCL 8/10”. Foram levadas em consideração a altura, rugosidade, admissão térmica dos materiais e cobertura para a definição das classes. Todas as classes de cobertura do solo estabelecidas no sistema original foram encontradas no município, perfazendo a classificação de forma padronizada nesse sentido com os tipos ZCL “A”, “B”, “C”, “D”, “E”, “F” e “G” (Figura 29). A área abrangida por cada ZCL é especificada na tabela 5.

Tabela 5 - Área em Km<sup>2</sup> e porcentagem de ZCLs na área de estudo

ZCL	ÁREA em Km <sup>2</sup>	ÁREA em %
ZCL 2/3	943,71	1,19
ZCL 5/6	16432,73	20,86
ZCL 7	1323,52	1,68
ZCL 8/10	2425,71	3,07
ZCL 9	15669,47	19,89
ZCL A	15409,77	19,56
ZCL B	16812,07	21,34
ZCL C	3626,30	4,60
ZCL D	2924,66	3,71
ZCL E	39,61	0,05
ZCL F	600,96	0,76

ZCL G	2554,16	3,24
<b>Total</b>	<b>78762,71</b>	<b>100</b>

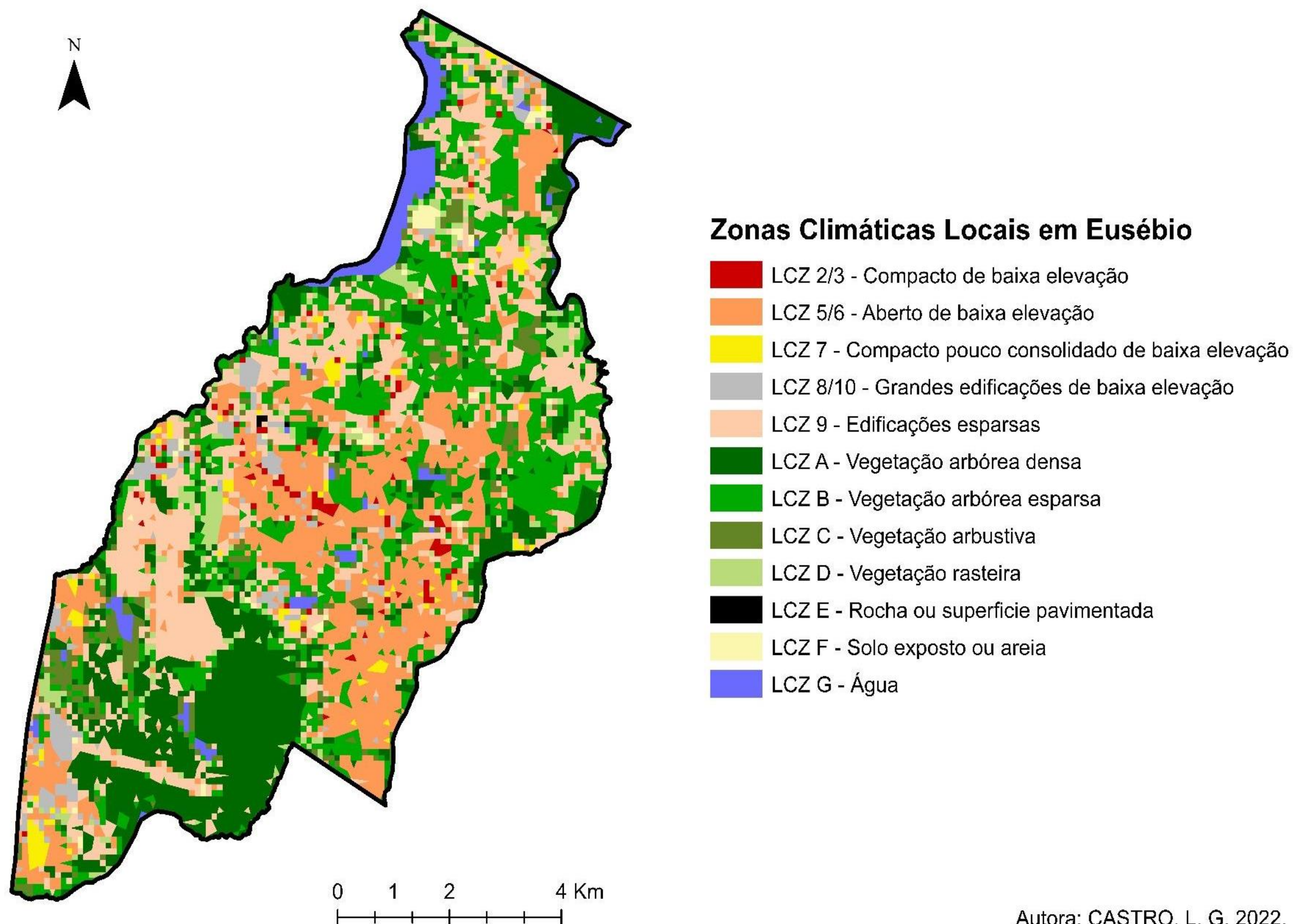
---

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Para as classes de edificação, a ZCL “5/6” teve maior abrangência dentro da área de estudo com 20,86%, enquanto a ZCL “B” obteve maior percentual da área para as classes de cobertura da terra, a mesma também se encontra em maior proporção em relação as demais classes com 21,34%.

A classe de menor ocorrência foi a ZCL “E”, com apenas 0,05% de distribuição, seguida da classe ZCL “F” com 0,76%. Ambas representam áreas com rocha exposta, pavimentação e solo exposto.

Figura 29 - Zonas Climáticas Locais em Eusébio - CE



Fonte: Elaborado pela autora, 2022

Autora: CASTRO, L. G. 2022.



A classe de cobertura do solo “ZCL B”, que corresponde ao tipo de vegetação arbórea esparsa é predominante no município ocupando 16812,07 Km<sup>2</sup> o que equivale a 21,34% da área de estudo, seguida do tipo edificado “ZCL 5/6” associado a áreas edificadas com baixa e média elevação com presença de vegetação no entorno com 20,86% de ocupação. Enquanto as classes “ZCL 2/3”, “ZCL E” e “ZCL F” ocupam menor área no município, com porcentagens respectivas de 1,19%, 0,05% e 0,76%.

Os tipos de edificações existentes no município estudado compõem classes de ZCL agrupadas e isoladas (Figura 30).

Figura 30 - Classes ZCL para tipos edificados em Eusébio

CLASSES LCZ DE TIPOS EDIFICADOS EM EUSÉBIO			
<b>LCZ 2/3</b>		<p>Compacto de baixa e média elevação com via pavimentada. Edificações com 1-3 pavimentos em sua maioria, ocorrência rara de edificações com 3-9 pavimentos.</p>	
<b>LCZ 5/6</b>		<p>Aberto de baixa e média elevação com presença de vegetação. Edificações com 1-3 pavimentos em sua maioria, ocorrência rara de edificações com 3-9 pavimentos com presença de vegetação.</p>	
<b>LCZ 7</b>		<p>Compacto pouco consolidado de baixa elevação. Ruas sem pavimentação/solo exposto com edificações baixas.</p>	
<b>LCZ 8/10</b>		<p>Construções grandes de baixa elevação e indústria. Edificações largas e de 1-3 pavimentos. Material construtivo geralmente de alumínio.</p>	
<b>LCZ 9</b>		<p>Construções esparsas com presença de pouca vegetação. Áreas com condomínios, presença de lotes desocupados e arborização intermediária.</p>	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Praticamente em todos os bairros há a classificação ZCL dos tipos 2 e 3 de forma associada, principalmente em áreas com presença de comércio e serviços, os quais possuem edificações de baixa a alta compactação e são constituídos por materiais de alvenaria, além de apresentarem vias e ruas pavimentadas com cimento.

