



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

**FRANCISCA MAIRLA GOMES BRASILEIRO**

**MAPEAMENTO TÉRMICO URBANO DE CIDADES SEMIÁRIDAS DE MÉDIO  
PORTE: UMA ANÁLISE APLICADA À REALIDADE DE SOBRAL, COMO  
SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO CLIMÁTICO URBANO LOCAL**

**FORTALEZA**

**2023**

FRANCISCA MAIRLA GOMES BRASILEIRO

MAPEAMENTO TÉRMICO URBANO DE CIDADES SEMIÁRIDAS DE MÉDIO PORTE:  
UMA ANÁLISE APLICADA À REALIDADE DE SOBRAL, COMO SUBSÍDIO AO  
PLANEJAMENTO CLIMÁTICO URBANO LOCAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Centro de Ciências, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Geografia. Área de concentração: Dinâmica Territorial e Ambiental.

Orientadora: Profª. Dra. Maria Elisa Zanella.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Sistema de Bibliotecas

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

---

- B83m Brasileiro, Francisca Mairla Gomes.  
Mapeamento térmico urbano de cidades semiáridas de médio porte: uma análise aplicada à realidade de Sobral, como subsídio ao planejamento climático urbano local / Francisca Mairla Gomes Brasileiro. – 2023.  
239 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Maria Elisa Zanella.
1. Clima Urbano. 2. Ilhas de Calor. 3. Cidades Médias Semiáridas. 4. Planejamento Urbano e Climático. I. Título.

CDD 910

---

FRANCISCA MAIRLA GOMES BRASILEIRO

MAPEAMENTO TÉRMICO URBANO DE CIDADES SEMIÁRIDAS DE MÉDIO PORTE:  
UMA ANÁLISE APLICADA À REALIDADE DE SOBRAL, COMO SUBSÍDIO AO  
PLANEJAMENTO CLIMÁTICO URBANO LOCAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Centro de Ciências, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de doutora em Geografia. Área de concentração: Dinâmica Territorial e Ambiental.

Aprovada em: 18/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Profª. Dra. Maria Elisa Zanella (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profª. Dra. Marta Celina Linhares Sales  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profª. Dra. Cássia de Castro Martins Ferreira  
Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

---

Profª. Dra. Gislaine Cristina Luiz  
Universidade Federal de Goiás (UFG)

---

Prof. Dr. Jander Barbosa Monteiro  
Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

Aos que estiveram e estão ao meu lado  
A minha avó Maria de Fátima - Dadá (*in  
memoriam*)

## AGRADECIMENTOS

Ser grato é uma ação necessária, significa reconhecer a importância das boas ações e a contribuição dos sujeitos no processo de construção de algo. Portanto, minha mais profunda gratidão a todos que contribuíram de alguma forma com esse trabalho ou com o caminho percorrido até aqui.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela saúde e a inspiração necessária à elaboração do trabalho. Não foi fácil desenvolver boa parte da pesquisa em meio a uma pandemia global, que ceifou a vida de pessoas tão amadas, e finalizar o trabalho em um mundo pós-pandêmico, driblando as dificuldades enfrentadas nesse novo cenário. Somente a fé para nos manter firmes e fortes na caminhada.

À minha família pelo apoio incondicional, por me amarem além de rótulos e serem sempre meu porto seguro. Aos meus pais, Paulo Mendes e Valdene Gomes, pelos ensinamentos e por serem exemplos de vida, gratidão por caminharem junto comigo na realização dos meus sonhos. Ao meu esposo, Julio Cesar Silva, pela parceria na vida, na caminhada acadêmica, nos campos da pesquisa e por sempre ser uma escuta atenciosa, com quem compartilhei minhas angústias, medos e ansiedade.

Aos professores do departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC), por todo o conhecimento ofertado durante o processo formativo da graduação, do mestrado e do doutorado. Sem dúvidas, os seus ensinamentos científicos e de vida me moldaram da melhor forma possível.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia e aos secretários Erandir Araújo e Edilene de Souza, pela dedicação em atender todas as demandas dos discentes com rapidez e profissionalismo.

Aos colegas da turma de doutorado, mesmo que distante devido a pandemia de COVID-19, possibilitaram reflexões, críticas e sugestões para o melhor desenvolvimento do trabalho.

Ao laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos (LCGRH) pelo apoio nas pesquisas desenvolvidas durante o meu trajeto dentro da Universidade Federal do Ceará e pelas partilhas e contribuições com os pesquisadores vinculados ao laboratório. Em especial ao colega Mario Sousa Filho pelo auxílio na atividade de campo e disponibilização das imagens aéreas da cidade captadas por drone.

Aos amigos e amigas que a Geografia me presenteou durante meu caminhar dentro da Universidade Federal do Ceará. Em diferentes momentos vocês foram luz na minha

vida e contribuíram sem dúvidas para as minhas conquistas. Em especial, Claudio Luís, Jessica Freitas, Larissa Gomes, Audivan Ribeiro, José Luís e tantos outros, que mesmo não nomeados estão presentes em minhas mais belas lembranças.

Ao Antônio Lima júnior pela contribuição e ajuda necessária no desenvolvimento desse trabalho. Por sempre ser solícito ao compartilhamento de seus conhecimentos e pela amizade construída ao longo da nossa vivência na academia.

À Lidia Gomes, por compartilhar comigo as dificuldades do início do curso, pelos trabalhos conjuntos desenvolvidos, pela ajuda na atividade de campo, pelas escutas e por sua amizade.

Aos meus conterrâneos, pela torcida e o carinho depositado em mim. Por lutarem para que os nossos jovens sertanejos alcancem novos voos e tenham novas perspectivas de vida, sem deixar de lado suas raízes. Em especial, a Sâmia Silva e a Evilene Abreu que, há dez anos atrás, me apresentou a universidade e suas possibilidades, pois era algo muito distante para a nossa realidade até então.

À Profa. Eliza Zanella, por sua orientação durante o mestrado e o doutorado, por ser essa pessoa generosa e cheia de luz, que nos encaminha da melhor forma possível na pesquisa e nos encoraja a buscar nosso crescimento como profissional/cientista e pessoa.

Aos componentes da banca de qualificação Gabriela Estevão, Jander Monteiro e Jorge Ricardo Oliveira pelas valiosas contribuições para o avanço qualitativo na formatação do trabalho final.

Aos componentes da banca de defesa Marta Celina Sales, Cassia Ferreira, Gislaine Cristina e Jander Monteiro, pelo aceite em contribuir com a avaliação final da tese, sem dúvidas suas contribuições irão fortalecer as discussões engendradas ao longo do trabalho.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) e à Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio institucional e financeiro, que contribuiu para a realização da pesquisa. Em especial pelos financiamentos dos projetos CAPES/PGPSE, Proc. 88887.123947/2016-00: Sistemas Ambientais costeiros e ocupação econômica do Nordeste; CAPES/PRINT, Proc. 88887.312019/2018-00: Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate change; Programa CAPES/FUNCAP, Proc. 88887.165948/2018-00: Apoio às Estratégias de Cooperação Científica do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFC; e PROEX/CAPES, proc. 0348/2021/23038.008387/2021-53: Programa de Excelência Acadêmica.

[...] A investigação do clima urbano em particular não implica uma transposição de axiomas e termos vinculados a um conjunto restrito de fatos climáticos, mas se estende necessariamente aos outros conjuntos comprometidos na natureza urbana. (Mendonça; Monteiro, 2011, p. 16).

## RESUMO

A presente pesquisa buscou avaliar o clima urbano da cidade de Sobral visando diagnosticar as características do ambiente térmico da cidade e propor ações mitigadoras que contribuam para o planejamento climático urbano da urbe. Para tal, a metodologia utilizada teve como base uma revisão bibliográfica e a aplicação de modelos para classificação do clima urbano, a saber, o mapeamento climático urbano (UCMap) e as zonas climáticas locais (LCZ). Associado a essas metodologias, aplicou-se transectos móveis em diferentes tipos de tempo, período seco e chuvoso, para mensurar as condições de temperatura do ar nas variadas feições da paisagem urbana e verificar em campo a acurácia dos mapeamentos. Como resultado, verificou-se que a cidade de Sobral apresenta um clima urbano específico, com a geração de fenômenos climáticos, sobretudo os relacionados ao campo térmico. A construção do UCMap relacionou-se à produção de dez camadas bases e dois mapas sínteses que revelaram as condições climáticas e urbanísticas da cidade, além de enfatizar a distribuição da carga térmica e do potencial dinâmico da urbe. A partir dos mapas sínteses, elaborou-se o mapa de análises climáticas (UC-AnMap) revelando a disposição de oito climatopos na paisagem da cidade, sendo que destes, três contribuem efetivamente para o aumento da temperatura local (climatopos 6 a 8), apresentando uma área coberta de 19,6%. Nota-se que 2,2% dessas feições estão associadas ao fenômeno de ilhas de calor, pois apresentam carga térmica muito alta. Em relação ao mapeamento das LCZs observa-se que Sobral apresenta 12 LCZs, sendo 6 relacionadas aos tipos construídos e 6 relativas aos tipos de coberturas do solo. Dentre as LCZs observa-se o predomínio da LCZ 3, visto que a cidade apresenta grandes zonas associadas a feições horizontais de alta compactação. A partir da identificação das LCZs foi possível realizar uma melhor caracterização da paisagem urbana e dos aspectos climáticos de Sobral. De base dessas informações partiu-se para a comparação com os dados microclimáticos de temperatura do ar, evidenciando para os climatopos baixas temperaturas nas classes próximas de 1 e altas temperaturas nas classes próximas a 8. Nas LCZs as temperaturas apresentaram maior variação e menor correlação devido ao seu caráter zonal, contudo as classes dos tipos construídos prevaleceram com as maiores temperaturas. De modo geral, observou-se que as zonas de maior e menor temperatura do ar relacionam-se ao que foi visualizado nas classificações. A partir da avaliação dos dados térmicos de Sobral, encaminhou-se a proposição de medidas e ações mitigadoras. Desse modo, elaborou-se um mapa de recomendação ao planejamento (UC-ReMap), onde indica-se o nível de impacto térmico e as ações que podem ser implementadas nas diferentes zonas de planejamento

urbano (UCPZ). A respeito desse aspecto, observou-se para Sobral a emergência da aplicação de medidas de intervenção na UCPZ 4, visto seu potencial para a geração de fenômenos climáticos e intenso desconforto térmico. Portanto, conclui-se que o trabalho possibilitou uma avaliação robusta do ambiente térmico da cidade de Sobral e contribuiu para a identificação de áreas críticas que necessitam de intervenções urbanas e climáticas a curto prazo.

**Palavras-chave:** clima urbano; ilhas de calor; cidades médias semiáridas; planejamento urbano e climático.

## ABSTRACT

The present research sought to evaluate the urban climate of the city of Sobral in order to diagnose the characteristics of the thermal environment of the city and propose mitigating actions that contribute to the urban climate planning of the city. To this end, the methodology used was based on a literature review and the application of models for urban climate classification, namely, urban climate mapping (UCMap) and local climate zones (LCZ). Associated with these methodologies, mobile transects were applied in different types of time, dry and rainy period, to measure the air temperature conditions in the various features of the urban landscape and verify the accuracy of the mappings in the field. As a result, it was found that the city of Sobral has a specific urban climate, with the generation of climatic phenomena, especially those related to the thermal field. The construction of the UCMap was related to the production of ten base layers and two synthesis maps that revealed the climatic and urban conditions of the city, in addition to emphasizing the distribution of the thermal load and the dynamic potential of the city. From the synthesis maps, the climate analysis map (UC-AnMap) was elaborated, revealing the disposition of eight climatopes in the city's landscape, of these, three effectively contribute to the increase in local temperature (climatops 6 to 8), with a covered area of 19.6%. It is noted that 2.2% of these features are associated with the phenomenon of heat islands, as they have a very high thermal load. Regarding the mapping of LCZs, it is observed that Sobral has 12 LCZs, 6 of which are related to the types built and 6 relating to the types of land covers. Among the LCZs, there is a predominance of LCZ 3, since the city has large zones associated with horizontal features of high compaction. From the identification of the LCZ it was possible to better characterize the urban landscape and climatic aspects of Sobral. Based on this information, a comparison was made with the microclimatic data of air temperature, showing for the climatopes low temperatures in classes close to 1 and high temperatures in classes close to 8. In the LCZs, the temperatures showed greater variation and lower correlation due to their zonal character, however, the classes of the constructed types prevailed with the higher temperatures. In general, it was observed that the zones of higher and lowest air temperature are related to what was visualized in the classifications. Based on the evaluation of the thermal data of Sobral, the proposal of mitigating measures and actions was forwarded. Thus, a planning recommendation map (UC-ReMap) was elaborated, where the level of thermal impact is indicated and the actions that can be implemented in the different urban planning zones (UCPZ). Regarding this aspect, it was observed for Sobral the urgency of the application of intervention measures in UCPZ 4,

given its potential for the generation of climatic phenomena and intense thermal discomfort. Therefore, it is concluded that the work enabled a robust evaluation of the thermal environment of the city of Sobral and contributed to the identification of critical areas in need of short-term urban and climate interventions.

**Keywords:** urban climate; heat islands; semi-arid medium cities; urban and climate planning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da cidade de Sobral – CE .....	29
Figura 2 – Esquemática do sky view factor .....	39
Figura 3 – Processos atmosféricos que ocorrem nas escalas espaciais urbanas .....	43
Figura 4 – Representação da atmosfera urbana .....	44
Figura 5 – Exemplos de mapas climáticos urbanos no Brasil .....	54
Figura 6 – Classificação das zonas climáticas locais .....	57
Figura 7 – Proposição de Subclasses LCZ .....	60
Figura 8 – Esquemática dos passos da pesquisa .....	61
Figura 9 – Classificação atribuída a camada altimetria .....	66
Figura 10 – Classificação atribuída a camada volume edificado .....	66
Figura 11 – Classificação atribuída a camada uso do solo .....	68
Figura 12 – Classificação atribuída a camada TST .....	70
Figura 13 – Classificação atribuída a camada espaços verdes .....	71
Figura 14 – Classificação atribuída a camada cobertura do solo .....	72
Figura 15 – Classificação atribuída a camada orientação das vertentes .....	72
Figura 16 – Classificação atribuída a camada vegetação .....	73
Figura 17 – Classificação atribuída a camada declividade .....	74
Figura 18 – Classificação atribuída a subcamada corpos d’água .....	75
Figura 19 – Classificação atribuída a subcamada espaços abertos .....	75
Figura 20 – Classificação atribuída a camada proximidades .....	76
Figura 21 – Reclassificação das classes do UC-AnMap .....	78
Figura 22 – Áreas de treinamento das LCZs em Sobral .....	80
Figura 23 – Fluxograma de obtenção das zonas climáticas pelo aplicativo LCZ Generator .....	81
Figura 24 – Mapeamento da LCZ de Sobral e acurácia das classes mapeadas .....	81

Figura 25 – Imagens representativas do trajeto realizado por meio do Avenza Maps .....	82
Figura 26 – Trajeto do Transecto móvel .....	84
Figura 27 – Termo-higrômetro e abrigo utilizados em campo .....	85
Figura 28 – Divisão em bairros da cidade de Sobral .....	87
Figura 29 – Imagens aéreas da cidade de Sobral .....	88
Figura 30 – Feições da paisagem urbana de Sobral .....	89
Figura 31 – Vegetação na paisagem urbana .....	90
Figura 32 – Imagens da cidade de Sobral na década de 1950 .....	93
Figura 33 – Evolução da mancha urbana de Sobral .....	94
Figura 34 – Deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no ano de 2017 .....	97
Figura 35 – Atuação de um VCAN em 12 de janeiro de 2022 .....	98
Figura 36 – Delimitação da faixa semiárida .....	100
Figura 37 – Mapa de Altimetria da cidade de Sobral .....	109
Figura 38 – Mapa de volume edificado da cidade de Sobral .....	112
Figura 39 – Mapa de uso do solo relativo aos ganhos antropogênicos de Sobral .....	115
Figura 40 – Mapa de Temperatura da superfície da cidade de Sobral .....	117
Figura 41 – Mapa de Espaços Verdes da cidade de Sobral .....	120
Figura 42 – Mapa de cobertura do solo da cidade de Sobral .....	123
Figura 43 – Mapa de Orientação das vertentes da cidade de Sobral .....	125
Figura 44 – Mapa de vegetação da cidade de Sobral .....	128
Figura 45 – Mapa de declividade da cidade de Sobral .....	131
Figura 46 – Mapa das subcamadas corpos d’água e espaços abertos .....	133
Figura 47 – Mapa de proximidades da cidade de Sobral .....	135
Figura 48 – Mapa de Carga Térmica da cidade de Sobral .....	137
Figura 49 – Mapa de Potencial Dinâmico da cidade de Sobral .....	139

Figura 50 – Esquemática do UCMMap de Sobral .....	142
Figura 51 – Mapa de Análises Climáticas (UC-AnMap) da cidade de Sobral .....	143
Figura 52 – Distribuição espacial das classes 1 e 2 .....	147
Figura 53 – Distribuição espacial das classes 3 e 4 .....	148
Figura 54 – Distribuição espacial das classes 5 e 6 .....	149
Figura 55 – Distribuição espacial das classes 7 e 8 .....	150
Figura 56 – Zonas Climáticas Locais (Local Climate Zone – LCZ) da cidade de Sobral/CE .....	153
Figura 57 – Representação da LCZ 2 em Sobral/CE .....	159
Figura 58 – Distribuição espacial da LCZ 2 .....	160
Figura 59 – Representação da LCZ 3 em Sobral/CE .....	161
Figura 60 – Distribuição espacial da LCZ 3 .....	162
Figura 61 – Representação da LCZ 5 <sub>4</sub> em Sobral/CE .....	163
Figura 62 – Distribuição espacial da LCZ 5 <sub>4</sub> .....	164
Figura 63 – Representação da LCZ 6 em Sobral/CE .....	164
Figura 64 – Distribuição espacial da LCZ 6 .....	165
Figura 65 – Representação da LCZ 8 <sub>10</sub> em Sobral/CE .....	166
Figura 66 – Distribuição espacial da LCZ 8 <sub>10</sub> .....	167
Figura 67 – Representação da LCZ 9 em Sobral/CE .....	168
Figura 68 – Distribuição espacial da LCZ 9 .....	168
Figura 69 – Representação da LCZ A em Sobral/CE .....	169
Figura 70 – Distribuição espacial da LCZ A .....	170
Figura 71 – Representação da LCZ B em Sobral/CE .....	171
Figura 72 – Distribuição espacial da LCZ B .....	171
Figura 73 – Representação da LCZ C <sub>d</sub> em Sobral/CE .....	172
Figura 74 – Distribuição espacial da LCZ C <sub>d</sub> .....	173