Outra associação entre ZCL que são recorrentes em Eusébio são as do tipo 5 e 6. Essas áreas estão relacionadas principalmente a presença de arborização em vias e condomínios, os quais apresentam edificações de baixa e média elevação, pavimentação variada entre grama/ cimento/ intertravado e ocorrência de árvores nativas ou não entre as construções. Representa o maior percentual das ZCLs para edificações e é nela onde estão localizados os bairros com maior aglomerado urbano, com construções comerciais e residenciais. É bastante significativa no município por abranger maior parte da área ocupada no município.

A ZCL 7 é medianamente presente no município, caracteriza-se pela existência de edificações de baixa elevação e ausência de pavimentação. Na área de estudo, essa classe abrange zonas com presença de calçamento com pedras irregulares e em alguns casos a inexistência de qualquer tipo de calçamento. O material construtivo varia entre alvenaria e madeira, tanto na estrutura das casas quanto no telhado.





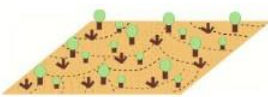







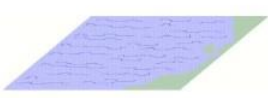

As áreas industriais apresentam no município de Eusébio, características irregulares quanto a localização, entretanto se mostram semelhantes quando a estrutura e material construtivo. São geralmente constituídas por galpões amplos com teto em alumínio. Estão associadas a áreas com fluxo de veículos pesados e trânsito intenso. Tais características se incluem na associação entre as classes ZCL 8 e 10.

A ZCL 9 abrange áreas com construções esparsas entre si e que apresentam vegetação também de forma esparsa. Geralmente estão associadas a condomínios em fase de construção, por apresentarem lotes ainda sem edificações, mas com arborização.

A cobertura do solo influencia na admissão térmica dos materiais construtivos, uma vez que as características ambientais como presença de corpos hídricos ou vegetação promovem a circulação do ar em maior abundância e conseqüentemente resfria as superfícies locais. Na classificação ZCL para

coberturas do solo em Eusébio (Figura 31), foram identificadas todas as classes referentes a cobertura no sistema. Um fator pertinente nesta pesquisa se relaciona a presença de vegetação em grande parte do município, embora a especulação imobiliária e o crescimento de infraestrutura urbana estejam presentes.

Figura 31 - Classes ZCL para cobertura do solo em Eusébio

CLASSES LCZ DE COBERTURA DO SOLO EM EUSÉBIO			
<b>LCZA</b>		Árvores densas	
<b>LCZB</b>		Árvores esparsas	
<b>LCZC</b>		Arbustos, com solo exposto	
<b>LCZD</b>		Vegetação rasteira	
<b>LCZE</b>		Rocha exposta ou pavimento	
<b>LCZF</b>		Solo exposto ou areia	
<b>LCZG</b>		Corpos hídricos	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A classe ZCL A evidencia áreas com presença de vegetação densa, no caso de Eusébio estas áreas estão associadas a vegetação nativa da Caatinga

presente no setor sul do município, e as matas ciliares no entorno de alguns corpos hídricos, são áreas ainda preservadas e com pouca interferência da urbanização.

A ZCL B está associada a áreas com árvores esparsas, muitas vezes localizadas no entorno de equipamentos urbanos de lazer, e são comumente utilizadas para a prática de exercícios físicos pelos moradores locais. Apresentam árvores de espécies não nativas, especificamente para a arborização.

Algumas áreas no município apresentam pouca presença de árvores e evidenciam plantas arbustivas e solo exposto, esta combinação compõe a classe ZCL C, a qual está associada na área de estudo a locais mais afastados do centro urbano. Já a ZCL D representa trechos com vegetação rasteira, geralmente com presença de grama e plantas de pequeno porte, é possível encontrar estas áreas em associação com os tipos de ZCL B e C no município de Eusébio e as áreas de produção agrícola, mesmo que em pequena escala.

A ZCL E representa áreas com exposição rochosa ou com pavimentação, são encontradas praticamente em toda a área estudada em pequenas proporções, principalmente quando da pavimentação de ruas e estradas. A classe ZCL F engloba trechos de solo exposto, os quais estão relacionados a loteamentos ou áreas desmatadas.

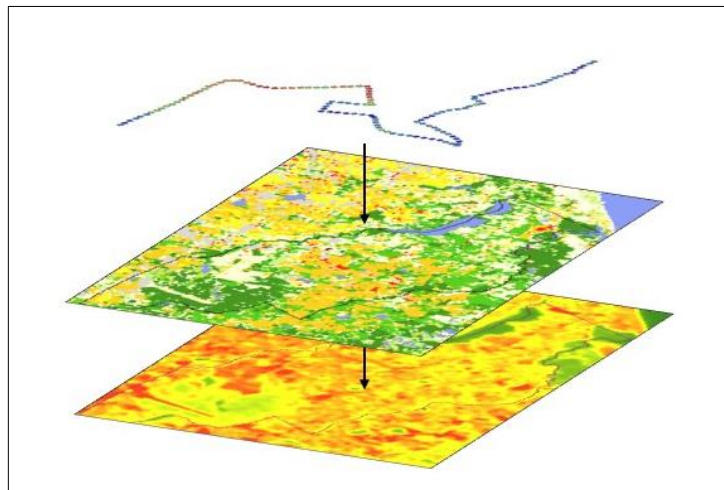
Por fim, a classe ZCL G representa os corpos hídricos dispostos na área de estudo, os quais se estabelecem geralmente dentro de áreas com vegetação, o que proporciona a diminuição das temperaturas em relação às áreas urbanizadas.

## 8 RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS E MODIFICAÇÕES TÉRMICAS

### 8.1 Médias de TST e TA por ZCL dos pontos de coleta do transecto

Para a obtenção das classes de ZCL e dos valores de TST correspondentes a cada ponto de coleta de dados de Temperatura do Ar foram sobrepostos os mapas relacionados a cada variável no ano de 2021, e extraídas as informações inerentes a partir da função “*sampleRegions*” do GEE (Figura 32).

Figura 32 - Sobreposição de mapas para obtenção de dados de mesmos pontos



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Para a análise da Temperatura do Ar, foram selecionados os dados referentes a coleta realizada no dia 15/10/2021, tendo em vista a semelhança com os dados do dia 16/10/2021 e a necessidade de escolha de apenas uma amostra de dados representante da variável, assim como para as demais. Para a TST os dados correspondem a mediana do pixel sobre os quais os pontos dos transectos se sobrepõem, tal informação diz respeito a imagem Landsat 8 do dia 23/07/2021.

Foram calculadas as médias para os pontos representativos de cada ZCL com base na passagem do transecto sobre cada classe e elencados na tabela 6, exceto para as classes de solo exposto (ZCL “F”) e de água (ZCL “G”) devido a impossibilidade de coleta de dados de TA nessas áreas por meio da rota do transecto pré-estabelecida.

Tabela 6 - Temperaturas médias de TST e TA por tipo de ZCL ao longo do transecto

Zona Climática Local	TST (°C)	TA (°C)	Diferença em °C entre as temperaturas
ZCL 2/3	26,21	28,00	1,79
ZCL 5/6	25,85	28,03	2,18
ZCL 7	25,6	27,85	2,25
ZCL 8/10	26,11	28,18	2,07
ZCL 9	26,24	28,00	1,76
ZCL A	25,05	27,90	2,85
ZCL B	25,60	28,08	2,48
ZCL C	25,73	27,82	2,09
ZCL D	26,25	27,70	1,45
ZCL E	26,45	28,80	2,35

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

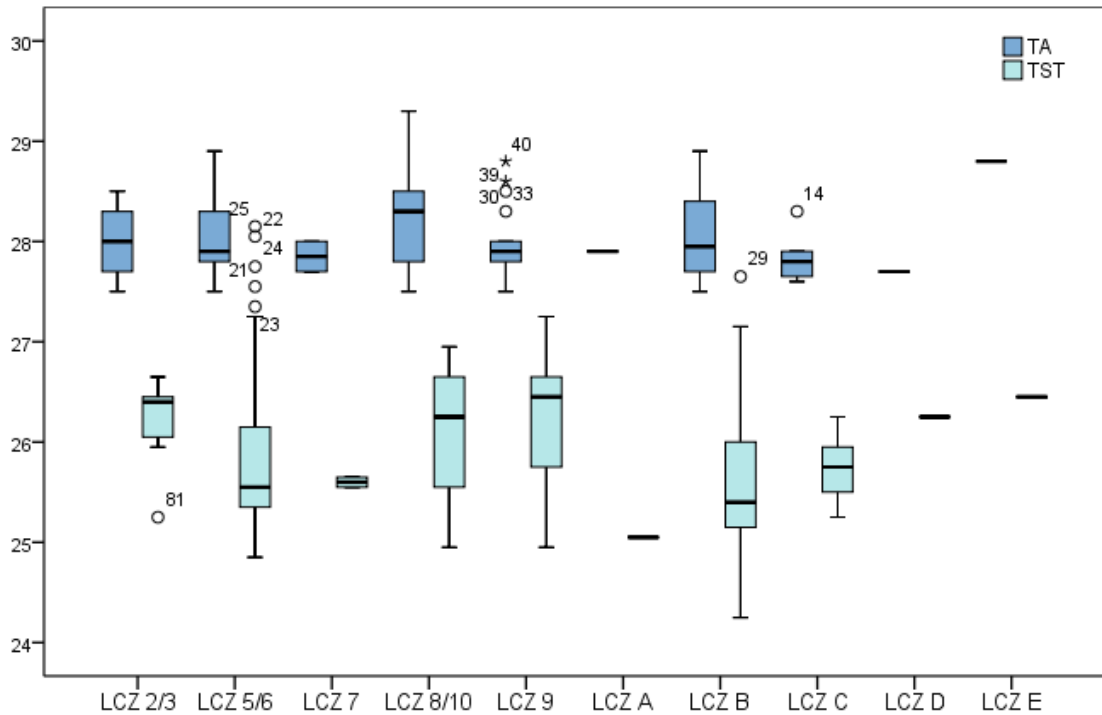
Os dados demonstram que as áreas com solo exposto ou com pavimentação, como caracterizado pela ZCL “E”, e com maior adensamento urbano como evidenciado nas classes “ZCL 5/6”, “ZCL 7” e “ZCL 8/10”, detêm maiores temperaturas de superfície na imagem analisada. Para a Temperatura do Ar, os maiores registros do transecto móvel estão também associados a ZCLs correspondentes a presença de edificações de baixo e médio porte com densidade asfáltica (ZCL “2/3”).

A diferença em °C entre as duas variáveis de temperatura evidencia, tanto para as classes de edificações quanto para as classes de cobertura, a existência de determinado padrão de amplitude entre os dados. Foi identificado que a diferença entre a média de TST e a TA está entre 1,45°C e 2,85°C, fato que implica uma possibilidade de se definir um padrão de mensuração da temperatura atmosférica através do conhecimento da Temperatura Superficial.

Observa-se no Boxplot (Gráfico 12) que os dados correspondentes a TA e a TST possuem relação quanto ao padrão de distribuição da amostra por classe de ZCL, embora os valores das temperaturas não estejam no mesmo intervalo, estando a mediana dos dados de TA na faixa dos 28°C e a mediana dos dados de TST na faixa dos 25°C a 26°C. Tais observações corroboram com a análise da diferença

entre as temperaturas, assumindo que pode haver um padrão de diferença em °C entre a TA e a TST para cada ZCL.

Gráfico 11 - Boxplot de TA e TST ao longo do transecto



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Outro aspecto a ser ressaltado é a heterogeneidade dos dados de TST ao longo do trajeto, conforme visualizado no intervalo interquartil, denotando amplitudes térmicas superficiais de um local ao outro de forma abrupta. Enquanto que para a TA, essa distribuição ocorre de forma mais homogênea, evidenciando um conjunto de dados que tem uma distribuição simétrica, com base na mediana centralizada no intervalo entre o terceiro quartil e o primeiro quartil.

Portanto, evidencia-se que para cada ZCL, ambas as variáveis de temperatura apresentam respostas diferentes quando analisadas isoladamente no gráfico de caixas, mas quando comparadas entre si, demonstram relação de forma paralela. Com base na análise das médias, conclui-se que as ZCL que apresentam maior TA, são para as classes de edificação as ZCL “2/3” com 26,21°C e ZCL “9” com 26,24°C; e para classes de cobertura a ZCL “D” com 26,25°C e ZCL “E” com 26,45°C.

Na amostra de dados, correspondente aos pontos de coleta do transecto, a classe “D” é pela qual menos houve passagem ao longo da rota. Esse fato explica



o porquê de a temperatura do ar ser tão significativa em uma área com cobertura vegetal do solo. O único ponto de passagem do trajeto pela ZCL “D” (ponto 121/122) está próximo a zonas de maior temperatura do ar, como a ZCL “5/6”, o que influenciou no resultado médio da classe “D”. Devido a essas minuciosidades na análise das médias dos pontos do transecto, foram realizadas análises mais aprofundadas com as demais variáveis, levando em consideração todo o limite municipal.

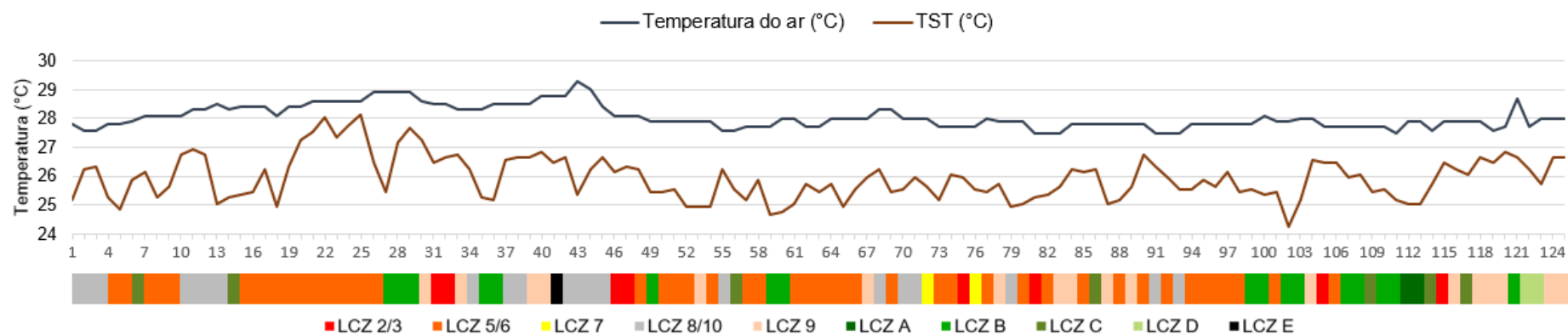
## **8.2 Análise visual de dados pontuais ao longo do transecto**

No perfil longitudinal do transecto móvel evidencia-se a TA a TST de forma paralela às classes de ZCL (Gráfico 13). Observa-se a relação entre os trechos mais expressivos para maiores ou menores temperaturas com a classificação. Os picos de temperatura em ambas as variáveis quantitativas (TA e TST) associam-se às classes de ZCL “2/3” e “5/6” e “8/10”, as quais apresentam maior admissão térmica dos materiais.