Figura 75 – Representação da LCZ E em Sobral/CE .....	174
Figura 76 – Distribuição espacial da LCZ E .....	174
Figura 77 – Representação da LCZ F em Sobral/CE .....	175
Figura 78 – Distribuição espacial da LCZ F .....	175
Figura 79 – Representação da LCZ G em Sobral/CE .....	176
Figura 80 – Distribuição espacial da LCZ G .....	177
Figura 81 – Condições atmosféricas referentes as coletas 1 e 2 realizadas no período seco .....	190
Figura 82 – Condições atmosféricas referentes as coletas 1 e 2 realizadas no período chuvoso .....	191
Figura 83 – Condições atmosféricas referentes as coletas 3 e 4 realizadas no período chuvoso .....	192
Figura 84 – Temperatura do ar da cidade de Sobral no período seco .....	194
Figura 85 – Temperatura do ar da cidade de Sobral no período chuvoso (Coletas 1 e 2) ...	202
Figura 86 – Temperatura do ar da cidade de Sobral no período chuvoso (Coletas 3 e 4) ...	204
Figura 87 – Síntese dos pontos mais aquecidos na cidade de Sobral .....	208
Figura 88 – Vias selecionadas para implantação de arborização seguindo as orientações do PlanMOB e PAS .....	215
Figura 89 – Mapa de Recomendações ao Planejamento (UC-ReMap) .....	217

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Distribuição das Temperaturas do Ar média, máxima e mínima (°C) em Sobral (1991-2020) .....	103
Gráfico 2	– Distribuição da umidade relativa do ar (%) e da temperatura média do ar (°C) em Sobral (1991-2020) .....	103
Gráfico 3	– Distribuição da precipitação (mm) e da temperatura média do ar (°C) em Sobral (1991-2020) .....	104
Gráfico 4	– Área coberta pelas classes de Altimetria .....	110
Gráfico 5	– Área coberta pelas classes de Volume edificado .....	113
Gráfico 6	– Área coberta pelas classes de Uso do solo .....	114
Gráfico 7	– Área coberta pelas classes de Temperatura superficial .....	118
Gráfico 8	– Área coberta pelas classes de Espaços verdes .....	121
Gráfico 9	– Área coberta pelas classes de Cobertura do solo .....	122
Gráfico 10	– Área coberta pelas classes de Orientação das vertentes .....	126
Gráfico 11	– Área coberta pelas classes de Vegetação .....	129
Gráfico 12	– Área coberta pelas classes de Declividade .....	130
Gráfico 13	– Área coberta pelas classes de Proximidades .....	134
Gráfico 14	– Área coberta pelas classes de Carga térmica .....	138
Gráfico 15	– Área coberta pelas classes de Potencial dinâmico .....	141
Gráfico 16	– Percentual de área coberta pelas classes do UC-AnMap .....	145
Gráfico 17	– Distribuição das LCZs de Sobral .....	155
Gráfico 18	– Bloxplot da temperatura do ar no período seco .....	180
Gráfico 19	– Frequência de ocorrência das temperaturas do ar (°C) no período seco .....	182
Gráfico 20	– Bloxplot da temperatura do ar no período chuvoso (coletas 1 e 2) .....	184
Gráfico 21	– Frequência de ocorrência das temperaturas do ar (°C) no período chuvoso (coletas 1 e 2) .....	185

Gráfico 22 – Bloxplot da temperatura do ar no período chuvoso (coletas 3 e 4) .....	187
Gráfico 23 – Frequência de ocorrência das temperaturas do ar (°C) no período chuvoso (coletas 3 e 4) .....	189
Gráfico 24 – Distribuição da temperatura do ar no período seco para a coleta 1 e 2, às 21h .....	193
Gráfico 25 – Distribuição da temperatura do ar no período chuvoso para a coleta 1 (18 h) e a coleta 2 (21h) .....	201
Gráfico 26 – Distribuição da temperatura do ar no período chuvoso para a coleta 3 (18 h) e a coleta 4 (21h) .....	203
Gráfico 27 – Distribuição da temperatura média do ar entre o período seco e chuvoso em Sobral- CE .....	206

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Síntese teórica da pesquisa .....	32
Quadro 2	– Classificação das camadas do UC-AnMap .....	106
Quadro 3	– Classificação e avaliação das classes do UC-AnMap .....	144
Quadro 4	– Área ocupada (km <sup>2</sup> ) pelos climatopos por bairro .....	145
Quadro 5	– Área ocupada (km <sup>2</sup> ) pelas LCZs por bairro .....	157
Quadro 6	– Estatística descritiva dos dados coletados no período seco .....	179
Quadro 7	– Valores extremos de temperatura do ar (°C) para o período seco .....	181
Quadro 8	– Descrição da frequência das temperaturas do ar (°C) no período seco .....	182
Quadro 9	– Estatística descritiva dos dados coletados no período chuvoso (coletas 1 e 2) .....	183
Quadro 10	– Valores extremos de temperatura do ar (°C) para o período chuvoso (coletas 1 e 2) .....	185
Quadro 11	– Descrição da frequência das temperaturas do ar (°C) no período chuvoso (coletas 1 e 2) .....	186
Quadro 12	– Estatística descritiva dos dados coletados no período chuvoso (coletas 3 e 4) .....	186
Quadro 13	– Valores extremos de temperatura do ar (°C) para o período chuvoso (coletas 3 e 4) .....	188
Quadro 14	– Descrição da frequência das temperaturas do ar (°C) no período chuvoso (coletas 3 e 4) .....	189
Quadro 15	– Tabulação dos dados dos transectos e das informações do UC-AnMap e LCZ .....	198
Quadro 16	– Temperatura média do ar (°C) entre as classes do UC-AnMap .....	210
Quadro 17	– Temperatura média do ar (°C) entre as classes LCZs .....	211
Quadro 18	– Avaliação UCPZ 1 .....	218
Quadro 19	– Avaliação UCPZ 2 .....	219

Quadro 20 – Avaliação UCPZ 3 .....	220
Quadro 21 – Pontos centrais relacionados a ocorrência da UCPZ 4 .....	221
Quadro 22 – Avaliação UCPZ 4 .....	222

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Área (km <sup>2</sup> ) da malha urbana de Sobral entre 1995 e 2021 .....	95
Tabela 2	–	Dados meteorológicos de Sobral (1991-2020) .....	102
Tabela 3	–	Área das LCZs de Sobral .....	156

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DOLs	Distúrbios Ondulatórios de Leste
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño Oscilação Sul
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Ilha de Calor
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
LCZ	Local Climate Zones
mEa	Massa Equatorial Atlântica
MDE	Modelo Digital de Elevação
NNEB	Norte do Nordeste Brasileiro
OLI	Operational Land Imager
ONU	Organização das Nações Unidas
PAS	Plano de Arborização Urbana
PBL	Planetary Boundary Layer
PlanMOB	Plano de Mobilidade Urbana
PRODESOL	Programa de Desenvolvimento Socioambiental de Sobral
SAVI	Índice de vegetação ajustado ao Solo
SCU	Sistema Clima Urbano
SEUMA	Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente
TIRS	Termal Infrared Sensor
TOPODATA	Banco de dados geomorfométricos do Brasil
TST	Temperatura da superfície terrestre
UBL	Urban Boundary Layer
UCL	Urban Canopy Layer
UC-AnMap	Urban Climate Analysis Map

UCMap	Urban Climate Map
UC-ReMap	Urban Climate Recommendation Map
USGS	United States Geological Survey
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	25
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	32
<b>2.1</b>	<b>A urbanização frente a qualidade ambiental e climática das cidades</b> .....	33
<b>2.2</b>	<b>O clima urbano e suas bases teóricas e metodológicas</b> .....	37
<b>2.3</b>	<b>O fenômeno das ilhas de calor e seus impactos na cidade</b> .....	40
<b>2.4</b>	<b>O clima urbano de cidades médias e pequenas semiáridas</b> .....	46
<b>2.5</b>	<b>Sistemas de classificação na climatologia urbana</b> .....	49
<b>2.5.1</b>	<i>O Mapa Climático Urbano (Urban Climate Map)</i> .....	51
<b>2.5.2</b>	<i>As Zonas Climáticas Locais (Local Climate Zones)</i> .....	55
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	61
<b>3.1</b>	<b>Procedimentos metodológicos empregados na pesquisa</b> .....	62
<b>3.1.1</b>	<i>Bases para a elaboração do Mapa Climático Urbano</i> .....	64
<b>3.1.1.1</b>	<i>Camada: Altimetria</i> .....	65
<b>3.1.1.2</b>	<i>Camada: Volume Edificado</i> .....	66
<b>3.1.1.3</b>	<i>Camada: Uso do solo</i> .....	68
<b>3.1.1.4</b>	<i>Camada: Temperatura da Superfície Terrestre</i> .....	68
<b>3.1.1.5</b>	<i>Camada: Espaços Verdes</i> .....	70
<b>3.1.1.6</b>	<i>Camada: Cobertura do Solo</i> .....	71
<b>3.1.1.7</b>	<i>Camada: Orientação das Vertentes</i> .....	72
<b>3.1.1.8</b>	<i>Camada: Vegetação</i> .....	73
<b>3.1.1.9</b>	<i>Camada: Declividade</i> .....	73
<b>3.1.1.10</b>	<i>Camada: Proximidades</i> .....	74
<b>3.1.1.11</b>	<i>Camadas: Carga térmica, potencial dinâmico e análise climática</i> .....	76
<b>3.1.2</b>	<i>Método aplicado para a geração das Zonas Climáticas Locais</i> .....	79
<b>3.1.3</b>	<i>Transectos móveis como ferramenta para a coleta de dados primários</i> .....	82
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	86
<b>4.1</b>	<b>De arraial à cidade urbanizada e polarizadora</b> .....	90
<b>4.2</b>	<b>Aspectos do clima da cidade de Sobral</b> .....	96
<b>5</b>	<b>MAPEAMENTO CLIMÁTICO URBANO APLICADO PARA SOBRAL</b> .....	105
<b>5.1</b>	<b>Camadas utilizadas no mapa de análises climáticas (UC-AnMap)</b> .....	105
<b>5.1.1</b>	<i>Análise do mapa de Altimetria</i> .....	107

5.1.2	<i>Análise do mapa de Volume Edificado</i> .....	110
5.1.3	<i>Análise do mapa de Uso do solo relativo aos ganhos antropogênicos</i> .....	114
5.1.4	<i>Análise do mapa de Temperatura da Superfície Terrestre</i> .....	116
5.1.5	<i>Análise do mapa de Espaços Verdes</i> .....	118
5.1.6	<i>Análise do mapa de Cobertura do Solo</i> .....	121
5.1.7	<i>Análise do mapa de Orientação das Vertentes</i> .....	124
5.1.8	<i>Análise do mapa de Vegetação</i> .....	127
5.1.9	<i>Análise do mapa de Declividade</i> .....	129
5.1.10	<i>Análise do mapa de Proximidades</i> .....	132
5.2	<b>Mapa de Carga Térmica</b> .....	136
5.3	<b>Mapa de Potencial Dinâmico</b> .....	138
5.4	<b>Mapa de Análises Climáticas</b> .....	141
6	<b>DEFINIÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS DE SOBRAL</b> .....	152
6.1	<b>Caracterização das Zonas Climáticas Locais</b> .....	155
6.1.1	<i>LCZ 2 - compacta de média elevação</i> .....	159
6.1.2	<i>LCZ 3 - compacta de baixa elevação</i> .....	160
6.1.3	<i>LCZ 5<sub>4</sub> - aberta de média e alta elevação</i> .....	162
6.1.4	<i>LCZ 6 - aberta de baixa elevação</i> .....	164
6.1.5	<i>LCZ 8<sub>10</sub> - grandes construções de baixa elevação e áreas industriais</i> .....	165
6.1.6	<i>LCZ 9 - esparsa com construções pequenas ou médias</i> .....	167
6.1.7	<i>LCZ A - vegetação arbórea densa</i> .....	169
6.1.8	<i>LCZ B - vegetação arbórea esparsa</i> .....	170
6.1.9	<i>LCZ C<sub>d</sub> - vegetação arbustiva e rasteira</i> .....	172
6.1.10	<i>LCZ E - rocha exposta ou pavimentação</i> .....	173
6.1.11	<i>LCZ F - solo exposto ou areia</i> .....	175
6.1.12	<i>LCZ G - água</i> .....	176
7	<b>DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS DA CIDADE E SUA RELAÇÃO COM AS CLASSES DO UC-ANMAP E DAS LCZS</b> .....	178
7.1	<b>Análise estatística dos dados coletados no período seco</b> .....	179
7.2	<b>Análise estatística dos dados coletados no período chuvoso</b> .....	182
7.3	<b>Correlação dos dados microclimáticos com as classes identificadas no UC-AnMap e nas LCZs</b> .....	190

<b>8</b>	<b>AVALIAÇÃO DOS PLANOS E NORMATIVAS FRENTE AS QUESTÕES DO CLIMA URBANO LOCAL E PROPOSIÇÃO DE AÇÕES ORIENTADAS AO PLANEJAMENTO .....</b>	<b>213</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>223</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>227</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As cidades consistem em ambientes dinâmicos, que desde a antiguidade tem favorecido o desenvolvimento e o aperfeiçoamento das técnicas. É um espaço que se associa a ebulição permanente (Santos, 1994), da economia, da cultura, das manifestações sociais etc., e a um modo de vida específico, o urbano (Lefebvre, 1999). Tais aspectos favoreceram a sua expansão, embora as cidades não se apresentem com grandes dimensões territoriais, principalmente se analisarmos o contexto brasileiro (Amorim, 2013b). Há que saber que o crescimento das cidades, em sua maioria, está atrelado a geração de impactos socioambientais, haja vista, que foram espaços ocupados, prioritariamente, sem ações efetivas de planejamento urbano.

O processo de urbanização, resultado direto do dinamismo dos espaços citadinos, pode ser definido como o aumento da concentração populacional nas cidades e a, conseqüente, expansão da malha urbana. De acordo com a ONU (Organização da Nações Unidas) mais da metade da população mundial habita os centros urbanos na atualidade. E as estimativas indicam que cerca de 70% da população mundial estará vivendo nestes espaços até o ano de 2050 (ONU, 2013, 2019). Para a realidade do Brasil, observa-se que cerca de 85% da população nacional está concentrada nos centros urbanos e estima-se que esta estatística ultrapassará os 90% até 2050 (IPEA, 2006; IBGE, 2016).

Cabe ressaltar que o fenômeno da urbanização ganhou novos cenários com o desenvolvimento da industrialização, observa-se que este promoveu mudanças significativas na estrutura econômica, social e cultural à nível mundial (Galvan; Flávio, 2007), impactando, sobretudo, no crescimento urbano das cidades, visto que foram espaços prioritários na alocação das unidades fabris. Se pormos em pauta o desenvolvimento industrial tradicional e o tardio, percebe-se sua preferência pelos centros urbanos. Tal dinâmica favoreceu o alocamento de indústrias, serviços e o fortalecimento do comércio nesses ambientes, impulsionando a atração de trabalhadores e habitantes para essas áreas. Há que saber, que esse processo é mais complexo e, leva em conta, também, fatores de repulsão presentes nos espaços rurais, mas sabe-se que a implantação das indústrias contribuiu de fato para o aumento do êxodo rural (Santos, 1994).

Ao considerar a urbanização brasileira observa-se maior concentração populacional nas regiões Sudeste, Centro-oeste e Sul, onde encontra-se as maiores metrópoles do território brasileiro. Por outro lado, as áreas menos urbanizadas estão situadas nas porções Norte e Nordeste, onde ainda é comum encontrar parcelas significativas da população vivendo

em áreas rurais (IBGE, 2016). Isto se deve em parte aos processos históricos de desenvolvimento econômico e industrial delineado em cada região. Na região Nordeste, em específico, mesmo sendo umas das áreas com menor taxa de urbanização do país, ao analisar suas capitais ou cidades polos, observa-se a significativa concentração populacional nesses centros urbanos, além desse aspecto, destaca-se que algumas cidades despontam como grandes centros econômicos, a saber, Fortaleza (CE), Salvador (BA) e Recife (PE).

Nesse sentido, ao analisar o aumento da concentração populacional nos ambientes citadinos, a expansão da malha urbana e o desenvolvimento econômico e industrial desses espaços, emerge a questão do meio ambiente, haja vista que a maioria das cidades se expandiram de forma espontânea sem considerar ações de planejamento e ordenamento territorial. Segundo Amorim (2013b) o desenvolvimento urbano das cidades brasileiras, em sua maioria, não foi acompanhado da dinâmica da natureza, favorecendo o comprometimento da qualidade ambiental desses ambientes. Somado a estes aspectos, observa-se a ineficiência do Estado na resolução das problemáticas geradas por esses processos. Todas essas questões se refletem nas paisagens e impactos que se visualizam no contexto das cidades.

Conforme a ocupação das cidades avançaram, a configuração espacial se remodelou, predominando na paisagem urbana uma cobertura do solo impermeabilizada. Os elementos naturais da paisagem foram sendo substituídos por feições construtivas, voltadas à moradia e ao desenvolvimento das atividades econômicas, ao mesmo tempo que novas infraestruturas correlatas foram sendo implementadas, como por exemplo, vias pavimentadas para auxiliar no deslocamento de pessoas, produtos e serviços.

Esse processo ocasionou a supressão das áreas vegetadas, a canalização dos rios, o soterramento das lagoas e lagos, a poluição dos corpos d'água e o aumento de poluentes próximos a superfície, devido ao avanço das atividades industriais, juntamente com o crescimento do fluxo de automóveis. Esses aspectos direcionam para a ocorrência de eventos que prejudicam a saúde e o bem-estar dos cidadãos, como episódios de inundações, deslizamentos, enxurradas, entre outros impactos ambientais.

Há que saber que esses impactos são acompanhados de efeitos sociais, sobretudo para os cidadãos que apresentam algum grau de vulnerabilidade social, Coelho (2001) alerta para o fato de que problemas ambientais (ecológicos e sociais) não atingem igualmente todos os habitantes da cidade, pois esta espacialização depende das condições sociais de cada grupo, das áreas que estes habitam e o nível de infraestrutura que os mesmos tem acesso.

Nesse contexto, diferentes campos de estudo têm se debruçado na análise das problemáticas ambientais e sociais referentes ao ambiente urbano, em busca da formulação de

soluções ou amenização das mesmas. Na área da climatologia diferentes vertentes têm se apropriado do ambiente urbano como lócus de investigação, tendo em vista que a cidade imprime um clima urbano específico, que se diferencia do clima de áreas rurais e regiões menos urbanizadas. Para Monteiro (1976) o clima da cidade pode ser apreendido com base na dinâmica dos fluxos de energia, sendo percebido a partir dos canais de percepção, a saber, o físico-químico, o hidrometeorológico e o termodinâmico. Nesta abordagem, o autor destaca que o clima urbano resulta da interação dos aspectos da organização social e dos elementos naturais do clima.

A questão térmica tem-se consolidado como um dos principais problemas visualizados no contexto da cidade, tendo em vista que a maior disposição de materiais que apresentam elevada capacidade de armazenamento de calor e a menor disposição de áreas verdes, favorece o maior aquecimento do recinto urbano em detrimento de áreas com menor urbanização. Desse modo, a expressiva urbanização da cidade e sua interação com a atmosfera favorece a formação de fenômenos climáticos, sendo o mais recorrente as ilhas de calor (IC) atmosféricas e superficiais. As ICs definem-se como a elevação da temperatura média em diferentes pontos da cidade, ocasionada pela interação dos elementos construtivos com a atmosfera próxima à superfície (Lombardo, 1985; Gartland, 2010).

Esses aspectos ganham ainda mais notoriedade perante o atual quadro de mudanças climáticas, onde tem-se verificado modificações consistentes no padrão climático a nível global, com a ocorrência de extremos climáticos que impactam diretamente nos ecossistemas e na vida das populações ao redor do globo. Dentro desse âmbito destaca-se os episódios de ondas de calor, que tem se expandido nos últimos anos e que encontram no recinto da cidade um ambiente propício à existência de eventos com maiores magnitudes. Isto se deve a estrutura urbana existente que naturalmente favorece a ocorrência de fenômenos associados a geração de calor e desconforto térmico (Silva *et al.*, 2022).

Diversos estudos tem se debruçado sobre a questão térmica e mapeado a atuação das ICs no ambiente urbano, sendo que estes, em sua maioria, são realizados nos grandes centros urbanos, tendo em vista, que são espaços que concentram a maioria dos institutos de pesquisa e onde estas questões apresentam maior destaque. Todavia, nas últimas décadas importantes grupos de pesquisa tem se debruçado sobre a questão climática em cidades médias e pequenas, haja vista que estas devido as alterações na paisagem têm apresentado magnitudes significativas de impactos ambientais. Convém destacar a importância de estudos neste âmbito para as cidades médias e pequenas, pois estes espaços nas últimas décadas veem apresentando um crescimento significativo, com a formação de centros urbanos dinâmicos

regionalmente e que seguem a mesma proposta de delineamento espacial observado nas grandes metrópoles. A realização de estudos nestes espaços geográficos encontra algumas facilidades, principalmente porque são áreas em desenvolvimento e que, portanto, podem a partir das análises climáticas obtidas nos estudos científicos, elaborar um planejamento urbano e climático mais eficaz, considerando tais resultados.

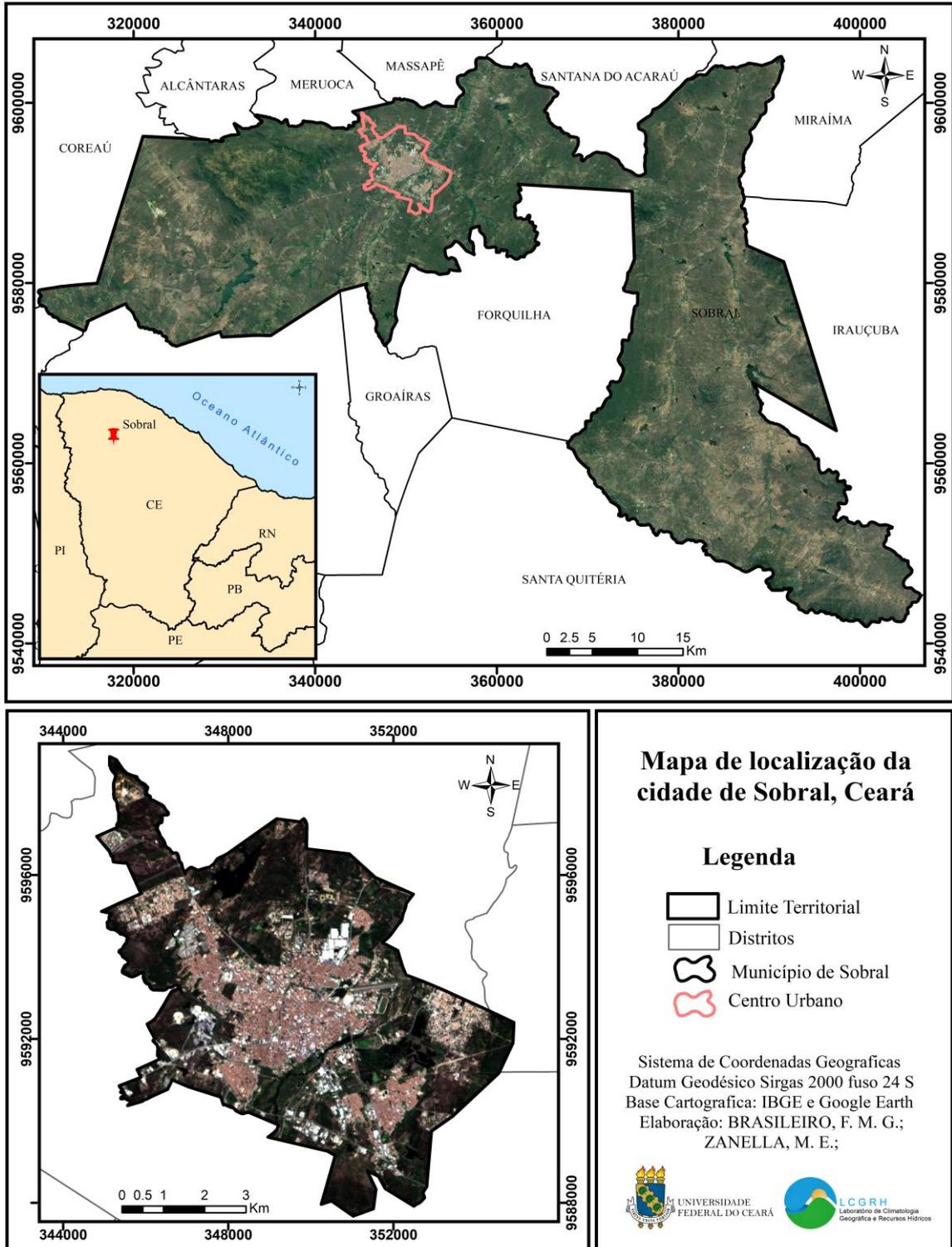
De base desses pressupostos, a presente pesquisa buscou entender como o clima urbano de uma cidade média é modificado, tendo em vista a dinâmica de transformações que ocorreram nesses espaços nas últimas décadas e os processos que se delineiam na atualidade. Para tal, a área de estudo escolhida para a pesquisa consistiu na cidade de Sobral, localizada no noroeste do estado do Ceará (Figura 1). A mesma é considerada uma cidade média que apresenta uma dinâmica urbana intensa e que influencia diretamente os municípios circunvizinhos, configurando-se como um polo regional.

Desse modo, convém delinear os questionamentos que nortearam o desenvolvimento da pesquisa. Como problema central, indagamos se as cidades médias são capazes de gerar um clima urbano específico com notáveis variações térmicas, assim como os ambientes metropolitanos? De modo complementar, formulamos questões correlatas ao problema central da pesquisa, descritas a seguir: Como se comporta o clima urbano de uma cidade média sob influência de um clima tropical semiárido? A partir do crescimento e desenvolvimento da cidade, que mudanças são perceptíveis nos aspectos microclimáticos? Qual a relação entre as normativas e decisões no âmbito do planejamento urbano municipal e as condições climáticas da cidade de Sobral?

Tendo por base os questionamentos levantados definiu-se como objetivo geral da pesquisa, analisar o clima urbano da cidade de Sobral visando diagnosticar as características do ambiente térmico da urbe e propor medidas e/ou ações mitigadoras que contribuam para o planejamento climático local. Para obter as respostas para o objetivo geral, definimos como objetivos específicos: 1. Avaliar o ambiente térmico da cidade de Sobral por meio da aplicação dos modelos de classificação UCMMap e a LCZ, considerando os parâmetros ambientais, os tipos de uso e ocupação do espaço urbano e o ambiente tropical semiárido; 2. Analisar o comportamento da temperatura do ar em diferentes pontos da cidade e identificar fenômenos climáticos e suas magnitudes no contexto urbano, por meio de coletas de dados microclimáticos em campo; 3. Diagnosticar as condições microclimáticas dos climatopos e das LCZs e estabelecer as relações entre as classes obtidas nas classificações; 4. Avaliar os planos e normativas estabelecidos pelo planejamento urbano municipal relacionados as questões ambientais/climáticas e correlacionar com as observações empreendidas nas

classificações e nos dados primários; 5. Propor medidas e/ou ações mitigadoras para atenuação ou adaptação das questões climáticas observadas para o clima urbano da cidade de Sobral, servindo de modelo para outras cidades tropicais semiáridas.

Figura 1 - Mapa de localização da cidade de Sobral - CE



Fonte: Elaborado pela autora.

A pesquisa se apoia na hipótese de que a cidade de Sobral convive com diversas questões climáticas devido ao avanço dos processos de urbanização e industrialização, dentre estas, a ocorrência de ilhas de calor urbanas e modificações térmicas relacionadas ao tipo de uso e cobertura do solo estabelecidos. É possível observar que a partir da década de 1990, com a chegada de indústrias de grande porte, a cidade vivenciou um processo de desenvolvimento crescente, tornando-se um dos principais polos da região noroeste cearense, com grande influência local e regional. Seguindo um processo semelhante aos grandes centros, a cidade de Sobral tendeu a concentrar todos os serviços e atividades no centro urbano, fato que em parte justifica a grande concentração populacional neste espaço geográfico.

Segundo dados do Atlas Brasil (2010) cerca de 88% da população total desse município habita a área urbana, o que denota afirmar que este espaço convive com diversas questões, tanto de âmbito social quanto ambiental. No clima pressupõe-se que as mudanças no uso e ocupação do solo, o padrão construtivo, a organização estrutural da cidade e as atividades desenvolvidas geraram diferenciações e modificações no clima local, possibilitando a ocorrência de ilhas de calor urbana.

No tocante a justificativa da pesquisa, observa-se que as cidades pequenas e médias, ao contrário das grandes metrópoles, apresentam menores quantitativos de estudos investigativos sobre a questão climática em seu ambiente urbano. Neste contexto, esta pesquisa apresenta uma contribuição teórica e metodológica para estudos sobre o clima urbano em ambientes de cidades médias semiáridas, que apesar de não apresentarem a mesma configuração das grandes metrópoles, são espaços que denotam uma dinâmica de formas, fluxos e processos significativos e que geram questões ambientais importantes, inclusive questões climáticas. Ademais, o trabalho possibilitou a geração de dados e análises que poderão ser utilizados pela administração pública municipal para o planejamento do ordenamento territorial e melhor gerenciamento das questões climáticas urbanas locais.

O trabalho está estruturado em nove partes, incluindo esta introdução e a conclusão. No capítulo 2, aborda-se as principais leituras que orientaram as discussões do trabalho de tese, considerando autores mais antigos e, também, contemporâneos, além de utilizar artigos científicos, livros e bancos de teses e dissertações. No capítulo 3, apresenta-se a construção metodológica do trabalho, elencando todos os passos seguidos para a construção das classificações UCMaP e LCZ e os passos e métodos empregados na realização da atividade de campo, para a aplicação dos transectos móveis. No capítulo 4, objetivou-se apresentar o lócus de estudo a partir da exposição das suas principais características urbanas e

ambientais, com destaque ainda para os processos históricos engendrados no espaço da cidade que culminaram com a atual paisagem e o nível de influência da mesma na região norte do estado do Ceará.

No capítulo 5, apresenta-se os dados cartográficos obtidos por meio da aplicação da metodologia UCMMap em Sobral. Nesta parte do trabalho avaliamos a contribuição das variáveis bases na determinação das características do clima da cidade em estudo, além de analisar as camadas referentes ao potencial térmico e dinâmico. Por fim, a partir da avaliação do Mapa de Análises Climáticas (UC-AnMap) foi possível mapear as características do ambiente térmico da cidade, além de definir a ocorrência dos climatopos e sua espacialização no contexto urbano. No capítulo 6, discute-se os resultados da aplicação da metodologia LCZ para Sobral, destacando as classes que foram visualizadas na paisagem urbana e as características que cada zona imprime na cidade.

No capítulo 7, apresenta-se os dados microclimáticos coletados em campo para campanhas durante o período seco e chuvoso. De início expõe-se o tratamento estatístico empregado nos dados climáticos, para posteriormente avaliar os dados de temperatura do ar entre as coletas e para as médias estabelecidas entre os tipos de tempo. Nessa parte do trabalho busca-se também correlacionar os dados de campo com as classificações UCMMap e LCZ, visando entender o comportamento da variável temperatura entre as diferentes zonas da cidade e confirmar as informações obtidas via geoprocessamento. Por fim, no capítulo 8 propõe-se discorrer a respeito das medidas mitigadoras elaboradas frente as questões climáticas observadas em campo e nas classificações para a cidade de Sobral. Para tal, utiliza-se o mapa de recomendações ao planejamento (UC-ReMap), indicando o tipo de ação necessária a cada zona UCPZ e as características visualizadas nas mesmas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico da pesquisa compreendeu a utilização de obras nacionais e internacionais que permitissem analisar quatro pontos principais e os assuntos correlatos a estes, a saber, o fenômeno do urbano e seus efeitos ambientais, a geração de um clima específico no ambiente das cidades, em especial as médias semiáridas, a questão térmica e o fenômeno das ilhas de calor. Destaca-se também a discussão em torno das bases conceituais para aplicação dos sistemas de classificação do clima urbano utilizados na tese. No quadro 1 apresenta-se os temas e as perspectivas teóricas utilizados na construção do referencial teórico. Neste cita-se os autores que contribuíram para o avanço do diálogo sobre os temas abordados, embasando, assim, a formatação do texto final.