Com base no perfil longitudinal para as variáveis de temperatura é possível visualizar melhor a relação com a morfologia da área de estudo. Para a TA, valores mais altos como 29°C estão associados a classe ZCL “8/10”, a qual conforma padrões construtivos de maior extensão e admissão térmica, existentes ao longo da rodovia BR-116, como indústrias, containers e galpões. Para a TST os picos de temperatura ao longo do transecto, se relacionam a áreas com ZCL dos tipos “5/6”, “9” e também “8/10”, as quais representam a atividade urbana e a presença de loteamentos, com construções de baixa e média altura com existência de pavimentação das ruas.

A classe de edificações que mais repercute é a 5/6, e mesmo com a urbanização crescente, o município tem poucas áreas com presença de edificações compactas e sem arborização, o que demonstra que a presença de vegetação nas reentrâncias do urbano é efetiva.

Gráfico 12 - Perfil Longitudinal dos Transectos Móveis - TA e TST (°C) por tipo de ZCL



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

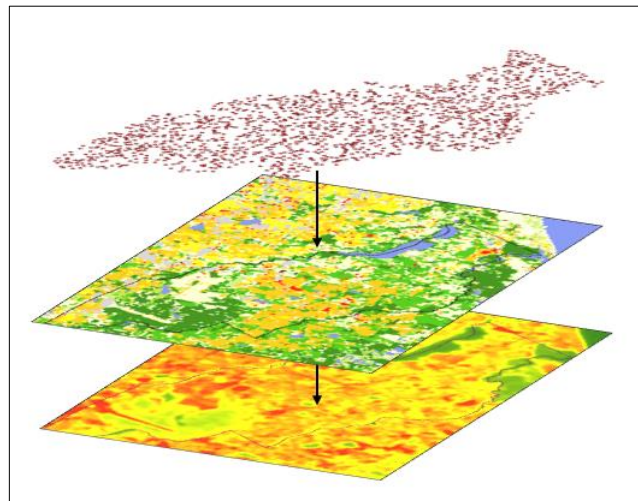
Com base nesses resultados, o ponto 43 representa um núcleo de calor dentro do ambiente estudado, uma vez que corresponde ao pico de temperatura coletada ao longo do percurso, com 29,3°C. Tal dado foi coletado no bairro Tamatanduba, que engloba equipamentos urbanos como comércios, shoppings e residências, e ainda detém fluxo de pessoas e veículos regularmente, sobretudo em horários de pico, como as 18h da noite.

Os pontos com menores Temperatura do Ar se encontram no bairro Pires Façanha (ponto 82), ao longo do transecto. Apresenta 27,5°C de TA e corresponde a uma área com ZCL predominante do tipo “9”, a qual apresenta menor densidade de edificações.

### 8.3 Zonas Climáticas Locais e TST

Conforme verificado no tópico anterior, existe uma relação entre os dados pontuais de TST com a distribuição das classes de ZCL ao longo do trajeto realizado no transecto móvel. Para essa mesma análise levando em consideração toda a área do município, foram extraídas informações de ZCL e TST de 1500 pontos aleatoriamente distribuídos perfazendo todos os bairros (Figura 33).

Figura 33 - Amostra de pontos aleatórios para todo o município



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A tabela 7 mostra as TSTs médias, mínimas e máximas para cada ZCL existente em Eusébio.

Tabela 7 - TST em °C por Zona Climática Local

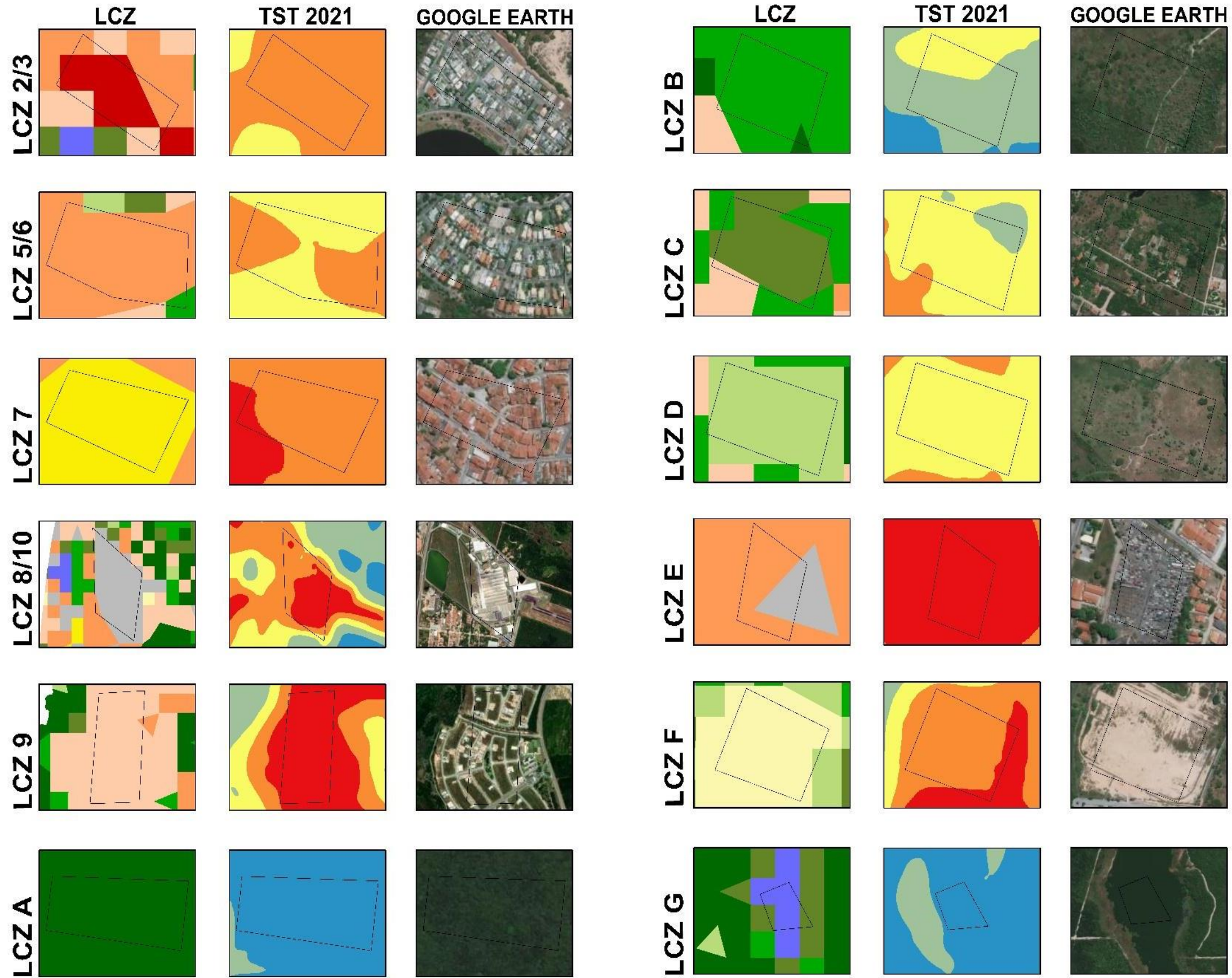
<b>DADOS DE TST (°C) POR ZCL</b>			
<b>ZCL</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
ZCL 2/3	31,60	30,58	32,16
ZCL 5/6	31,16	28,29	33,71
ZCL 7	31,38	30,31	31,87
ZCL 8/10	32,27	29,45	35,03
ZCL 9	31,11	24,84	34,99
ZCL A	28,24	24,98	32,13
ZCL B	30,54	25,45	35,37
ZCL C	30,48	26,33	34,77
ZCL D	31,57	27,72	36,11
ZCL F	31,47	28,64	33,01
ZCL G	25,68	24,15	30,54

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Na ZCL “8/10” foram identificadas as maiores médias de TSTs, destacada em vermelho na tabela acima. Essa classe evidencia a presença de indústrias e construções com cimento, galpões de alumínio e ausência de cobertura vegetal do solo, assim como inexistência de árvores. Em azul, destaca-se a ZCL “A” que obteve a segunda menor TST, isso porque essa classe abrange áreas densamente vegetadas, com árvores de maior porte, dentro das características vegetacionais da área de estudo. A ZCL “G” corresponde a áreas de corpos hídricos, portanto é evidenciada aqui como a classe com menor TST.

Na figura 34 são verificadas as associações referidas, evidenciando as maiores TSTs em áreas com classes de edificações com baixa densidade vegetal e cobertura de solo exposto. Enquanto as menores temperaturas superficiais relacionam-se a áreas densamente vegetadas e a zonas com corpos hídricos. É possível evidenciar a relação visual entre as variáveis, associando-se ao tipo de cobertura do solo e aos tipos edificados.

Figura 34 - Zonas Climáticas Locais e Temperatura Superficial em Eusébio/CE



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

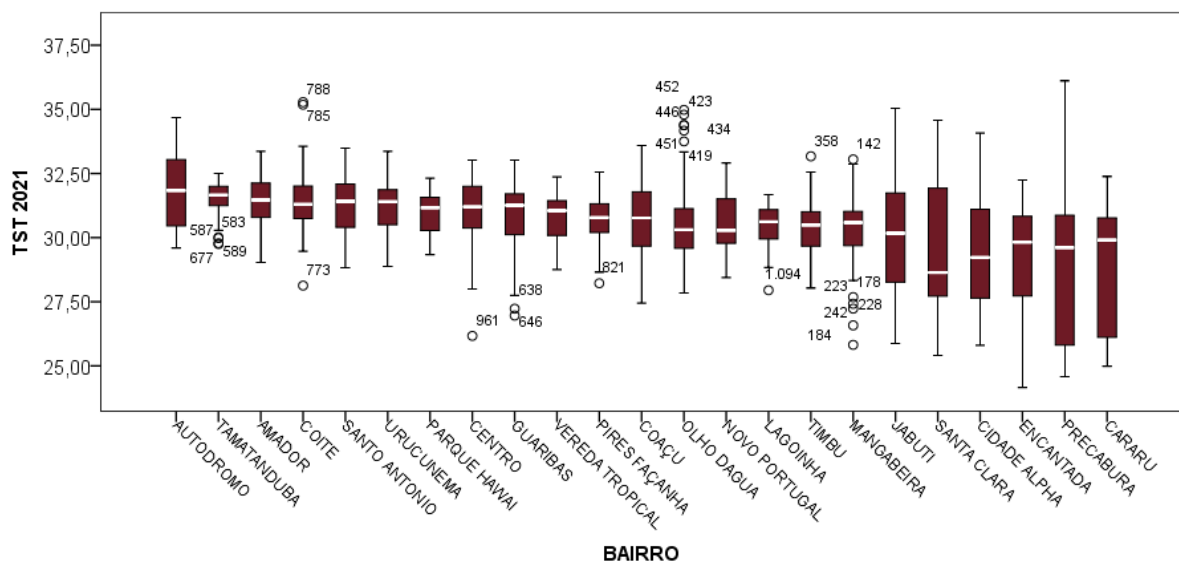
#### 8.4 TST por bairro em Eusébio

De acordo com o Gráfico 14 e com a Tabela 8, os 5 bairros que apresentaram maior abrangência das médias de TSTs mais altas foram o Autódromo, Tamatanduba, Amador, Coité e Santo Antônio. O bairro Autódromo comporta razoável quantidade de empresas e fábricas no município, equipamentos que influenciam no aumento da TST devido ao material utilizado nessas construções, como ferro e alumínio.

Os bairros Tamatanduba, Amador e Coité sofrem influência da presença de shoppings e estão no entorno da rodovia CE-040, principal via de acesso que liga Eusébio a Fortaleza. Além do fluxo de pessoas e veículos, nesta área há também a presença de condomínios horizontais. O bairro Coité também está próximo a uma área em constante processo de supressão vegetal para a abertura de loteamentos, fato que promove a exposição do solo e consequentemente o aumento da TST.

O Santo Antônio fica localizado ao sul do município e é contornado em parte de sua delimitação espacial pela BR-116, local identificado nesta pesquisa como um dos maiores núcleos de calor, devido ao fluxo de veículos pesados e presença de fábricas e indústrias, as quais produzem gases poluentes na atmosfera e interferem na circulação do ar, impedindo o resfriamento das superfícies dispostas.

Gráfico 13 - Boxplots TST por bairros em 2021



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Em contraste, os 5 bairros com menores médias de TST são o Jabuti, Cidade Alpha, Encantada, Precabura e Cararu. Os dois primeiros abrangem a maior área densamente vegetada ao sul do município. Embora parte da área desses bairros esteja interligada à cidade de Fortaleza pela BR-116, os corpos hídricos e a presença de vegetação em sua extensão colaboram para o resfriamento das superfícies, fazendo com que estas áreas se tornem núcleos de frescor em uma considerável escala espacial.

Tabela 8 - TST em °C por Bairro

<b>DADOS DE TST (°C) POR BAIRRO</b>			
<b>BAIRRO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
Santa Clara	29,65	25,4	34,57
Autódromo	31,81	29,59	34,69
Tamatanduba	31,47	29,75	32,5
Amador	31,42	29,04	33,36
Coite	31,41	28,13	35,28
Santo Antônio	31,27	28,82	33,49
Urucunema	31,21	28,87	33,36
Parque Hawaii	30,96	29,33	32,32
Centro	30,95	26,17	33,01
Guaribas	30,86	26,96	33,01
Vereda Tropical	30,78	28,75	32,37
Pires Façanha	30,71	28,22	32,56
Coaçú	30,65	27,45	33,6
Olho Dagua	30,5	27,83	34,98
Novo Portugal	30,47	28,44	32,9
Lagoinha	30,39	27,95	31,67
Timbu	30,35	28,03	33,17
Mangabeira	30,33	25,82	33,05
Jabuti	30,3	25,88	35,03
Cidade Alpha	29,57	25,8	34,08
Encantada	29,01	24,15	32,24

Precabura	28,98	24,58	36,11
Cararu	28,79	24,98	32,38

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O bairro Cidade Alpha apresenta exposição do solo devido a abertura de loteamentos para a construção de condomínios, entretanto, tais construções se tornam “oásis” dentro da área vegetada especificada anteriormente. Esse fato reitera os interesses imobiliários sobre áreas de vegetação e próximas a corpos hídricos.

De igual forma, os bairros Encantada, Precabura e Cararu se encontram em torno de extensos corpos hídricos, como a Lagoa da Sabiaguaba e o Rio Pacoti, além de estarem mais próximos do litoral leste de Fortaleza, ao norte do município. Tais posicionamentos espaciais culminam na geração de brisas sobre esses bairros, amenizando os efeitos do urbano que influem na Temperatura Superficial.

### **8.5 ZCL por bairro em Eusébio**

As classes de Zonas Climáticas Locais identificadas ao longo do limite municipal de Eusebio são dispostas em conformidade com a Temperatura Superficial em determinados níveis, como já especificado anteriormente. Foram definidos os percentuais de cada classe existente em cada bairro por meio da amostra de dados de 1500 pontos aleatórios estabelecida, e identificados os bairros com características morfológicas urbanas de edificação e cobertura da terra que mais influenciam nas baixas e altas temperaturas, caracterizando zonas susceptíveis a formação de Ilhas de Calor, bem como áreas com a presença de Ilhas de Frescor.