Quadro 1 – Síntese teórica da pesquisa

PERSPECTIVA TEÓRICA	AUTORES
A princípio buscou-se compreender as dinâmicas da urbanização, considerando seus efeitos no âmbito ambiental e climático das cidades.	Porto Gonçalves, 1995; Sposito, 1988; Carlos, 2004; Carlos, 2007; Galvan; Flávio, 2007; Santos, 2008; Jatobá, 2011; Mendonça, 2011; Monteiro, 2011; Barbosa Junior; Santos, 2014; Nunes, 2015; Zanella; Sales, 2015; Souza, 2010; Galvani; Lima; Falcão, 2010; Fornaro, 2006; Andrade, 2005;
O entendimento das características do clima urbano perpassa pelo conhecimento de suas bases teóricas e metodológicas. Desse modo, nesse tópico buscou-se elencar as principais teorias e os pensadores relacionados ao clima urbano.	Landsberg, 1956; Monteiro, 1976; Lowry, 1977; Oke, 1987; Oke, 1988; Monteiro, 1991; Sant’anna Neto, 1998; Partidário, 2001; Andrade, 2005; Moura, 2008; Zanella; Moura, 2013, Zanella, 2014; Ugeda Júnior; Amorim, 2013a; Amorim, 2016; Oke, 2017; Landsberg, 1956; Rizwan; Dennis; Liu, 2008; Hasenack; Flores, 1992; Souza, 2010; Andrade, 2005; Zhou; Chen, 2018; Kowalski, 2019; Dirksen <i>et al.</i> , 2019; Amorim, 2020;
Considerando os estudos sobre o clima urbano, visualiza-se que a questão térmica é o principal problema ambiental das cidades urbanizadas, tendo em vista as alterações realizadas na cobertura do solo. Nesse aspecto, o fenômeno das ilhas de calor e seus impactos ganha notoriedade na realidade das cidades independentemente de seu porte.	Rizwan; Dennis; Liu, 2008; Lombardo, 1985; Estevão, 2016; Estevão; Zanella, 2016; Pinheiro, 2017; Maranholi; Gonzalez, 2018; Souza; Paranhos Filho; Guaraldo, 2020; Amorim, 2019; Garcia, 2009; Andrade, 2005; Gartland, 2010; Corrêa, 2016; Mendonça; Dubreuil, 2005; Grimmond, 2004; Oke, 1997; Lucena, 2012; Oke, 1987; García; Álvarez, 2008; Gartland, 2010; Monteiro, 2018; Amorim; Dubreuil, 2017;

<p>Para o contexto da tese, convém avaliar os estudos que se debruçam sobre a análise térmica e ocorrência de ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte, tendo em vista que mesmo apresentando aspectos urbanos que remetem as cidades metropolitanas ou de maior porte, as cidades médias e pequenas apresentam diferenciações que são visualizadas nos estudos mencionados no referencial teórico. Um fator de destaque consiste no ambiente semiárido em que a cidade de Sobral se insere, ou seja, a mesma já apresenta uma tendência natural ao desconforto térmico, fato relevante que deve ser mensurado.</p>	<p>Corrêa, 2016; Maranholi; Gonzalez, 2018; Vianna, 2018; Algretawee; Rayburg; Neave, 2019; Yu; Chen; Wong, 2020; Castro; Costa, 2016; Amorim, 2017; Amorim, 2020; Monteiro; Mendonça, 2011; Cardoso <i>et al.</i>, 2017; Gomes, 2019; Foissard; Dubreuil; Quénot, 2019; Amorim; Dubreuil, 2017; Dubreuil, 2020; Busato; Lazzarin; Noro, 2014; Huang; Chang; Wang, 2020; Amorim, 2020; Oliveira, 2020; Estevão; Albuquerque; Silva, 2020; Silva; Moura; Luna, 2020; Bezerra, 2013; Duarte; Caracristi, 2004; Muniz; Caracristi, 2019; Monteiro; Caracristi; Almeida, 2020</p>
<p>Apesar dos sistemas de classificação utilizados na tese apresentarem ineditismo para a área em estudo, diferentes estudos nacionais e internacionais têm empregado essas perspectivas para variados propósitos, assim, nesse tópico buscou-se com a ajuda dos autores esclarecer as características teóricas e metodológicas utilizadas nas classificações em busca da melhor adequação para a realidade de Sobral.</p>	<p>Katzshner, 1997; Amorim, 2000; Souza, 2010; Baumüller, 2008; Ng <i>et al.</i>, 2012; Sepe; Takiya, 2002; Ferreira; Assis; Katzschner, 2017; Lima Júnior, 2018; Freitas <i>et al.</i>, 2021; Castro; Costa, 2016; Stewart, 2011; Stewart; Oke, 2012; Ribeiro, 2013; Ng; Ren, 2015; Kaloustian; Bechtel, 2016; Cardoso; Amorim, 2017; Wang <i>et al.</i>, 2018; Ferreira; Ugeda Júnior, 2020; Santos, 2021; Fernandes, 2021; Dorigon; Amorim, 2021; Freitas <i>et al.</i>, 2021; Albuquerque <i>et al.</i>, 2022; Moura <i>et al.</i>, 2022; Werneck, 2022; Ferreira; Ferreto; Duarte, 2023.</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

## 2.1 A urbanização frente a qualidade ambiental e climática das cidades

As cidades são espaços dinâmicos que historicamente foram priorizados nos processos de ocupação territorial e no desenvolvimento de atividades socioeconômicas. Segundo Carlos (2007) a cidade, nesse sentido, consiste em um produto histórico cultural, concebido a partir de um “trabalho materializado, acumulado ao longo de uma série de gerações, a partir da relação da sociedade com a natureza” (Carlos, 2007, p.20). Portanto, para entender as problemáticas ambientais visualizadas atualmente nesses espaços, necessita-se do conhecimento acerca dos processos econômicos e sociais que se desenvolveram na urbe. Tais processos influenciaram diretamente no desenvolvimento e na expansão territorial desses ambientes, além de expressarem a gênese das diferentes questões ambientais visualizadas na cidade.

Ao tratar dessas questões temos que considerar os processos de urbanização e industrialização e os seus impactos sobre a cidade. Historicamente, esses ambientes sempre concentraram atividades e serviços, mas a complexidade adotada pela cidade, tal qual observamos na atualidade, tem suas raízes a partir do desenvolvimento da industrialização. Esta promoveu mudanças significativas nas formas produtivas, que enfatizaram a divisão social e territorial do trabalho, o consumo, a concentração de renda, etc. (Galvan; Flávio, 2007).

Além dos fatores elencados, observa-se que um efeito direto do processo industrial foi a expansão da urbanização, haja vista, que a industrialização “atraiu a oferta da força de trabalho, infraestrutura, acessibilidade, progresso técnico e acumulação capitalista para os espaços urbanos” (Galvan; Flávio, 2007, p. 1). Ou seja, tornaram-se ambientes atrativos, contribuindo assim para o aumento do fenômeno de êxodo rural (Barbosa Junior; Santos, 2014). Destes processos resultaram problemas complexos associados ao fato urbano e ao tipo de urbanização engendrada nos diferentes espaços da cidade (Carlos, 2004)

Tais questões são defendidas por Santos (2008) quando ao discutir a dimensão social na cidade reafirma a importância de entender o desenvolvimento dos processos socioeconômicos ao longo da história e sua materialização na paisagem urbana.

O nível da urbanização, o desenho urbano, as manifestações das carências da população são realidades a ser analisadas à luz dos subprocessos econômicos, políticos e socioculturais, assim como das realizações técnicas e das modalidades de uso do território nos diversos momentos históricos (Santos, 2008, p.11).

Nesse mesmo caminho, Sposito (1988) defende que a industrialização marcou profundamente e transformou o processo de urbanização. Tida como uma característica da sociedade contemporânea e a mais importante atividade econômica, tornou-se a “principal forma através da qual a sociedade se apropriava da natureza e a transformava” (Sposito, 1988, p.48).

Ao discutir os efeitos do processo industrial na urbanização do Brasil, Santos (2008) destaca que esse consiste em um processo social complexo que denota a formação de um mercado nacional integrado e que se materializa de forma singular.

Essa nova base econômica ultrapassa o nível regional, para situar-se na escala do país; por isso, a partir daí, uma urbanização cada vez mais envolvente e mais presente no território dá-se com o crescimento demográfico sustentado nas cidades médias e maiores, incluídas, naturalmente, as capitais de estado (Santos, 2008, p.30).

Como visto, a urbanização ao tempo que promoveu a expansão da malha urbana das cidades, favoreceu o aumento e a concentração populacional nesses ambientes. Essa

concentração foi acentuando-se ao longo dos anos, transformando as paisagens da cidade e gerando impactos sociais e ambientais. Conforme Santos (1994) as modificações decorridas dos processos econômicos e sociais supracitados, formataram e reestruturaram o espaço urbano e as paisagens urbanas em dimensões quali-quantitativas. Onde, “o meio urbano é cada vez mais um meio artificial, fabricado com restos da natureza primitiva crescentemente encobertos pelas obras dos homens” (Santos, 1994, p. 42).

Ao tratar a relação da urbanização e o meio ambiente, Jatobá (2011) alerta para a relação direta entre os dois fatores, pontuando o caráter espacial concentrador do urbano perante outras atividades.

Urbanização e meio ambiente têm uma relação direta. A urbanização, por implicar a concentração de pessoas e atividades produtivas sobre um espaço restrito, gera, necessariamente, impactos degradadores do meio ambiente com efeitos sinérgicos e persistentes. Embora outras atividades, como a agricultura, a pecuária, a mineração e a geração de energia, provoquem igualmente grandes impactos negativos sobre o meio ambiente, a urbanização, por gerar de forma concentrada seus impactos ambientais e difundi-los além dos limites urbanos, merece uma análise especial (Jatobá, 2011, p. 141).

Ao discutir as características socioambientais do urbano, Nunes (2015, p.11) defende que “as cidades apresentam ecossistemas diversos, mas as funções ecológicas dos centros urbanos estão cada vez mais relegadas a planos secundários [...]”. Para este autor tais fatores estão associados a produção do risco. Seguindo sua argumentação, ele alerta que a expansão dos centros urbanos está associada a problemática da vulnerabilidade, devido as condições sociais e as tendências de ocupação de áreas impróprias à moradia (Zanella; Sales, 2015). Sabe-se que tais questões estão somadas à falta de infraestrutura e planejamento urbano, sendo causadoras de variados problemas ambientais e sociais.

Tais questões emergem em meio as alterações significativas das paisagens naturais urbanas, como o desmatamento da vegetação urbana, a impermeabilização do solo, a canalização dos rios, aterramento de corpos hídricos etc. O aumento da frota de veículos e o lançamento de poluentes pelas indústrias, tem contribuído para a concentração de gases nocivos na atmosfera próxima a superfície, ocasionando a poluição do ar das cidades (Porto Gonçalves, 1995).

Nesse sentido, Mendonça (2011) reafirma que a acelerada urbanização que se desencadeia a partir de 1960, para o caso brasileiro, favoreceu a geração de cidades com expressiva degradação das condições sociais e ambientais, sobretudo com a considerável redução da qualidade da atmosfera urbana.

No Brasil, país cujo processo de urbanização se deu de maneira muito rápida, desigual, bem como destituído de perspectivas de planejamento, o desenvolvimento das cidades resultou na formação de espaços eivados de consideráveis disparidades socioeconômicas e de elevada degradação socioambiental; nestes, a deterioração da atmosfera é, de maneira geral, apenas mais um testemunho da relação predatória entre sociedade e a natureza (Mendonça, 2011, p.179).

Desse modo, observa-se que as sucessivas modificações da paisagem natural associada a dinâmica urbana das cidades alteram de forma efetiva a atmosfera local (Zanella; Sales, 2015), fazendo com que as condições climáticas da urbe sofram alterações e determine um clima com características próprias, o clima urbano. Concordando com essa afirmativa Souza (2010, p. 19) explicita que “o aumento da estrutura urbana, mais extensa e densa, das cidades passaram a afetar, significativamente, a dinâmica da superfície atmosférica e, conseqüentemente a modificar o clima local”.

Nesse mesmo caminho, Monteiro (2011) apreende o clima urbano a partir de uma visão sistêmica, onde o espaço urbanizado representado pela cidade consiste no núcleo onde os fenômenos climáticos apresentam maior expressividade, considerando que estes mantêm uma relação intrínseca com o ambiente regional imediato. Tais questões revelam que o clima urbano consiste em um sistema aberto, que apresenta como características a absorção de energia do seu ambiente, o dinamismo e se apresenta como palco de “sucessões de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas” (Monteiro, 2011, p. 20). Nota-se que a abordagem dos aspectos climáticos da cidade a partir da perspectiva do sistema clima urbano (S.C.U) pressupõe uma definição clara entre o *operador* (atmosfera) e o *operando* (ação ecológica natural e os fenômenos da urbanização), contudo não considera somente a interação direta e seus efeitos e, sim, ressalta a importância dos efeitos indiretos que culminam nos fluxos de energia dentro do sistema.

Ao pensar as problemáticas ambientais da cidade no âmbito do clima podemos discutir, a priori, a ocorrência de quatro fenômenos, a saber, inversão térmica, poluição chuvas ácidas e as ilhas de calor. As cidades, sobretudo as grandes metrópoles, devido as suas condições ambientais são passíveis à ocorrência de inversões térmicas, que consiste na sobreposição do ar quente sob o ar frio. Essa sobreposição impede o movimento ascendente natural do ar, deixando o ar frio, mais pesado, próximo a superfície. A grande problemática desse fenômeno consiste em sua área de ocorrência, haja vista que em um ambiente que apresenta “um considerado número de indústrias e de circulação de veículos, como o das cidades, a inversão térmica pode resultar em elevada concentração de poluentes, ocasionando problemas de saúde” (Galvani; Lima; Falcão, 2010, p.2). Tal aspecto alerta também para a problemática mais recorrente em ambientes urbanos, a poluição do ar e dos recursos hídricos.

Essa questão consiste em um dos primeiros problemas verificados nos ambientes urbanos, se considerarmos a literatura internacional sobre as questões climáticas das cidades industrializadas e com um processo de urbanização relevante.

O avanço da industrialização no ambiente das cidades, a partir da emissão de poluentes ácidos e que sejam acidificantes após reações químicas na atmosfera, e a expansão da frota de veículos, tem contribuído para a formação das chuvas ácidas. Tal fenômeno ganhou notoriedade após a expansão da indústria na Europa, sendo menos comum nas regiões de industrialização mais recente, porém como nos aponta Fornaro (2006) no Brasil ocorreram episódios associados a acidificação da água da chuva, sendo, portanto, necessário a investigação do fenômeno para entender como ele se formata nesse contexto.

Por fim, temos as ilhas de calor que consistem em fenômenos muito recorrentes no contexto das cidades e que estão mais associadas as modificações realizadas na paisagem urbana, do que em relação as características de porte desse ambiente. Esse fenômeno se caracteriza pelo aumento substancial da temperatura do ar em áreas específicas da cidade, sobretudo relacionadas ao grau de urbanização desse ambiente, e apresentam a capacidade de impactar diretamente na qualidade de vida das pessoas que habitam os centros urbanos (Andrade, 2005).

## **2.2 O clima urbano e suas bases teóricas e metodológicas**

Como discutiu-se no tópico anterior, a cidade apresenta modificações consideráveis em sua paisagem, gerando efeitos diretos na qualidade da atmosfera urbana. Assim, observa-se que a cidade é geradora de um clima específico, que se diferencia do clima de áreas rurais e regiões menos urbanizadas (Amorim, 2020; Zhou; Chen, 2018). Grosso modo, este consiste em um clima urbano que resulta das características da urbanização, do sítio urbano e da interação das atividades realizadas na cidade com a atmosfera próxima a superfície (Landsberg, 1956; Oke, 1987; Monteiro, 1991; Sant'anna Neto, 1998; Partidário, 2001; Moura, 2008; Zanella; Moura, 2013; Zanella, 2014).

Ao analisar a dimensão teórica do clima urbano, os autores da área destacam diferentes perspectivas sobre os elementos que devem ser considerados durante a análise. Alguns pontos comuns entre essas visões perpassam a análise do clima considerando os balanços de energia, as características do sítio urbano, os tipos de uso que são realizados, as condições regionais em que área de estudo se insere, os tipos de materiais dispostos na paisagem e as ações dos sujeitos sociais (Ugeda Júnior; Amorim, 2016; Oke, 2017). Desse

modo, pressupõe-se uma análise integrativa, pois a determinação das diferenças no tempo e no clima da cidade não depende somente dos fatores atmosféricos, haja vista que o ambiente urbano engloba componentes naturais, construídos, econômicos e sociais.

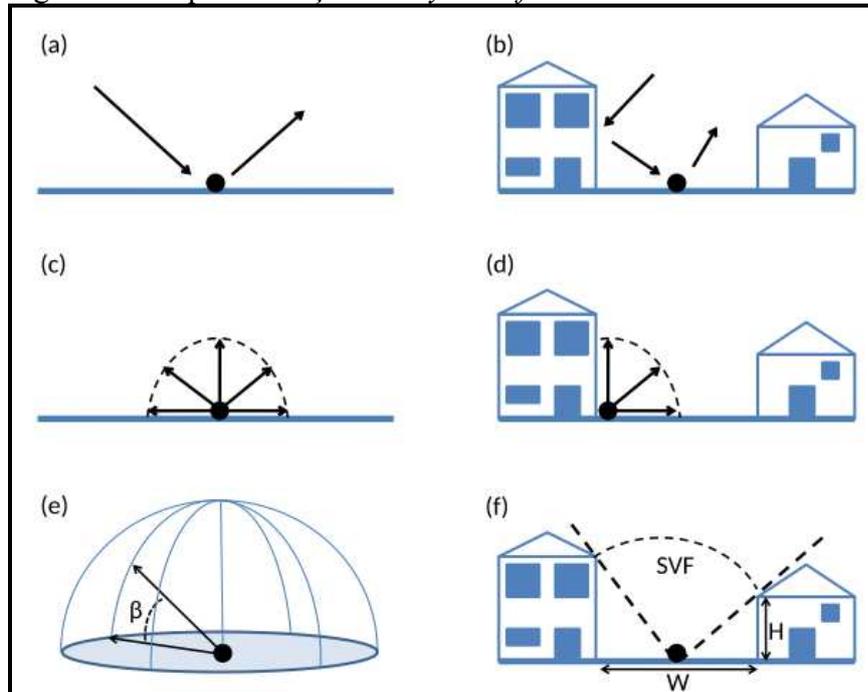
Para Lowry (1977) o clima urbano pode ser expresso pela soma de três componentes, o clima regional, as características naturais do sítio e os efeitos diretos da urbanização, onde estes variam em função da localização, do momento observado e os tipos de tempo que se estabelecem. Tais questões podem ser expressas pela equação  $M_{itx} = C_{itx} + L_{itx} + E_{itx}$ , onde o “(M) é o valor assumido por uma dada variável climática, no local urbano  $x$ , no momento  $t$ , e com o tipo de tempo  $i$ ” (Andrade, 2005, p. 70), o (C) consiste na influência do clima regional sobre o elemento climático observado, o (L) compõe-se das características naturais do sítio urbano, tais como, relevo, declividade etc., e por fim, o (E) revela os componentes da urbanização e sua interação com a atmosfera próxima a superfície. Nesse sentido, Andrade (2005) ressalta que o clima urbano é o resultado das alterações que as superfícies materiais e as atividades inerentes as áreas urbanas ocasionam nos balanços de energia, massa e movimento.

Do ponto de vista conceitual, o clima urbano pode ser definido como uma modificação substancial do clima local que, em relação às condições climáticas das demais áreas circunvizinhas, apresenta maior quantidade de calor, modificações na atmosfera, na ventilação e na umidade (Landsberg, 1956). Nesse mesmo caminho, Rizwan, Dennis e Liu (2008) e Oke (1987) argumentam que esse aquecimento do ambiente urbano é advindo da existência da liberação de calor por fontes antropogênicas, como veículos, indústrias, etc. e pela radiação armazenada e liberada pelas grandes estruturas urbanas. Estas contêm essa capacidade devido aos tipos de materiais de construção que compõem as estruturas na cidade e a diminuição do fator de visão do céu (*sky view factor*). Segundo Dirksen *et al.* (2019) as complexas superfícies presentes nas áreas urbanas permitem diferentes comportamentos na emissão e absorção da radiação solar. Se considerarmos a radiação de ondas longas em um campo aberto observa-se que a mesma é refletida em todas as direções, enquanto no ambiente urbano, a presença de edifícios são um fator limitante, permitindo maior absorção, e conseqüentemente, maior disposição de calor (Figura 2).