Como é possível observar na tabela 9, os bairros não possuem todas as classes definidas para Eusébio, evidenciando que cada bairro é específico dentro da análise das ZCLs. Destacados em laranja, são os percentuais de maior abrangência dentro de cada bairro, e de verde claro, os menores percentuais de dados referentes a distribuição da ZCL.



Tabela 9 - ZCL por bairro em Eusébio (%)

DISTRIBUIÇÃO DE ZCL POR BAIRRO EM %											
BAIRROS	ZCL 2/3	ZCL 5/6	ZCL 7	ZCL 8/10	ZCL 9	ZCL A	ZCL B	ZCL C	ZCL D	ZCL F	ZCL G
AMADOR		46,4%			32,1%		17,9%		3,6%		
AUTODROMO		6,2%	18,8%	18,8%	37,5%		12,5%	6,2%			
CARARU	2,9%	24,3%			15,7%	32,9%	12,9%			2,9%	8,6%
CENTRO		76,6%				1,6%	15,6%	3,1%			3,1%
CIDADE ALPHA				2,0%	25,1%	51,0%	8,6%	8,2%	1,6%	0,4%	3,1%
COAÇU		17,3%	1,3%	5,3%	42,7%	1,3%	24,0%	4,0%	1,3%		2,7%
COITE		62,3%			9,4%	5,7%	13,2%	1,9%	7,5%		
ENCANTADA		1,6%			28,1%	20,3%	34,4%	1,6%	4,7%	1,6%	7,8%
GUARIBAS	1,8%	52,7%			5,5%	7,3%	29,1%			1,8%	1,8%
JABUTI		21,1%	3,4%	6,8%	14,3%	43,5%	6,8%	1,4%	1,4%		1,4%
LAGOINHA		75,0%				10,0%	15,0%				
MANGABEIRA		2,9%			45,7%	10,0%	31,4%	8,6%		1,4%	
NOVO PORT.					5,9%	47,1%	47,1%				
OLHO DAGUA		6,5%			24,7%	12,9%	43,0%	1,1%	11,8%		
PARQUE HAWAI		95,0%					5,0%				
PIRES FAÇANHA		46,9%			6,1%	8,2%	36,7%		2,0%		
PRECABURA					19,6%	9,8%	34,8%	2,7%	5,4%	2,7%	25,0%
SANTA CLARA		10,0%		30,0%	20,0%	5,0%	35,0%				
SANTO ANTONIO		47,1%		5,9%	5,9%	11,8%	2,9%	17,6%	8,8%		
TAMATANDUBA		58,1%		3,2%	19,4%		19,4%				
TIMBU		22,2%			11,1%	2,5%	58,0%	4,9%		1,2%	
URUCUNEMA		54,3%			2,2%	6,5%	30,4%	6,5%			
VEREDA TROPICAL		76,9%					23,1%				

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A classe ZCL “2/3” ocupa menor percentual dentro da área de estudo, é encontrada apenas nos bairros Cararu e Guaribas na amostra de dados coletada. E ainda assim, corresponde a 2,9% e 1,8% da área dos bairros, respectivamente. A presença dessa classe nesses bairros diz respeito a existência pontual de edificações de maior porte e ausência de vegetação.

Em contraste, a classe de ZCL “5/6” encontra-se presente em 20 do total de 23 bairros do município, sendo o bairro Parque Hawaii o que abrange 95% dos dados referentes a esta classe em seu território. Este bairro está localizado próximo aos bairros Centro e Vereda Tropical, os quais apresentam respectivamente, 76,6% e 76,9% da classe dentro da sua delimitação. Tais localidades incorporam características de edificações baixas e médias, com vias pavimentadas e presença de áreas verdes ou arborização. Esta classe de edificações é a que prevalece no município, como explicitado no tópico 8 deste trabalho, sendo os maiores percentuais encontrados também nos bairros Lagoinha (75,0%), Coité (62,3%), Tamatanduba (58,1%), Urucunema (54,3%), Guaribas (52,7%), Santo Antônio (47,1%), Pires Façanha (46,9%), Amador (46,4%) e Cararu (24,3%).

A classe de edificações ZCL “9” é também representativa em parte dos bairros de Eusébio, caracterizada pelas edificações esparsas, presença de pouca vegetação e exposição do solo, encontra-se em 45,7% dos dados para o bairro Mangabeira, 42,7% no Coaçu e 37,5% no bairro Autódromo.

Para as classes de cobertura do solo, as ZCLs “A” e “B” são as únicas representativas (de maior abrangência) em alguns bairros. A ZCL “A”, a qual apresenta densidade vegetacional, engloba 51% dos dados coletados no bairro Cidade Alpha, como já evidenciado anteriormente, esse bairro está localizado na área de maior densidade de vegetação ao sul do município. Em seguida, o bairro Novo Portugal dispõe de 47,1% dos dados referentes a esta classe, o mesmo está localizado no limite com o município de Aquiraz, e possui ainda a presença de áreas vegetadas de baixa e alta densidade em sua totalidade, sendo escassa a presença de urbanização intensa. E com 43,5% dos dados, o bairro Jabuti também é contemplado com áreas de características vegetais abundantes, por estar localizado próximo à área sul do município, assim como o Cidade Alpha.

A ZCL “B” é a única que está presente em todos os bairros, é encontrada demasiadamente no bairro Timbú, com 58% dos dados coletados para tal. Essa classe corresponde ao tipo de cobertura de vegetação esparsa, com presença de

poucas árvores e pouca ou nenhuma pavimentação asfáltica. O bairro Novo Portugal é o segundo com maior percentual dessa classe, com 47,1% ele apresenta-se como o bairro com menor percentual de área edificada. O bairro Olho D'Água tem 43% dos dados correspondentes a essa classe, se apresentando também como um dos bairros com menos edificações.

Os bairros com maior porcentagem da classe ZCL "5/6" foram, em ordem decrescente de valor, o Parque Hawai com 95%, o Vereda Tropical com 76,9, o Centro com 76,6%, o Lagoinha com 75% e o Tamatanduba com 58,1%. De acordo com as análises desenvolvidas ao longo da pesquisa, estes bairros contemplam a existência de maior aglomerado de construções de baixa e média altura, com a presença de arborização e densidade populacional.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa evidenciou que o processo de especulação imobiliária se estabelece como vetor principal de crescimento urbano em Eusébio. A existência de áreas verdes e corpos hídricos, além da proximidade com a capital, Fortaleza, tornou-se atrativo para moradias a partir da emancipação do município, em 1990 (SILVEIRA, E., & SALES, M. C. L. 2011).

As áreas localizadas em torno das rodovias principais de acesso a Fortaleza, como a CE-040, foram classificadas pela presença de moradias e serviços de bens e consumo. A classe de ZCL que abrange as áreas com maior fluxo antropogênico e presença de edificações residenciais e comerciais é a ZCL “5/6”. 12 dos 23 bairros possuem maior percentual relativo a esta classe. Os resultados demonstraram que estas áreas abrangem núcleos de calor superficial e atmosférico, como no bairro Tamatanduba, onde há a presença de shopping, serviços e condomínios residenciais. A área com maior densidade urbana se encontra distribuída na região central do município, em torno da rodovia CE-040, apresentando residências em sua maioria de baixa e média altura.

Com os transectos móveis foi possível identificar picos de calor em um trecho específico, relacionado ao bairro Tamatanduba. Algumas limitações para o uso de transectos para a análise de Temperatura do Ar se encontra na distribuição de vias de acesso existentes na área de estudo, tendo em vista a insegurança do pesquisador em optar por rotas alternativas. Outro fator que deve ser destacado é a pontualidade e linearidade espacial dos dados do percurso, sendo impossibilitada a interpolação para toda a área estudada. Uma alternativa para esta limitação pode ser o estabelecimento de rotas com pontos de coleta distribuídos de forma aleatória no espaço, o que deve ser contemplado com a existência de rodovias que possibilitem o trajeto.

Observou-se que a formação de Ilhas de Calor demanda outros fatores para seu estabelecimento que vão além da temperatura atmosférica, como a influência de ZCLs vizinhas e a Temperatura Superficial, por exemplo. A Temperatura Superficial Terrestre se mostrou uma metodologia complementar às análises termais no ambiente urbano, evidenciando padrões entre os valores de TA e valores de TST, que variam de 1,45°C e 2,85°C. Com base nesse dado, é possível inferir estatísticas em torno de dados de TST para a mensuração de dados TA,

tornando-se uma alternativa na ausência de dados locais de Temperatura do Ar. A análise da TST por si só não contempla as minuciosidades da dinâmica termal, devido ao caráter dinâmico das trocas de calor no ambiente urbano, mas é fundamental na identificação de áreas que sofreram modificações expressivas temporalmente.

As ZCLs apontam como se estrutura a morfologia de Eusébio, evidenciando-o como um município com demasiada presença de vegetação e com características de urbanização de crescimento horizontal, tendo em vista a escassa existência de edifícios com mais de 3 andares. Os corpos hídricos existentes no município de Eusébio possuem em seu entorno áreas vegetadas, característica que intensifica a geração de zonas mais amenas termicamente. O riacho Coaçu e o rio Pacoti exercem efeito de resfriamento do ar próximo ao espelho d'água e concomitante a isso, a vegetação existente no entorno promove o sombreamento e influencia diretamente na ventilação do local, ressaltando-se a importância da manutenção desses recursos naturais para a devida regulação dos serviços ecossistêmicos.

Embora o município apresente pavimentação em diversas vias, a classificação ZCL aponta a classe "E" como uma das menos frequentes, tal fato se deve a escala espacial da classificação ZCL (100m) e a interferência da presença de arborização em torno das ruas e avenidas em maior parte do município, como pode ser evidenciado pela alta porcentagem de áreas vegetadas.

Observou-se que a classe de edificações de média e baixa altura, com pavimentação e ocorrência de vegetação esparsa é significativa na área urbanizada. Para todo o município a presença de vegetação esparsa ou de baixo porte é predominante. Tais resultados culminam no fomento a preservação das áreas vegetadas com o manejo adequado atrelado ao processo de crescimento urbano. A identificação de áreas que formam núcleos de calor, tanto para Temperatura do Ar quanto TST incentiva medidas de contenção do desconforto térmico no bairro Tamatanduba.

Quanto ao uso dos métodos, com base nas análises realizadas e as metodologias inerentes, destaca-se que é necessário a realização de um número maior de transectos em períodos diferentes do ano para definir melhor uma padronização da diferença em graus de TST para TA, visando desenvolver um modelo de associação entre ambas as variáveis com maior acurácia.

O uso da ferramenta online ZCL Generator demonstrou vantagens quanto ao tipo de classificação baseada no *Random Forest*, o qual gera árvores de decisão fornecendo classes com maior acurácia que os métodos de classificação supervisionada usuais. Uma das limitações desse processamento para as ZCLs é a resolução espacial de 100m que para uma escala micro acaba exacerbando alguns resultados. Ainda assim, para a escala de Eusébio o aplicativo se mostrou eficaz, apresentando nos resultados discrepâncias irrisórias, como foi possível identificar na etapa de investigação da área de estudo em campo, as classes fizeram referência à morfologia urbana e cobertura do solo de Eusébio.

Outro fator a atentar-se na metodologia de classificação da ZCL é em relação a existência de coberturas variáveis na superfície estudada, como características da vegetação ou construções civis, por exemplo, que possuem diferenciações ao longo do ano. Por isso, torna-se importante a análise de outros fatores que caracterizam a morfologia da área de estudo, atendendo-se ao tipo de vegetação existente e sua resposta as condições climáticas intra anuais, bem como a pesquisa em campo para definição de área em processo de modificações antrópicas.

As metodologias de análise do clima urbano são de vasta compreensão, o agrupamento destas proporciona a identificação dos fenômenos que influem no conforto térmico e conseqüentemente no bem estar da sociedade nos crescentes ambientes urbanos. A TST atrelada a análise da TA e ZCL é uma ferramenta poderosa no campo da climatologia, uma vez que abarca a necessidade de análises além da coleta de dados locais.

Diante das análises realizadas nesta pesquisa conclui-se que a dinâmica de expansão urbana do município se dá pela busca por moradias próximas a ambientes naturais, e esse processo antecede a implementação de infraestrutura urbana e serviços, e posterior a esse processo, os atrativos imobiliários são fomentados ainda mais, resultando em um ciclo de crescimento. Como visto, é possível inferir com base na análise temporal de 20 anos que já existem mudanças térmicas significativas que acompanham o processo de modificação da morfologia de Eusébio.

A análise da morfologia urbana realizada através deste trabalho contempla o conceito de paisagem urbana, mais estritamente relacionada a noção de rugosidades, definida por Santos (2012) como “o que fica do passado como

forma, espaço construído, paisagem, o que resta do processo de supressão, acumulação, superposição, com que as coisas se substituem e acumulam em todos os lugares”, desse modo, as características inerentes a tal conceito geográfico contempla a dinâmica de modificações no ambiente em urbanização e os processos que envolvem o capital e o social na construção das cidades. Nesta perspectiva, este trabalho também fornece arcabouço teórico e metodológico da geografia física à discussões mais aprofundadas sobre os modos de produção que influenciam a dinâmica de urbanização.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade et al. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 7, 2009.
- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2019.
- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; NETO, João Lima Sant'Anna; DUBREUIL, Vincent. Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 em cidade tropical. **Revista de Geografía Norte Grande**, n. 43, p. 65-80, 2009.
- ASSIS, DC de et al. Mensuração de ilhas de calor em juiz de fora com uso de transecto móvel. **XII SBCG, Goiânia. Anais. Goiânia: UFG**, p. 1553-1564, 2016.
- AYOADE, Johnson Olaniyi. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Difel, 1988.
- BARROS, Hugo Rogério; LOMBARDO, Magda Adelaide. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de São Paulo-SP. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016.
- BECHTEL, Benjamin et al. Generating WUDAPT Level 0 data—Current status of production and evaluation. **Urban climate**, v. 27, p. 24-45, 2019.
- BELGIU, Mariana; DRĂGUȚ, Lucian. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. **ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing**, v. 114, p. 24-31, 2016.
- CARDOSO, Renata; AMORIM, Margarete. Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão. **GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 12, p. 75, 2017.
- CEARÁ. Assembleia Legislativa. Constituição (1991). Lei nº 11.845, de 07 de agosto de 1991. **Define a Região Metropolitana e Microrregiões do Estado do Ceará. Fortaleza, CE, 05 ago. 1991.**
- CHEN, Hung-Chu; HAN, Qi; DE VRIES, Bauke. Modeling the spatial relation between urban morphology, land surface temperature and urban energy demand. **Sustainable Cities and Society**, v. 60, p. 102246, 2020.
- CILEK, Muge Unal; CILEK, Ahmet. Analyses of land surface temperature (LST) variability among local climate zones (LCZs) comparing Landsat-8 and ENVI-met model data. **Sustainable Cities and Society**, v. 69, p. 102877, 2021.



COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Atlas dos Recursos Hídricos do Ceará**. 2022. Disponível em: <http://atlas.cogerh.com.br/>. Acesso em: 26 fev 2022.

COSTA, Marco Aurélio Organizador; PANTOJA, Igor Organizador; MARGUTI, Bárbara Oliveira Organizadora. Relatos e estudos de caso da gestão metropolitana no Brasil. 2014.