A redução da cobertura vegetal conforme a malha urbana se expande e a alta rugosidade dos ambientes urbanos também consiste em uma problemática para a perda de calor nesses locais, visto que reduz a possibilidade de amenização do calor por meio da convecção (Rizwan; Dennis; Liu, 2008). Ademais, Hasenack e Flores (1992, p.60) evidenciam que “o tipo de cobertura do solo da cidade [...] impõe um balanço de energia

distinto daqueles das áreas rurais [...]”. Destacando, ainda, que as diferenças entre a dimensão climática urbana e a rural, resultam das condições atmosféricas visualizadas em cada espaço. Tais mudanças na estrutura da paisagem urbana resultam em alterações no balanço energético, hídrico, térmico e nos fluxos aerodinâmicos da cidade (Oke, 1988; Kowalski, 2019).

Figura 2 – Esquematização do *sky view factor*



Fonte: Dirksen *et al.*, 2019. Ilustração do comportamento da radiação em espaços abertos e em espaços urbanizados. (a) e (c) Radiação de ondas curtas e longas em campo aberto, (b) e (d) Emissão de radiação de ondas longas em um desfiladeiro de rua, (e) SVF calculado em 3D e (f) SVF em um cânion de rua 2D.

Monteiro (1976) a partir do estudo do Sistema Clima Urbano (SCU), ressalta que a geração de um clima tipicamente urbano não depende somente das formas dispostas na paisagem, para compreendê-lo é necessário considerar os balanços de energia. Ademais, é essencial conhecer como a cidade considerou o sitio urbano e suas características, durante o processo de crescimento da sua malha urbana e de sua urbanização.

A formação de um clima urbano específico não é exclusiva de grandes concentrações urbanas. Conforme Monteiro (1976) não é possível ainda decidir sobre o ponto de concentração populacional ou densidade de edificações que permitam que a cidade altere seu clima local. Para Souza (2010) a dimensão do clima urbano, pode ser pensado, além do tamanho da cidade, pela disposição da “topografia, a vegetação, a forma urbana e a proporção entre espaços abertos (campos, praças, corpos d’água, entre outros) e áreas edificadas” (Souza, 2010, p. 19).

Portanto, a observação do clima da cidade deve ser acompanhada da análise das características geoambientais, características físicas do meio geográfico, assim como, das características do processo de urbanização dos ambientes em estudo, pois, dessa forma é possível identificar quais as alterações climáticas e suas magnitudes, além de relacioná-las às ações sociais (Monteiro, 1976; Ugeda Júnior; Amorim, 2016).

Andrade (2005) evidencia que o estudo do clima urbano pressupõe a observação de suas escalas de análise, tanto espacial quanto temporal. Esse autor faz um esforço para melhor definir as características do ambiente urbano que correspondem ao microclima, ao clima local e ao mesoclima, contribuindo assim, para a melhor definição dos estudos realizados na área. No que concerne a escala temporal, ele defende que “o tipo de tempo condiciona a variação espacial dos elementos climáticos no espaço urbano, sobretudo através do vento, da nebulosidade e da estabilidade vertical da atmosfera” (Andrade, 2005, p.73), portanto, sendo necessário sua definição quando da realização de pesquisas nesse campo.

A respeito da estratificação em escalas espaciais, Amorim (2013a) defende que o clima urbano é definido por meio da conexão de suas partes integrantes, assim, é de suma importância estabelecer a “relação entre as diferentes escalas geográficas, desde a zonal até a local, onde se encontram o urbano e as diversas possibilidades de articulações entre os mesoclima, topoclimas e microclimas” (Amorim, 2013a, p. 192).

Monteiro (1976) concebe o clima urbano como um sistema regido a partir dos fluxos de energia. Nesse contexto, para a melhor realização das pesquisas sobre o clima urbano no Brasil, Monteiro (1976) elaborou o Sistema Clima Urbano (SCU), que consiste em uma metodologia que direciona os estudos neste âmbito, englobando as temáticas estudadas em canais de percepção, ou seja, o termodinâmico (ilhas de calor e conforto térmico), o hidrometeorológico (impactos pluviais) e o físico-químico (poluição atmosférica). Essa metodologia de estudo orientou a grande maioria dos trabalhos realizados na contemporaneidade, sendo, portanto, uma contribuição essencial aos estudos na área e formatando, inclusive, uma escola em climatologia geográfica brasileira.

### **2.3 O fenômeno das ilhas de calor e seus impactos na cidade**

As ilhas de calor configuram-se como a principal manifestação do clima urbano e um dos problemas ambientais mais recorrentes no ambiente da cidade (Rizwan; Dennis; Liu, 2008). Do ponto de vista conceitual, podemos caracterizar as ilhas de calor urbanas como o aumento da temperatura do ar em regiões centrais e periféricas das cidades em detrimento as

baixas temperaturas encontradas em áreas rurais ou com maior aporte de vegetação (Lombardo, 1985; Estevão, 2016; Estevão; Zanella, 2016; Pinheiro, 2017; Maranholi; Gonzalez, 2018; Souza; Paranhos Filho; Guaraldo, 2020).

Gartland (2010) acrescenta que além de apresentar temperaturas do ar mais altas, as ilhas de calor se caracterizam pela presença de temperaturas de superfícies mais elevadas, maior magnitude e intensidade em dias de maior estabilidade atmosférica, evolução constante conforme a cidade se desenvolve, atingindo maiores magnitudes, e, por fim, estão relacionadas também a ocorrência de inversões térmicas.

Monteiro (2018) ao analisar as particularidades das ilhas de calor urbanas, ressalta que esse fenômeno se materializa de formas distintas em cada cidade e “se enumeram como forma, intensidade e localização do seu núcleo de temperatura do ar mais elevada. Estes aspectos possuem variabilidade devido ao período do dia e época do ano analisados” Monteiro, 2018, p. 28), ou seja, a ocorrência de ilhas de calor apresenta uma variabilidade temporal e sazonal muito bem definida.

Ao analisarmos a produção científica nacional e internacional sobre a perspectiva das ilhas de calor, nota-se avanços significativos no entendimento conceitual do tema, estando em sua maioria alinhados no sentido de que o fenômeno consiste em uma diferenciação de temperaturas entre os ambientes com maior urbanização e os menos urbanizados e/ou rurais. Destaca-se também a contribuição dos materiais construtivos da cidade, variações nas temperaturas do ar e terrestre, o que pressupõe diferenças metodológicas nas abordagens (Amorim, 2019; Souza, Paranhos Filho; Guaraldo, 2020).

De acordo com García (2009) a presença de asfalto, a construção de edifícios e o traçado da malha viária modifica o equilíbrio da radiação entre o solo e o ar, reduzindo a evaporação, aumentando o escoamento superficial e diminuindo a velocidade do vento enquanto favorece a turbulência do ar. Esses fatores convergem para a formatação de um clima urbano único, cujo o aspecto mais notável é o aumento das temperaturas na cidade em relação às áreas vizinhas mais frias.

A ocorrência de fenômenos climáticos no ambiente urbano implica na qualidade de vida dos cidadãos. Se pensarmos a espacialização das ilhas de calor na cidade nota-se que este fenômeno provoca maior desconforto térmico, contribui para problemas de saúde, gera maiores índices de poluição e impactos no consumo de energia, visto o uso de equipamentos para reduzir o estresse térmico (Andrade, 2005; Gartland, 2010). Tais questões justificam em parte a imensa quantidade de estudos investigativos sobre essa temática, e, ao mesmo tempo,

alerta para a necessidade de novos estudos e avanços metodológicos para análise do fenômeno.

Para Gartland (2010) as áreas urbanas e suburbanas convivem com as ilhas de calor, uma espécie de “oásis inverso”, caracterizado pelo aquecimento do ar e das temperaturas de superfície e o resfriamento das áreas rurais circundantes. Nesse sentido, observa-se que essas áreas são capazes de gerar tais fenômenos porque “muitos materiais de construção comuns absorvem e retêm mais calor do sol do que materiais naturais em áreas rurais ou regiões menos urbanizadas” (Gartland, 2010, p. 9).

Esse aquecimento resulta de duas questões. A primeira delas diz respeito a capacidade de impermeabilidade dos elementos construtivos, não permitindo a dissipação do calor por meio da umidade. E a segunda trata do albedo dos materiais dispostos na paisagem e a tendência de formação de pavimentos com delineamento do tipo cânion (Rizwan; Dennis; Liu, 2008; Gartland, 2010).

Concordando com essas análises, Corrêa (2016) explicita que o aumento da temperatura superficial terrestre e a do ar, em áreas urbanas e suburbanas em relação as áreas circundantes, podem ser definidas como ilhas de calor (IC). E a intensidade da IC pode ser medida a partir das diferenças do gradiente térmico encontrado nos dois ambientes. Para Souza, Paranhos Filho e Guaraldo (2020), ilhas de calor urbanas são geradas por fatores físicos naturais (velocidade dos ventos regionais) e artificiais (materiais construtivos que oferecem respostas diferenciadas a absorção e liberação de calor). Nesse mesmo caminho, Gartland (2010) acrescenta que a formação das ilhas de calor no ambiente urbano está relacionada a junção de diferentes fatores, a saber, evaporação e convecção reduzidas, maior armazenamento de calor, aumento do saldo de radiação e o aumento do calor antropogênico.

Em seus estudos sobre as características climáticas da Região Metropolitana de Curitiba, Mendonça e Dubreuil (2005) evidenciaram a formação de zonas de temperaturas elevadas dentro da mancha urbana e variações na temperatura dentro destas zonas, evidenciando que a cidade produz diferenciações na sua temperatura, tanto em relação as áreas rurais, quanto em relação aos espaços intraurbanos. Os autores destacam que essas variações na temperatura da cidade, podem ser definidas como ilhas de calor, e, trazem a luz outro conceito, as ilhas de frescor que são áreas de baixa temperatura dentro da mancha urbana. Estes espaços estão relacionados a ocorrência de áreas verdes e a disposição de recursos hídricos na paisagem urbana.

Neste mesmo caminho, Souza, Paranhos Filho e Guaraldo (2020) argumentam que os estudos em clima urbano, na perspectiva das ilhas de calor, devem seguir a

metodologia de definição de zonas homogêneas, haja vista, que as mudanças intraurbanas no uso do solo, na estrutura da superfície, material construtivo e atividade humana produzem variações no clima urbano, a partir das diferenças térmicas destes ambientes. A proposição de zonas climáticas consiste na setorização da macha urbana em áreas homogêneas, com tipos de usos semelhantes e que terão respostas termais similares. A partir da definição das zonas e identificação de como se comportam as ilhas de calor nestes ambientes, podem-se elaborar mapas temáticos que representam a variação da temperatura local.

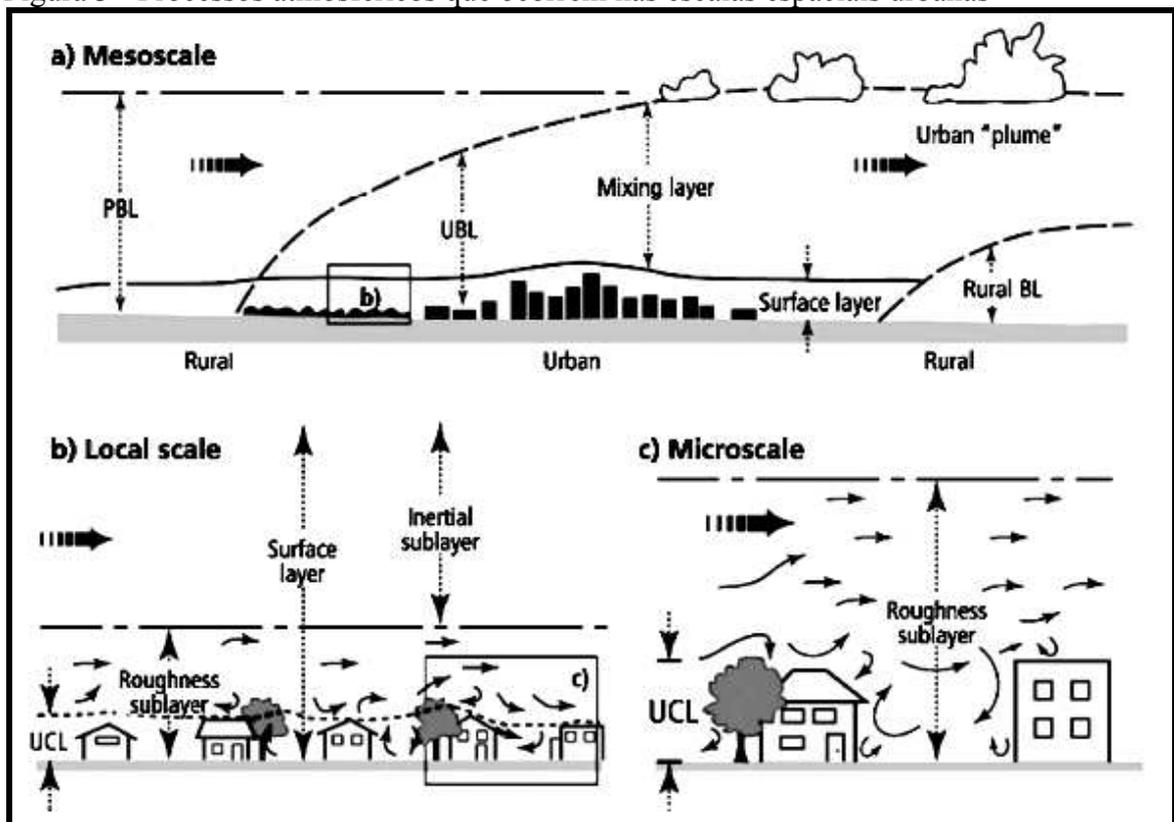
Grimmond (2004) baseado nos estudos realizados por Oke (1997) apresenta a espacialização das escalas espaciais do clima urbano que visa distinguir os processos atmosféricos e as camadas atmosféricas de cada escala. Estes pressupostos orientam a determinação dos estudos de identificação de ilhas de calor. Na etapa representada pela a letra “a” ele apresenta a camada limite planetária (*planetary boundary layer - PBL*) e a camada limite urbana (*urban boundary layer - UBL*) que estão sob condições convectivas de tempo (Figura 3). A camada PBL é caracterizada pela turbulência, sendo fundamental na identificação do padrão espacial e temporal das ilhas de calor. Na camada UBL, por estar mais próxima da superfície apresenta maior interferência, tendo suas características produzidas pela natureza da superfície urbana, com destaque para a ação da rugosidade (Lucena, 2012). Estas camadas estão associadas a mesoescala de análise.

No item “b” observamos a camada de dossel urbano (*urban canopy layer - UCL*) que está na altura média dos elementos de rugosidade, sendo composta por uma mistura de edifícios e árvores (Figura 3). Esta camada é produzida pelos vários processos ocorridos em microescala (Lucena, 2012) e está associada a escala local de análise. No cenário “c” temos um recorte dos cenários anteriores, representando “os vales urbanos (canyons urbanos), que incluem as paredes dos edifícios e os corredores entre edificações altas e concentradas separadas por ruas” (Lucena, 2012, p.16), demonstrando as características do microclima dessa área. Somados a estes fatores o autor evidencia a dinâmica da ventilação em cada escala de análise.

Ao observar a figura 3, nota-se uma certa generalização na representação dos ambientes passíveis de geração de ilhas de calor, com destaque para o centro urbano, numa dicotomia abrupta com relação aos ambientes rurais. Sabe-se, que a cidade é muito mais complexa do ponto de vista da sua organização espacial e estrutural, nota-se que outros ambientes também são passíveis de gerarem fenômenos climáticos, como as ilhas de calor, sobretudo, as áreas periféricas densamente construídas. Oke (1987) apresenta um esquema mais detalhado que demonstra essas diferenciações no espaço intraurbano, tal aspecto pode

ser visualizado na figura 4 onde observa-se que à medida que o ar se desloca do campo para a cidade, ele encontra novas condições bem diferentes da situação do seu local de origem. Ao adentrar a camada limite urbana, as condições climáticas passam a serem orientadas integralmente pela natureza da superfície urbana e abaixo do nível do telhado pode-se observar a ocorrência de variados microclimas em diferentes pontos da cidade que apresentam uma correlação direta com o seu entorno imediato.

Figura 3 - Processos atmosféricos que ocorrem nas escalas espaciais urbanas



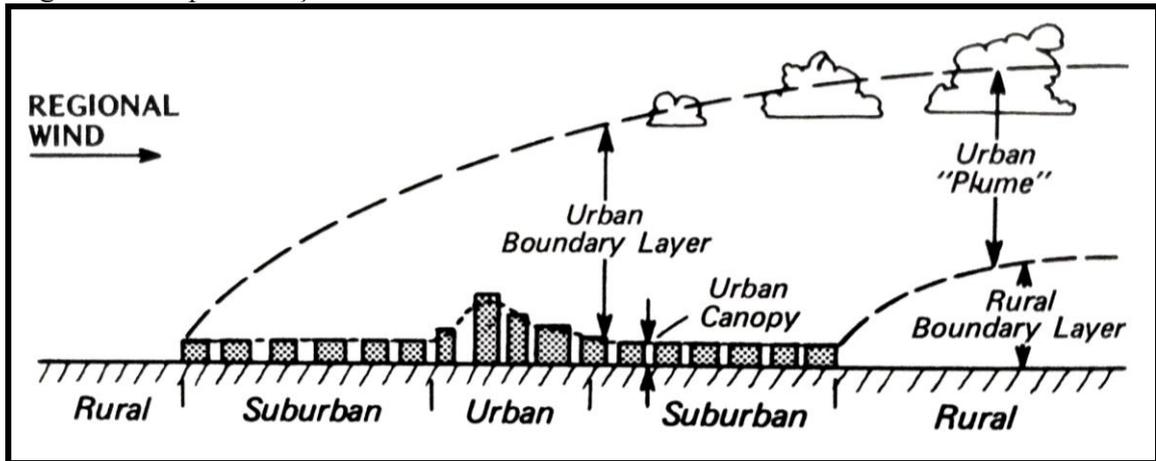
Fonte: Grimmond, 2004. (a) *planetary boundary layer – PBL* e *urban boundary layer – UBL*; (b) *urban canopy layer – UCL*; (c) canyons urbanos.

De base desses esquemas teóricos, Amorim e Dubreuil (2017) a partir de sua definição de que a ilha de calor urbana é caracterizada por uma cúpula de ar quente que cobre áreas construídas em ambientes urbanos, argumenta que as ilhas podem ser classificadas em três tipos, de acordo com a camada em que se formam, conforme observamos na figura 2.

A literatura sobre estudos climáticos urbanos classifica três tipos de ilhas de calor, dependendo da camada em que se encontram: (1) uma ilha de calor superficial detectada por sensoriamento remoto; (2) a ilha de calor atmosférica inferior, que Oke chamou de camada de dossel urbano, localizada entre o nível do solo e o nível médio do telhado; (3) a ilha de calor da alta atmosfera urbana, rotulada como camada limite urbana por Oke. Este último sobrepõe-se ao anterior, estendendo-se por vezes à atmosfera livre (Amorim; Dubreuil, 2017 p. 1, tradução nossa).

Para cada perspectiva de ilhas de calor inferem-se metodologias diferenciadas para a avaliação das mesmas, que perpassam desde o uso de sensoriamento remoto a coletas microclimáticas em campo. Alguns estudos tem utilizado os métodos isoladamente, enquanto outros, tem buscado correlacionar as duas perspectivas, afim de usar os dados de campo para confirmar os dados observados pelas imagens de satélite.

Figura 4 – Representação da atmosfera urbana



Fonte: Oke, 1987.

García (1996) e García e Álvarez (2008) em seus estudos para o contexto de Madri evidenciaram uma classificação que visa orientar o agrupamento das variações de temperatura quando identificamos a formação de ilhas de calor no ambiente urbano, tendo como base a magnitude de cada evento. Desse modo, definiram quatro intervalos, a saber, ilhas de calor com intensidades fraca, com intervalos abaixo de 2 °C, moderada, entre 2°C a 4°C, forte, de 4°C a 6°C, e muito forte, quando os valores encontrados superam os 6 °C. Tal classificação oferece um arcabouço teórico-prático para mensurar esses eventos nos ambientes analisados, porém convém salientar que cada realidade geográfica responde de forma diferente, logo a aplicação das classificações deve considerar antes de tudo a análise do objeto em estudo e sua aplicabilidade.

Por fim, é importante ressaltar que os estudos que visam mensurar as ilhas de calor em ambiente urbano apresentam importância significativa para a qualidade ambiental da cidade, visto que os mesmos podem contribuir com alternativas para redução de seus efeitos. Concordamos com Gartland (2010) quando ela aponta que a mitigação das ilhas de calor tem como principais benefícios a redução das temperaturas, economia de energia, melhoria da qualidade do ar, conforto humano e melhorias para a saúde, redução de enchentes, manutenção e redução de resíduos e benefícios estéticos.

## 2.4 O clima urbano de cidades médias e pequenas semiáridas

Como vimos, o estudo das ilhas de calor (IC) no ambiente urbano tem contribuído de forma efetiva com o entendimento das questões ambientais na cidade. Ao analisar a produção bibliográfica acerca desse tema, nota-se que em sua maioria são estudos voltados aos grandes centros urbanos e áreas metropolitanas (Corrêa, 2016; Maranholi; Gonzalez, 2018; Vianna, 2018; Algretawee; Rayburg; Neave, 2019; Yu; Chen; Wong, 2020). Isto se deve ao fato de que esses ambientes apresentam processos de ocupação mais consolidados, logo as problemáticas ambientais são percebidas em maior escala. Além desse fator, nota-se que as grandes cidades tenderam a concentrar os centros de pesquisa, favorecendo assim o desenvolvimento de estudos em seus espaços urbanos.

Na contemporaneidade, com o avanço do processo de descentralização dos centros de pesquisa e a expansão das cidades médias e pequenas, a partir da inserção destas no contexto industrial, vemos uma mudança nesse cenário com o desenvolvimento de estudos exploratórios acerca de diferentes temáticas climáticas, sobretudo sob a ótica das ilhas de calor. Esses estudos apresentam importância crucial para esses ambientes, visto que nas últimas décadas esses veem apresentando um crescimento significativo, com a formação de centros urbanos dinâmicos regionalmente e que se expandem continuamente de forma espontânea, com poucas ações de planejamento (Castro; Costa, 2016; Amorim, 2017; Amorim, 2020; Oliveira, 2020).

Para Monteiro e Mendonça (2011) as cidades de pequeno e médio porte não apresentam as mesmas características urbanas das grandes metrópoles, evidenciando que este fato consiste em uma facilitação na compreensão do clima urbano desses ambientes.

As cidades de porte médio e pequeno possuem então características geográficas bastantes diferenciadas daquelas de grande porte e metropolitanas e apresentam, portanto, consideráveis facilidades para a identificação de suas paisagens intraurbanas; estas, previamente identificadas, permitirão uma melhor compreensão da interação sociedade-natureza na construção do clima urbano (Monteiro; Mendonça, 2011, p. 96)

Pesquisas realizadas no Brasil e em diferentes regiões do mundo, constataram que as cidades médias e pequenas são capazes de gerar variações em seu clima local, sobretudo, variações na temperatura atmosférica e terrestre, pressupondo a formação de ilhas de calor, devido ao avanço do processo de urbanização e dos materiais dispostos na paisagem urbana. (Cardoso *et al.*, 2017; Gomes, 2019).

A nível global percebe-se importantes avanços nos estudos climáticos no contexto das cidades de pequeno e médio porte (Foissard; Dubreuil; Quénot, 2019). Segundo Amorim e Dubreuil (2017) com o estudo comparativo para as cidades de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França), duas cidades médias que apresentam influência regional e histórica em seus respectivos países, identificaram importantes gradientes de intensidade de ilhas de calor.

Nas cidades de médio porte de clima tropical continental e temperado oceânico, o processo de uso e ocupação do solo resultou em um clima urbano, com características sazonais mais ou menos intensificadas. Valores médios de intensidade da ilha de calor acima de 6°C para Presidente Prudente e 3°C para Rennes mostram a necessidade de medidas capazes de reduzir o desconforto térmico ao longo do ano, quando as temperaturas são naturalmente altas e intensificadas pela geração de ilhas de calor [...] (Amorim; Dubreuil, 2017, p.11, tradução nossa).

Dubreuil (2020) em estudo com maior aprofundamento sobre a realidade de Rennes, destaca a importância da alta cobertura de estações de coletas de dados, fato que não observamos para o caso brasileiro. Para a realidade estudada pelo autor, sob um clima temperado, observou-se variações consideráveis nas temperaturas do ar ao longo do dia e das estações do ano. As variações cidade-rural também se destacaram, tendo em vista, principalmente, o potencial de ventilação de cada espaço. Por fim, o autor ressalta que a maior espacialização das ilhas de calor ocorreu no período noturno.

Nos estudos de Busato, Lazzarin e Noro (2014) para a cidade de Pádua (Itália), consideraram a diversidade de paisagens no ambiente urbano, avaliando os dados de temperatura para o centro histórico, zonas residenciais povoadas de alta e baixa densidade, zona industrial e zona rural. Como resultados eles encontraram intensidades de ilhas de calor em zonas urbanas da cidade de até 6 °C, para os ambientes de maior urbanização.

Huang, Chang e Wang (2020), em seus estudos para a cidade de Chiayi (Taiwan), sob predomínio de um clima tropical, encontraram menores intensidades de ilhas de calor durante a noite. Os gradientes de temperatura encontrados foram de 4,1°C, durante o dia, e de 2,5°C, nas coletas do período noturno. Ainda nessa pesquisa, os autores correlacionaram os dados com as características urbanas da cidade, elemento de elevada importância nos estudos de clima urbano.

No caso Brasileiro, os principais estudos sobre ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte estão situados na porção centro-sul do país, com destaque para os trabalhos de Amorim. Esses trabalhos oferecem arcabouço teórico para entender como as ilhas de calor se comportam em ambientes que não apresentam uma malha urbana consolidada. Para Amorim (2020) a estrutura das ilhas de calor visualizada nos variados tipos

climáticos, sobretudo os apresentados pela climatologia clássica de climas temperados, nem sempre aparece nos ambientes urbanos de pequeno e médio porte.

Algumas características comuns ao fortalecimento das ilhas de calor podem ser visualizadas nas duas realidades, tais quais, a estabilidade atmosférica que favorece a máxima intensidade das ilhas de calor, as condições de relevo pouco acidentados, a relação de altas temperaturas com áreas densamente ocupadas e a diminuição da vegetação urbana (Amorim, 2020). Porém, diferentemente do que se observa nas ilhas de calor em ambientes temperados e tropicais de grande porte e/ou metropolitanos, as ilhas de calor nas cidades pequenas e médias não apresentam uma estrutura exclusiva de superaquecimento do centro e uma abrupta queda de temperatura ao se aproximar das áreas rurais. Segundo Amorim (2020, p.139) a distribuição espacial das ilhas de calor “não possui uma estrutura única, mas, sim, um conjunto de ilhas com vários núcleos diretamente relacionados aos padrões construtivos dos bairros, que, mais ou menos concentrados, revelam as condições de vida das pessoas”.

Por meio desses estudos reafirma-se a ideia inicial da pesquisa de que cidades médias podem gerar dados significativos a respeito do fenômeno abordado. Amorim (2020) em sua pesquisa para a cidade de Presidente Prudente identificou picos de ilhas de calor de magnitudes forte e muito forte, para coletas no período noturno, nas áreas densamente construídas, tanto no centro urbano quanto nos conjuntos habitacionais de baixo padrão construtivo na periferia da cidade.

A partir dessa discussão emerge o contexto das cidades pequenas e médias sob influência de um clima tropical semiárido situadas no nordeste brasileiro. Tais cidades se diferenciam das realidades supracitadas, visto que apresentam um ambiente natural propício ao calor devido as altas taxas de insolação, as características dos tipos de tempo e o regime hídrico desses ambientes. Logo, seus estudos devem considerar o ambiente de semiaridez como um fator que pode contribuir para as questões identificadas na avaliação do clima urbano.

Oliveira (2020) em sua avaliação do clima urbano de Crateús, cidade pequena sob influência de um clima semiárido, observou diferenças térmicas nas áreas inter e intraurbanas, a partir do uso de índices espectrais e imagens termais. Além desses resultados, o autor observou nas áreas rurais elevação da temperatura, associadas a vegetação de caatinga caducifólia e a áreas com solo exposto.

Estevão, Albuquerque e Silva (2020) evidenciaram para a realidade de Juazeiro do Norte, variações térmicas consideráveis ao traçar duas perspectivas metodológicas: os transectos móveis e as imagens termais. As autoras alertam para as diferenças conforme os

tipos de tempo, considerando também os fenômenos meteorológicos locais e regionais atuantes e os fatores inerentes ao urbano.

Silva, Moura e Luna (2020) ao avaliar o ambiente urbano da cidade de Crato identificaram ilhas de calor de média magnitude para os diferentes tipos de tempo. Dentre os horários avaliados, a maior intensidade das ilhas de calor foi evidenciada no período da tarde, às 14 horas, com diferenças de 5°C entre os extremos máximo e mínimo de temperatura.

Bezerra (2013) ao pesquisar o clima urbano sob a ótica das ilhas de calor e conforto térmico para quatro cidades distintas localizadas no semiárido nordestino, evidenciou a ocorrência de ilhas de calor de forte intensidade, com destaque para gradientes que chegam a 5,3°C na área urbana de Petrolina (PE). Associada a esta análise, o autor avalia que concomitante a ocorrência do fenômeno evidenciou-se altos índices de desconforto térmico.

De base dessas análises, pretende-se nessa pesquisa avaliar o clima urbano de Sobral, Ceará, a partir do uso de modelos de classificação e coletas de dados em campo. Sabe-se que a cidade já convive com diferentes questões em seu clima (Duarte; Caracristi, 2004; Muniz; Caracristi, 2019; Monteiro; Caracristi; Almeida, 2020) devido a considerável expansão da cidade nas últimas décadas e, portanto, necessita de estudos atualizados que correlacione os impactos desta rápida urbanização com o âmbito climático.

## **2.5 Sistemas de classificação na climatologia urbana**

Na atualidade o estudo do clima urbano é realizado a partir de diferentes abordagens metodológicas, onde a escolha desta é feita de acordo com objetivo do trabalho e da base referencial escolhida. Para Amorim (2015) os principais avanços visualizados na climatologia urbana nas últimas décadas tratam do uso de ferramentas mais sofisticadas para a aquisição e avaliação dos dados com instrumentos mais tecnológicos. Ressalta também que o advento do sensoriamento remoto contribuiu de forma massiva nos estudos de clima, sobretudo de clima urbano, possibilitando a melhor representação dos resultados a partir da espacialização das informações.

Nesse caminho quando analisamos a climatologia urbana brasileira, alguns sistemas de classificação se destacam, sobretudo aqueles voltados as coletas de dados primários, com destaque para as variações de temperatura, umidade, direção e velocidade do vento (Lombardo, 2008). Dentre esses trabalhos destacam-se Danni-Oliveira (1982) que mapeou o campo térmico urbano e a variação de umidade para Porto Alegre; O trabalho de Carlos Augusto Figueiredo Monteiro que abordou o clima urbano a partir da noção de ritmo,

onde a avaliação dos dados era “realizada por meio da técnica da análise rítmica que visa relacionar as variáveis meteorológicas com a dinâmica da atmosfera” (Ogashawara, 2012, p. 57) e a posterior criação do Sistema Clima Urbano, que avalia o ambiente da cidade por meio da abordagem sistêmica e categoriza os impactos em canais de percepção. No trabalho de Lombardo (1985) podemos observar a classificação do clima urbano a partir do uso de imagens termais, modelos de correção e avaliação do uso da terra.

A utilização da modelagem em climatologia também tem ganhado espaço entre os pesquisadores da área, visto que essa oferece muitas vantagens, sobretudo na definição de cenários futuros. Para Rocha e Salvi (2017) os modelos são representações e simplificações da realidade geográfica. No campo da geografia, a construção e o uso da modelagem “tem um relevante papel nas análises espaciais, sobretudo se levarmos em consideração seus conceitos fundamentais como: o lugar, a região, o território, a paisagem, etc.” (Rocha; Salvi, 2017, p. 149). Para o âmbito da climatologia, os modelos buscam simular os fenômenos climáticos inerentes a cidade, definindo o progresso e futuros desmembramentos no espaço geográfico (Christofoletti, 1999; Lima Júnior, 2018).

Algumas pesquisas na área têm buscado inserir em suas análises a perspectiva da estatística, a fim de obter dados de correlação entre as variáveis climáticas, propondo cenários de avaliação para o clima urbano da cidade em estudo. Observa-se que a maioria dos trabalhos propõem uma avaliação conjunta de várias metodologias, visando uma classificação mais precisa da atmosfera urbana.

Na atualidade o maior destaque consiste no uso do sensoriamento remoto para a avaliação e classificação do clima urbano, haja vista que esse tem oferecido muitas possibilidades de inovações no estudo do clima, sobretudo as relacionadas a análise conjunta dos fatores climáticos e a urbanização da cidade. Nesse contexto, duas classificações emergem e se expandem para o estudo de diferentes realidades geográficas. A primeira delas consiste no mapeamento climático urbano, proposto por Katzschner (1997), onde a partir da análise multicritério de variáveis climáticas, ambientais e urbanas gera-se uma classificação do clima da cidade. A metodologia parte da classificação da cidade a partir de seu potencial térmico e dinâmico, contribuindo, assim, para a determinação da existência das ilhas de calor. A segunda proposta consiste na criação de zonas climáticas locais, que se propõe a avaliação da geometria urbana e a categorização dessas em zonas homogêneas que apresentam respostas climáticas semelhantes. Esta classificação foi proposta nos trabalhos desenvolvidos por Stewart (2011) e Stewart e Oke (2012), onde os autores apresentam exemplares de esquemas que contribuem para a categorização da paisagem da cidade.

### **2.5.1 O Mapa Climático Urbano (Urban Climate Map)**

O Urban Climate Map (UCMap) ou Mapa Climático Urbano consiste em “uma metodologia quali-quantitativa que “traduz” um conjunto de dados climáticos no âmbito do planejamento urbanístico a partir de uma plataforma de informações estratégicas” (Albuquerque *et al.*, 2022, p. 893.). A partir da aplicação das ferramentas de geoprocessamento, esse mapeamento evidencia diferentes classes térmicas, obtidas a partir do cruzamento de variáveis climáticas, ambientais e urbanísticas. Ademais, o UCMap define-se como uma ferramenta de informação que contém parâmetros relevantes do ambiente urbano e apresenta como finalidade “reconhecer funções climáticas urbanas e contribuir na descrição da atmosfera mais próxima às edificações” (Ribeiro, 2013, p. 36).

Em síntese, o sistema UCMap apresenta como dados de entrada uma série de camadas que podem estar associadas a elementos climáticos e meteorológicos, dados geográficos do terreno, informações sobre vegetação e parâmetros de planejamento. Estas variáveis consistem em sugestões que podem ser modificadas pelo pesquisador, considerando o grau de relacionamento que estas apresentam em relação ao fenômeno observado e o objetivo do estudo (Ng; Ren, 2015). A elaboração do UCMap pressupõe a geração de dois *outputs*, sendo estes, o mapa de análises climáticas (UC-AnMap) e o de recomendações ao planejamento (UC-ReMap), considerando que um dos principais objetivos para a elaboração de mapas climáticos refere-se a sua contribuição no gerenciamento das problemáticas urbanas da cidade, sobretudo as de origem climáticas.