COSTA, Marco Aurélio Organizador; TSUKUMO, Isadora Tami Lemos Organizador. 40 anos de regiões metropolitanas no Brasil. 2013.

DE GODOI PINTON, Leandro et al. Magnitudes Do Fenômeno Da Ilha De Calor Urbana Em Sacramento (Mg): Perspectivas De Aplicação Do Sistema Das Zonas Climáticas Locais Em Cidade De Pequeno Porte. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 79, p. 161-179, 2021.

DE OLIVEIRA MOURA, Marcelo; ZANELLA, Maria Elisa; SALES, Marta Celina Linhares. Ilhas térmicas na cidade de Fortaleza/CE. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 33-45, 2008.

DE SOUSA, Silvio Braz; JÚNIOR, Laerte Guimarães Ferreira. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 26, 2012.

DE SOUZA ESTEVÃO, Gabriela; DE ALBUQUERQUE, Gabriella Saraiva; SILVA, Mirelle Oliveira. Análise Dos Constrastes Térmicos Em Episódios De Inverno E Verão Em Juazeiro Do Norte, Ceará. **Revista GeoUECE**, v. 9, n. 17, p. 169-185, 2020.

DEMUZERE, Matthias et al. Combining expert and crowd-sourced training data to map urban form and functions for the continental US. **Scientific data**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2020.

DEMUZERE, Matthias; KITTNER, Jonas; BECHTEL, Benjamin. LCZ Generator: A web application to create Local Climate Zone maps. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 637455, 2021.

DOS SANTOS CARDOSO, Renata; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Análisis de la isla de calor urbano utilizando el sistema de 'zona climática local' en Presidente Prudente, Brasil. **Investigaciones Geográficas**, n. 69, p. 107-118, 2018.

FÁVERO, Luiz Paulo; BELFIORE, Patrícia. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®**. Elsevier Brasil, 2017.

FERREIRA, Antonio Geraldo; DA SILVA MELLO, Namir Giovanni. 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.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA. Fortaleza. **Postos Pluviométricos**. Fortaleza. 2021. Disponível em: [http://www.funceme.br/?page\\_id=2694](http://www.funceme.br/?page_id=2694). Acesso em: 26 jan. 2022.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos. 2010.

GHENO, Evaldo Luiz; DE FRANÇA, Mauro Sergio; MAITELLI, Gilda Tomasini. Variações Microclimáticas na Área Urbana de Sinop/MT no final da estação chuvosa. **Educação, Cultura e Sociedade**, v. 2, p. 139-153, 2012.

GORELICK, Noel et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 15 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama**. Eusébio. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/Eusébio/panorama>. Acesso em: 15/2/2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil**. Brasília – DF. 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em 04 jun 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais: Banco de dados de imagem**. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goesmet.formulario.logic>. Acesso em: 26 fev. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021. The Physical Science Basis**. 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCCAR6WGIFullReport.pdf>. Acesso em: 23 ago 2021.

JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

JÚNIOR, Marcos de Oliveira Valin; DE MOURA SANTOS, Flávia Maria. Levantamento Bibliográfico Da Utilização De Transectos Em Pesquisas De Clima Urbano No Brasil E Recomendações De Padronização Nos Procedimentos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.

KOTTEK, Markus et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. 2006.

LCZ GENERATOR. **Fast and easy Local Climate Zone mapping**. Disponível em: <https://lcz-generator.rub.de/>. Acesso em: 01 mar 2022.

LIMA JÚNIOR, Antonio Ferreira. **Análise espaço-temporal da dengue em Fortaleza e sua relação com o clima urbano e variáveis socioambientais**. 2018. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

LIN, Pingying et al. The impact of urban design descriptors on outdoor thermal environment: A literature review. **Energies**, v. 10, n. 12, p. 2151, 2017.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília, Brasília**, 2012.

MINAKI, Cíntia; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Análise da temperatura e da umidade relativa do ar na primavera-verão em Araçatuba/SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, 2013.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo, MENDONÇA, Francisco de Assis. **Clima urbano**. 2 ed. São Paulo: Contexto. 2011.

MORO, Marcelo Freire et al. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, v. 66, p. 717-743, 2015.

MOURA, Tereza et al. Mapeando as condições de conforto térmico em Salvador. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, v. 7, n. 1, 2006.

NOAA NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION. State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2021. 2022.

NOGUEIRA, C. M. L. **Expansão metropolitana e dinâmica imobiliária: o município de Eusébio no contexto da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF)**. 2011. 151 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geografia, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

OKE, Timothy R. et al. **Urban climates**. Cambridge University Press, 2017.

OLIVEIRA, Jorge Ricardo Felix de. **O clima da cidade de Caucaia-CE sob uma perspectiva termodinâmica**. 2014. 100 f. Dissertação (Mestrado em geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2014.

OLIVEIRA, Jorge Ricardo Felix 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.

PERIN, Edenir Bagio et al. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos mais eficientes. **Geografia**, v. 40, n. 2, p. 269-289, 2015.

PORANGABA, Gislene Figueiredo Ortiz; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Análise de ilhas de calor diagnosticadas por meio de transectos móveis em Assis, Cândido Mota, Maracá e Tarumã (SP). **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 33, 2017.

PREFEITURA DE EUSÉBIO. **Notícias**. Eusébio. 2022. Disponível em: <http://Eusébio.ce.gov.br/>. Acesso em: 16 fev 2022.

QIU, Kuanbiao; JIA, Baoquan. The roles of landscape both inside the park and the surroundings in park cooling effect. **Sustainable Cities and Society**, v. 52, p. 101864, 2020.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente Da; CAVALCANTI, Agostinho de Paula Brito. Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 2022.

RODRÍGUEZ, Laura Romero et al. Analyzing the urban heat Island: Comprehensive methodology for data gathering and optimal design of mobile transects. **Sustainable Cities and Society**, v. 55, p. 102027, 2020.

ROVANI, Franciele Francisca Marmentini *et al.* Ilhas de Calor e Frescor Urbanas no Bairro Camobi, Santa Maria/RS, em Situação Atmosférica de Domínio da Massa Polar Atlântica no Inverno. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, 2010.

SACHS, Lothar. **Applied statistics: a handbook of techniques**. Springer Science & Business Media, 2012.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da climatologia geográfica à geografia do clima: gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. **Revista da ANPEGE**, n. 4, p. 61-88, 2008.

SANTOS, Milton. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo. Razão e Emoção**. 4. Ed 7ª reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. 5 ed. Hucitec: São Paulo. 2005, 174p.

SCHWARZ, Nina *et al.* Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators—An application for the city of Leipzig (Germany). **Ecological indicators**, v. 18, p. 693-704, 2012.

SILVEIRA, A. E. G. **Impactos socioambientais da implantação dos loteamentos fechados e condomínios horizontais no município de Eusébio, Ceará**. 2012. 145 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SILVEIRA, E. G.; SALES, Marta Celina Linhares. De território de passagem ao lugar de moradia definitiva: a urbanização recente do município do Eusebio, Ceará. **Rio de Janeiro: ENAMPUR**, 2011.

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

STEWART, Ian D.; OKE, Tim R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat Satellite Missions**. EUA. 2022. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>. Acesso em: 11 fev 2022.

UNITED, Nations et al. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. **Online Edition**, 2018.

VON BERTALANFFY, Ludwig. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1975.

VOOGT, James A.; OKE, Tim R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote sensing of environment**, v. 86, n. 3, p. 370-384, 2003.

ZANELLA, Maria Elisa. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014.

ZAVATTINI, Joao Afonso. O paradigma da análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira. **Geografia**, p. 25-44, 2000.