Segundo Ng e Ren (2015) o mapa climático urbano (UCMap) é uma ferramenta de informação e avaliação que visa integrar fatores climáticos e considerações de planejamento urbano, apresentando fenômenos climáticos e problemas em mapas espaciais bidimensionais. Nesse mesmo sentido, Freitas *et al.* (2021) defende que o UCMap apresenta a função primordial de espacializar dados que isoladamente não auxiliariam de forma contundente o planejamento urbano, além de destacar que a criação do UCMap pressupõe diferentes metodologias e técnicas. Souza (2010) acrescenta que a elaboração do UCMap apresenta uma importância crucial para os órgãos de planejamento, e por este, consistir em uma ferramenta didática de informações, todos os componentes da sociedade podem acessar estes dados. Dessa forma, conclui-se que a elaboração de mapas climáticos apresenta função primordial ao se trabalhar com a dinâmica do clima da cidade, visto sua contribuição no âmbito do planejamento e sua facilitação para a divulgação dos dados gerados.

Embora sua gênese esteja associada ao campo da arquitetura e sua literatura tenha uma relação intrínseca ao aspecto do planejamento urbano, na atualidade pode-se identificar diversos estudos no norte e sul global, associados ao mapeamento climático, seja estes voltados diretamente ao planejamento, ou somente, associados ao diagnóstico térmico da cidade e do efeito direto de sua urbanização.

Os estudos relacionados ao UCMaP têm como principais precursores as experiências realizadas por pesquisadores alemães durante a década 1970. Estes grupos de pesquisa buscavam a princípio mitigar os efeitos da poluição do ar, a partir do conhecimento das condições térmicas e de ventilação da cidade, contribuindo, assim, para planejamento do uso da terra. Os anos que se seguiram, 1980 e 1990, foram ainda mais frutíferos para o campo teórico e metodológico do UCMaP, com estudos que se expandiram para outros vieses, incluindo assim, as perspectivas da urbanização, associados aos mapas climáticos e dados de campo, gerando uma base cartográfica densa e em diferentes escalas de análise (Ng; Ren, 2015). A partir dessas experiências exitosas, a metodologia UCMaP se difundiu para as diferentes partes do globo sendo incluída principalmente nos estudos climáticos dos países asiáticos e americanos, além destes, os países europeus que ainda não haviam construído seu UCMaP também passaram a incluí-lo em seus estudos para diferentes finalidades.

Um dos principais autores e difusores dessa metodologia no âmbito dos estudos do clima no Brasil consiste no pesquisador Lutz Katzshner (1997), onde o mesmo propõe a setorização dos elementos da paisagem urbana que possuem carga térmica (aquecimento e resfriamento da atmosfera urbana) e potencial dinâmico (fatores que contribuem para o aumento ou a diminuição das condições de ventilação) para, posteriormente, realizar a sobreposição destas informações para a geração de um mapa final que contém as especificidades do ambiente urbano e da atmosfera próxima a superfície. As variáveis utilizadas no modelo podem ser definidas de acordo com a análise do sítio urbano e com o objetivo final da pesquisa.

Diversos estudos tem se destacado no desenvolvimento desta proposta metodológica de análise. Convém citar as experiências precursoras das cidades de Stuttgart (Baumüller, 2008) e Kassel, na Alemanha (Ng *et al.*, 2012), em Hong Kong, na China (Ng *et al.*, 2012), e São Paulo, no Brasil (Sepe; Takiya, 2002). Dentre os trabalhos nacionais mais recentes desenvolvidos na área, destacam-se as propostas de Souza (2010) que pesquisou e elaborou o UCMaP para a cidade de João Pessoa, na Paraíba, e Ribeiro (2013), que fez uma revisão e aprofundamento do mapa climático desenvolvido para a cidade de João Pessoa, na Paraíba. Ferreira, Assis e Katzschner (2017) elaboraram a proposta de construção de um mapa

analítico para Belo Horizonte e evidenciaram a baixa carga térmica da cidade, onde as classes de maior potencial dinâmico predominaram na paisagem urbana (Figura 3).

Na pesquisa desenvolvida por Lima Júnior (2018) para a cidade de Fortaleza buscou-se avaliar a realidade urbana da urbe e correlacionar a perspectiva do UCMMap com a distribuição dos casos de dengue. Para a cidade de Recife, Freitas *et al.* (2021) evidenciou quatorze microclimas distribuídos sob três macrozonas, sendo as áreas mais adensadas e verticalizadas as que apresentaram classes de maior carga térmica.

No trabalho de Santos (2021) ao aplicar a metodologia de mapeamento climático urbano na escala microclimática e correlacionar com dados meteorológicos de campo, verificou-se diferenças térmicas importantes para um recorte da cidade de Vitória no estado do Espírito Santo, propondo a partir dos resultados diretrizes ao planejamento urbano que visam a melhoria térmica da área analisada. Esse trabalho apresentou diferenciações em relação a escala espacial e temporal, visto que sua análise se pautou em um recorte de um bairro da cidade, gerando mapas climáticos para variados tipos de tempo e horários do dia, diferentemente do observado nos demais trabalhos que adotam a cidade enquanto recorte espacial.

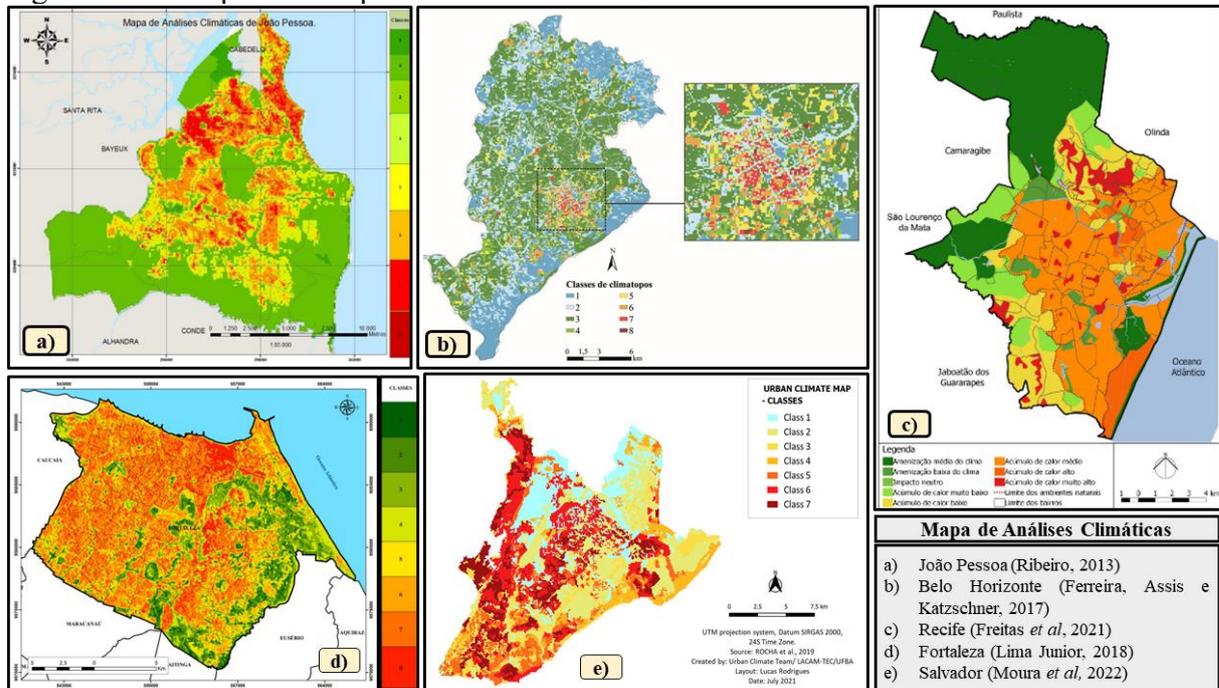
Fernandes (2021), por sua vez, aplicou a metodologia UCMMap para a cidade de Petrópolis no Rio de Janeiro, evidenciando as áreas de maior e menor aquecimento e arrefecimento, evidenciando também a importância da geração dos mapas que compõem o modelo, o UC-AnMap e o UC-ReMap. No estudo de Moura *et al.* (2022) revisou-se os mapas climáticos urbanos de Salvador a partir da aplicação da metodologia de padrões de uso do solo.

Na figura 5 apresenta-se quatro exemplos, dentre os citados anteriormente, de mapas climáticos urbanos elaborados para o contexto brasileiro. Observa-se que para esses trabalhos o uso do UCMMap pautou-se no diagnóstico térmico do ambiente urbano, não estando, necessariamente, correlacionados a produção do UC-ReMap orientado ao campo do planejamento térmico urbano local. Tal aspecto é mais recorrente nos trabalhos climáticos elaborados a nível internacional.

Ao observar a origem dos estudos no Brasil relacionados a aplicação da metodologia UCMMap, nota-se que em sua maioria são realizados nas grandes metrópoles, assim, como boa parte dos estudos desenvolvidos no âmbito do clima urbano. As metrópoles são ambientes extremamente dinâmicos e por abrigarem um complexo conjunto de atividades, as questões relacionadas ao clima são sentidas com maior intensidade. Entretanto, nas últimas décadas é crescente a preocupação com o clima das cidades pequenas e médias, haja vista,

que estes espaços são polos regionais, com alta concentração populacional, infraestruturas e serviços, sendo, portanto, capazes de configurar diferenciações e impactos no clima a nível local (Amorim, 2000; Castro; Costa, 2016).

Figura 5 – Exemplos de mapas climáticos urbanos no Brasil



Fonte: Organizado pela autora.

A aplicação do UCMaP para as realidades do território brasileiro pressupõe algumas questões teórico e metodológicas. A princípio é importante considerar que a proposta de Katschner (1997) foi elaborada para regiões onde predomina um clima temperado, logo urge a necessidade de adaptação para a realidade em estudo. O mesmo se observa para as referências produzidas no Brasil, essas ao serem utilizadas devem ser adaptadas conforme as características que melhor expliquem a área em estudo, pois as cidades brasileiras apesar de estarem localizadas no mesmo território apresentam condições ambientais diferenciadas e processos urbanísticos que se diferenciam em diversos aspectos, visto que cada cidade imprime uma paisagem única.

Desse modo, para a presente pesquisa buscou-se uma adaptação da proposta original, adequando-a para a realidade de clima tropical semiárido, tendo como principal base os trabalhos desenvolvidos por Ribeiro (2013) em João Pessoa e Lima Júnior (2018) em Fortaleza, considerando que esses estudos são as principais referências quando se trata da região nordeste e clima semiárido na perspectiva dos mapas climáticos.

### 2.5.2 As Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones*)

Quando se observa as perspectivas de mensuração do clima urbano amplamente utilizados na bibliografia, alguns autores tem inferido críticas ao modelo posto. Haja vista, que a aplicação dos métodos de análise das ilhas de calor no ambiente urbano, comumente se baseiam em coletas de dados isolados dos aspectos meteorológicos do clima, fazendo uma correlação incipiente com o uso e cobertura do solo urbano (Stewart, 2011; Stewart; Oke, 2012).

Stewart (2011) e Stewart e Oke (2012) levantam a discussão em torno da genérica avaliação dos dados de temperatura coletadas em campo, sobretudo na simplificação da análise dessas informações, a partir de sua espacialização considerando somente a ótica urbano e rural. De base dessa lacuna, esses autores formataram um sistema de classificação das paisagens urbanas e rurais, que leva em conta os diferentes tipos de uso e coberturas estabelecidos na cidade, a fim de que sejam aplicados nos estudos do clima urbano e correlacionados com as coletas microclimáticas. A principal facilitação dessa metodologia parte do princípio de que a determinação das classes pode abarcar diversas realidades, independentemente do porte da cidade estudada.

A maioria dos pesquisadores simplesmente confiam nos chamados qualificadores urbanos e rurais para descrever as paisagens locais de seus locais de medição. Aqui desenvolvemos uma classificação baseada no clima de locais urbanos e rurais que se aplica universalmente e com relativa facilidade a estudos de temperatura local usando observações em nível de tela. Nosso objetivo nesta classificação é duplo: 1) facilitar a documentação consistente dos metadados do site e, assim, melhorar a base de comparações entre sites, e 2) fornecer um protocolo objetivo para medir a magnitude do efeito da ilha de calor urbana em qualquer cidade (Stewart; Oke, 2012, p.1880, tradução nossa).

Nessa classificação, a paisagem é dividida em classes que estão em uma escala local e apresentam uma natureza climática e zonal, sendo denominadas de Zonas Climáticas Locais (*local climate zone – LCZ*). Segundo Stewart e Oke (2012, p.1884) as LCZs são caracterizadas como “regiões de cobertura de superfície uniforme, estrutura, material e atividade humana que se estendem de centenas de metros a vários quilômetros em escala horizontal”. Além dessas características, observa-se singularidades em relação a temperatura em cada zona e como estas são individualizadas.

Cada LCZ tem um regime de temperatura na altura dos edifícios característico que é mais aparente em superfícies secas, em noites calmas e claras e em áreas de relevo simples. Esses regimes de temperatura persistem o ano todo e estão associados aos ambientes ou ecossistemas homogêneos das cidades (por exemplo, parques, centros comerciais), biomas naturais (por exemplo, florestas, desertos) e terras agrícolas

(por exemplo, pomares, campos cultivados). Cada LCZ é individualmente nomeada e ordenada por uma (ou mais) propriedade de superfície distintiva, que na maioria dos casos é a altura de rugosidade ou a cobertura dominante do solo (Stewart; Oke, 2012, p. 1884, tradução nossa).

Kaloustian e Bechtel (2016) revelam que as Zonas Climáticas Locais (LCZ) formam um esquema de classificação sistemático amplamente utilizado nos dias atuais para o zoneamento e categorização das estruturas internas de áreas urbanas e são utilizadas em diversas aplicações, incluindo a climatologia urbana.

Ao tratar das Zonas Climáticas Locais em seus estudos para Hong Kong, Wang *et al.* (2018) reiteram que a metodologia LCZ tornou-se um padrão internacional para analisar a morfologia urbana e, conseqüentemente, contribuir para a identificação do fenômeno de ilhas de calor. Isto se deve a amplitude de paisagens que a classificação abarca e a padronização que os métodos de geração das zonas proporciona ao trabalho do pesquisador.

Ferreira e Ugeda Júnior (2020, p.394) confirmam que a classificação da paisagem em zonas climáticas “permitem uma melhoria no detalhamento do espaço analisado em estudos de climatologia urbana, na escala intraurbana, para além da noção urbano-rural”. Ademais, Dorigon e Amorim (2021, p. 218) acrescentam que “o principal propósito do sistema LCZ é melhorar a comunicação entre os investigadores das ilhas de calor, através de um conjunto de classes que descreva as áreas urbanas e rurais de todo o mundo”.

Nesse mesmo caminho, Ferreira, Ferreto e Duarte (2023) defendem que a LCZ representa um sistema de classificação robusto para os estudos de mapeamento das ilhas de calor, pois possibilita a identificação da magnitude desse fenômeno dentro e entre as zonas, não considerando somente a dicotomia rural e urbano. Em relação aos meios de obtenção das LCZs esses autores acrescentam que podem ser realizados por meio de classificações manuais e/ou automáticas de imagens orbitais, sendo que essa escolha deve obedecer alguns princípios, tais como, “o tamanho da área a ser classificada, a necessidade de resolução espacial da classificação e a disponibilidade de dados sobre o local a ser classificado” (Ferreira; Ferreto; Duarte, 2023, p.3)

Stewart e Oke (2012) evidenciam que o sistema LCZ apresenta uma nova forma de quantificação da magnitude das ilhas de calor nos ambientes urbanos, que supera a convencional diferença do urbano versus o rural. Esta associa-se a comparação entre as classes LCZs, tal aspecto pode ser mensurado a partir da seguinte fórmula,  $\Delta T = LCZ 1 - LCZ D$ , onde a magnitude da Ilha de calor urbana (ICU) é dada pela subtração dos dados térmicos da classe de maior urbanização pela classe de menor urbanização.

Ao analisar a classificação das paisagens com base na formação de zonas climáticas locais, observamos que Stewart (2011) e Stewart e Oke (2012), definem dezessete LCZs padrão. Destas, “10 são relacionadas aos tipos de construções e 7 referentes aos tipos de cobertura da terra. [...] Existe uma classe para o uso industrial e 4 subdivisões que podem ser usadas para caracterizar propriedades sazonais de cobertura da terra” (Cardoso; Amorim, 2017, p. 78).

Na figura 6, identificamos os tipos construídos representados do 1 ao 10, os tipos de cobertura contidos nas letras de A - G e as subdivisões apresentadas nas letras *b*, *s*, *d* e *w*. Desde modo, podemos nomeá-las da seguinte forma, a LCZ 1 – Compacta de alta elevação; LCZ 2 – Compacta de média elevação; LCZ 3 - Compacta de baixa elevação; LCZ 4 – Aberta de alta elevação; LCZ 5 - Aberta de média elevação; LCZ 6 - Aberta de baixa elevação; LCZ 7 – Compacta pouco consolidada de baixa elevação; LCZ 8 – Grandes construções de baixa elevação; LCZ 9 – Construções esparsas; LCZ 10 – Indústria.

Em relação aos tipos de cobertura temos, LCZ A – Vegetação arbórea densa; LCZ B – Vegetação arbórea esparsa; LCZ C – Vegetação arbustiva; LCZ D – Vegetação rasteira; LCZ E – Rocha exposta/pavimentada; LCZ F – Solo exposto/areia; LCZ G – Água. Por fim, as características variáveis da cobertura do solo, *b* - árvores sem folhas; *s* – terra coberta de neve; *d* – terra seca; *w* – terra úmida (Figura 6).

Cada LCZ é seguida de suas características, observando os aspectos relativos à densidade de construções, o nível de verticalização, a impermeabilização do solo e os tipos de materiais construtivos. Para os ambientes abertos, avalia-se os tipos de vegetação presentes, o estado de impermeabilização e a exposição do solo, considerando, inclusive, as atividades econômicas desenvolvidas na área.

A delimitação das zonas climáticas resulta de um agrupamento de informações “que configuram e caracterizam as propriedades geométricas e de cobertura de superfície e propriedades térmicas, radiativas e metabólicas” (Monteiro, 2018, p. 34). A estrutura das LCZs considera por meio de projeções computadorizadas o fator de visão do céu (FVC), o aspecto de ratio ou relação H/W, a fração de superfície edificada, as frações de superfície impermeável e permeável, altura e classes dos elementos de rugosidade, albedo superficial e o calor antropogênico (Stewart; Oke, 2012; Monteiro, 2018; Werneck, 2022).

Como discutimos ao longo do trabalho de tese, cada cidade é um ambiente complexo, dotado de uma paisagem única e que se difere de outros ambientes urbanos. Nesse contexto, observa-se que o caráter genérico adotado pela metodologia LCZ apresenta algumas limitações na sua aplicação, principalmente se analisarmos a cidade a partir do seu

porte, haja vista que as feições urbanas de uma metrópole diferem das visualizadas em uma cidade média, por exemplo. Werneck (2022, p. 107) orienta que a classificação LCZ “por se tratar de um sistema genérico, é esperado que suas tipologias não atendam às particularidades de áreas urbanas, rurais e naturais de todo o globo”. Esta autora alerta ainda que a classificação mencionada não substitui um mapa climático urbano, tendo em vista o seu caráter universal e as limitações na interpretação e descrição de seus componentes. Assim, considerando os aspectos mencionados justifica-se por esse motivo a utilização das duas metodologias no trabalho de tese, visto que as duas se complementam.

Figura 6 – Classificação das zonas climáticas locais

Tipos Construídos	Definição	Tipos de Coberturas	Definição
 <p><b>1. Compacta de alta elevação</b></p>	Densa mistura de edifícios altos com vários pavimentos. Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo pavimentada. Materiais: concreto, aço, pedra e vidro.	 <p><b>A. Vegetação arbórea densa</b></p>	Paisagem densamente arborizada com árvores decíduas e/ou perenes. Cobertura do solo permeável (plantas baixas). A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.
 <p><b>2. Compacta de média elevação</b></p>	Densa mistura de edifícios intermediários (3-9 andares). Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo pavimentada. Materiais: pedra, tijolo, telha e concreto.	 <p><b>B. Vegetação arbórea esparsa</b></p>	Paisagem pouco arborizada com árvores decíduas e/ou perenes. Cobertura do solo permeável (plantas baixas). A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.
 <p><b>3. Compacta de baixa elevação</b></p>	Densa mistura de edifícios baixos (1-3 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo pavimentada. Materiais: pedra, tijolo, telha e concreto.	 <p><b>C. Vegetação arbustiva</b></p>	Arranjo aberto de arbustos e árvores baixas e lenhosas. Cobertura do solo permeável (solo nu ou areia). A função da zona é matagal natural ou agricultura.
 <p><b>4. Aberta de alta elevação</b></p>	Arranjo aberto de edifícios altos com dezenas de andares. Abundância de cobertura vegetal permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais: Concreto, aço, pedra e vidro.	 <p><b>D. Vegetação rasteira</b></p>	Paisagem natural descaracterizada com grama ou plantas/culturas herbáceas. Pouca ou nenhuma árvore. A função da zona é pastagem natural, agricultura ou parque urbano.
 <p><b>5. Aberta de média elevação</b></p>	Arranjo aberto de edifícios intermediários (3-9 andares). Abundância de cobertura vegetal permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais: Concreto, aço, pedra e vidro.	 <p><b>E. Rocha exposta ou pavimentação</b></p>	Paisagem natural descaracterizada com rocha exposta ou cobertura pavimentada. Pouca ou nenhuma árvore ou plantas baixas. A função da zona é deserto natural (rocha) ou transporte urbano.
 <p><b>6 - Aberta de baixa elevação</b></p>	Arranjo aberto de edifícios baixos (1-3 andares). Abundância de cobertura vegetal permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais: madeira, tijolo, pedra, azulejo e concreto.	 <p><b>F. Solo exposto ou areia</b></p>	Paisagem descaracterizada com solo exposto ou cobertura de areia. Pouca ou nenhuma árvore ou plantas baixas. A função da zona é deserto natural ou agricultura.
 <p><b>7. Compacta pouco consolidada de baixa elevação</b></p>	Densa mistura de edifícios de um único pavimento. Cobertura do solo compactada. Materiais de construção leves (por exemplo, madeira, palha, metal corrugado).	 <p><b>G. Água</b></p>	Corpos d'água grandes e abertos, como mares e lagos, ou corpos pequenos, como rios, reservatórios e lagoas.
 <p><b>8. Grandes construções de baixa elevação</b></p>	Arranjo aberto de grandes edifícios baixos (1-3 andares). Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo pavimentada. Materiais: aço, concreto, metal e pedra.	<b>PROPRIEDADES VARIÁVEIS DE COBERTURADO SOLO</b>	
 <p><b>9 – Construções esparsas</b></p>	Arranjo esparsos de edifícios pequenos ou médios em ambiente natural. Abundância de cobertura vegetal permeável (plantas baixas, árvores dispersas).	b. Árvores sem folhas	Caducifólias sem folhas (por exemplo: no inverno). Fator de visão do céu aumentado. Albedo reduzido.
 <p><b>10. Indústria Pesada</b></p>	Estruturas industriais baixas e médias (torres, tanques, pilhas). Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo pavimentada ou compactada. Materiais: metal, aço e concreto.	s. cobertura de neve	Cobertura de neve >10 cm de profundidade. Baixa admissão. Alto albedo.
		d. terra seca	Solo ressecado. Baixa admissão. Grande ratio bowen. Aumento do albedo.
		w. solo úmido	Solo encharcado. Alta admissão. Pequena ratio bowen. Albedo reduzido.

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke, 2012. (tradução nossa)

Corroborando essas afirmativas, Stewart e Oke (2012) evidencia que o sistema LCZ apresenta elevado potencial no apoio a elaboração dos mapas climáticos urbanos, visto que sua estruturação pode colaborar na quantificação das camadas térmicas e morfológicas de um UCMaP, além de apresentar uma caracterização robusta da paisagem urbana. Esse mesmo autor orienta que as LCZs não devem ser utilizadas como única finalidade estabelecer um mapeamento climático, visto que as mesmas são planejadas a partir de uma visão genérica de formas construídas e tipos de cobertura do solo que podem ser encontradas em diferentes realidades geográficas, diferentemente dos climatopos que são elaborados a partir dos conhecimentos da topografia e urbanização local, associados aos aspectos climáticos da área. Além dessas questões Stewart e Oke (2012) defende que a utilização mais apropriada para as LCZ consiste na construção de bases de dados espaciais da forma e cobertura urbana e dos efeitos associados sobre o âmbito térmico para cidades em todo o mundo.

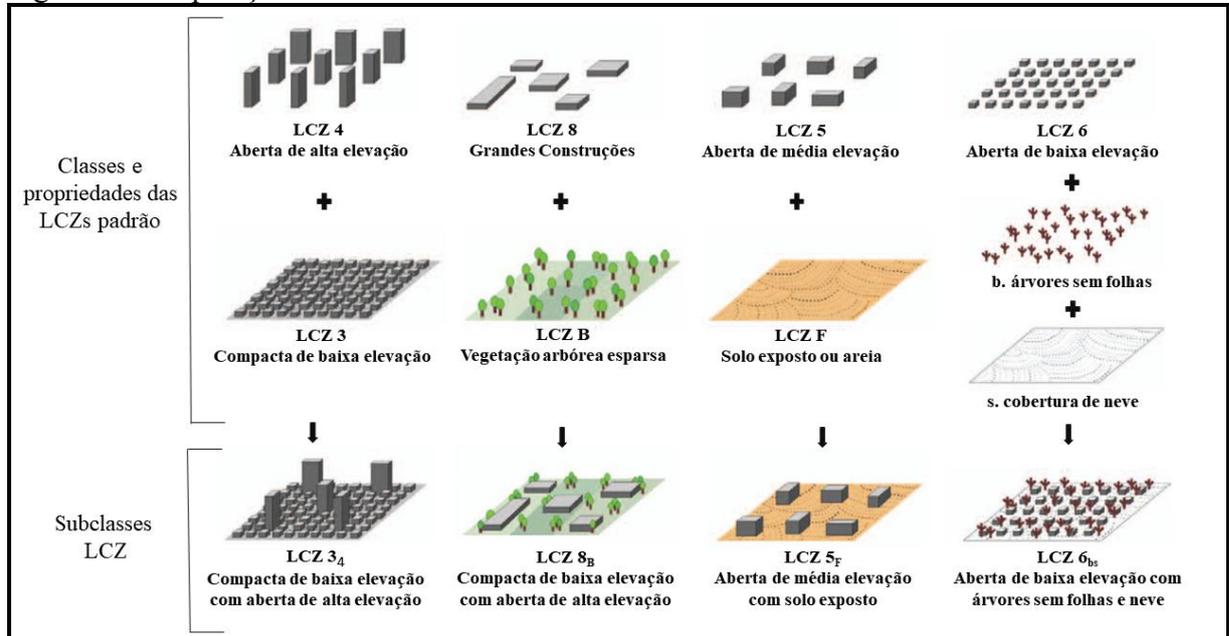
Outro aspecto relevante levantado por Werneck (2022) e que se associa principalmente ao trabalho com cidades pequenas e médias, diz respeito a homogeneidade interna das LCZs, visto que esse aspecto “pode variar entre cidades, tipos de desenho urbano, planejamento e até mesmo se um setor urbano está em fase de consolidação, tipicamente nas bordas da cidade, ou totalmente consolidado” (Werneck, 2022, p. 107). Tal aspecto pode ser observado no caso de Sobral, haja vista a intensa heterogeneidade das paisagens visualizadas na cidade, gerando uma maior dificuldade de mapeamento, principalmente nas zonas associadas a maior verticalização.

Uma saída para a generalização da classificação foi evidenciada por Ferreira, Ferreto e Duarte (2023), onde esses autores orientam que caso a cidade não apresente as feições tal qual a metodologia descreve, deve-se adaptar o modelo por meio da realização de “combinações a partir das classes originalmente propostas para melhor descrever os tecidos urbanos heterogêneos” (Ferreira; Ferreto; Duarte, 2023, p. 3).

Ou seja, assim como descreve Stewart e Oke (2012) em muitos casos a classificação das paisagens da cidade necessitará da criação de subclasses, como por exemplo, se em uma determinada porção da paisagem visualiza-se o predomínio de feições de média elevação com pontilhados associados a feições de alta elevação, essa porção da paisagem compreenderá uma única classe que será resultado da soma das duas feições, porém a classe dominante será a maior determinante nas questões térmicas da área (Figura 7). O mesmo se observa para os tipos de cobertura do solo, sendo importante destacar que a criação indiscriminada de subclasses não é indicada pelos autores da metodologia, visto que traria

uma complexidade para o processo de classificação e, ao mesmo tempo, não reverberaria em ganhos térmicos significativos (Stewart; Oke, 2012).

Figura 7 – Proposição de Subclasses LCZ



Fonte: Adaptado de Stewart e Oke, 2012. (tradução nossa)

Em relação a aplicação da metodologia LCZ nos estudos de clima urbano, observa-se que a mesma apresenta uma difusão recente pelo globo, assim como o método UCMAP. Verifica-se que os países dos continentes europeu e asiático, com destaque para a China, despontam como os principais produtores de estudos com essa temática, em segundo e terceiro lugar cita-se a os países da América do Norte e da África (Souza; Paranhos Filho; Guaraldo, 2020). No Brasil, os estudos orientados à aplicação da metodologia LCZ tem como principal difusora a pesquisadora Margarete Amorim, a partir de seus trabalhos verifica-se uma quantidade considerável de artigos em periódicos de grande impacto, livros, teses e dissertações. Destaca-se também um grupo considerável de arquitetos e urbanistas que tem empregado essa metodologia no país, voltados a análise do campo térmico da cidade para fins de mapeamento do conforto térmico ambiental.

No Ceará, em específico, os estudos são ainda mais recentes, destaca-se os trabalhos pioneiros desenvolvidos por Castro (2022) e Sousa Filho (2023) que aplicaram a metodologia LCZ para as cidades de Eusébio e Quixadá, respectivamente, correlacionando o mapeamento com dados microclimáticos e com produtos de geoprocessamento.

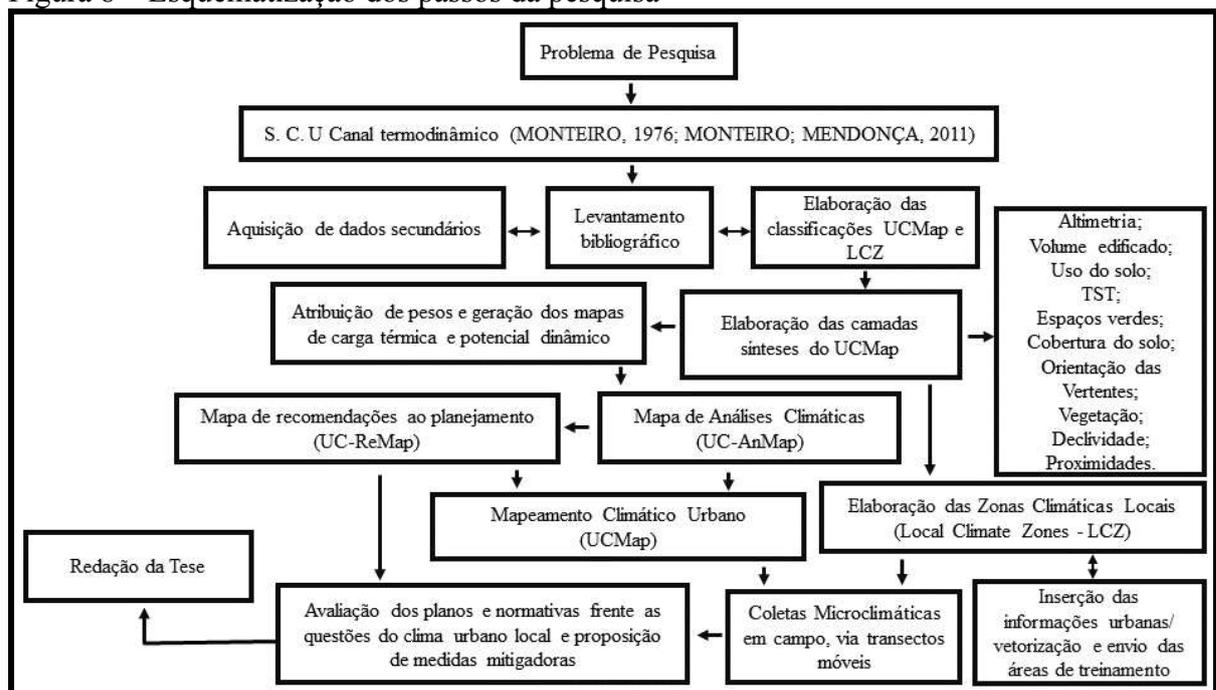
### 3 METODOLOGIA

Este trabalho baseia-se na perspectiva do Sistema Clima Urbano (SCU), que objetiva compreender como se organiza o clima da cidade, tendo como ponto central a atmosfera e suas relações com os fenômenos da urbanização e as ações ecológicas naturais (Monteiro; Mendonça, 2011). Tais pressupostos teórico-metodológicos seguem os princípios da abordagem sistêmica de análise das paisagens.

Buscando uma simplificação classificatória e colocando o homem como um referencial dos problemas e valores dos fatos geográficos, Monteiro definiu o SCU através de canais de percepção humana (Monteiro, 1976; Ugeda Júnior; Amorim, 2016). Para a pesquisa, o canal termodinâmico (conforto térmico) se apresenta como o que permitirá analisar o objeto de estudo com maior clareza, visto que “engloba os componentes termodinâmicos que, em suas relações, se expressam através do calor, ventilação e umidade” (Monteiro; Mendonça, 2011, p. 24). Nesse campo, se inserem os estudos sobre conforto térmico, ilhas de calor etc.

De base da teoria, seguimos duas vertentes metodológicas: o uso das ferramentas de classificação do clima urbano e a coleta de dados climáticos em campo (Poranga; Teixeira; Amorim, 2017; Richard, 2018). Os passos detalhados da pesquisa estão representados na figura 8 e descritos nos itens posteriores.

Figura 8 – Esquematisação dos passos da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.1 Procedimentos metodológicos empregados na pesquisa

Em busca dos resultados pretendidos, a pesquisa foi dividida em etapas de desenvolvimento. A primeira fase consistiu no levantamento bibliográfico, construção da base cartográfica e aquisição de dados secundários. O levantamento bibliográfico compreendeu consultas de periódicos nacionais e internacionais, de banco de teses e dissertações e de livros e e-books que tratavam sobre as temáticas abordadas na pesquisa.

Acerca da base cartográfica, as imagens de satélite foram adquiridas através do site do serviço geológico americano (*United States Geological Survey* – USGS), por meio do endereço eletrônico <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Em relação aos dados geomorfométricos, utilizou-se a base de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponível no site do TOPODATA (Banco de dados geomorfométricos do Brasil), através do caminho <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>.

Para a elaboração dos mapas foram utilizadas as imagens do satélite *Landsat* (*Land Remote Sensing Satellite*), visando obter dados sobre os tipos de uso e ocupação do solo, os atributos naturais, os elementos urbanísticos e as interações atmosfera e superfície. As informações complementares, assim como os dados vetoriais foram obtidos a partir dos sites oficiais, tais como CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos), FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), IPECE (Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará) e SEUMA (Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente).

A segunda etapa consistiu na elaboração do mapeamento UCMMap e LCZ utilizando-se das ferramentas do sensoriamento remoto e do geoprocessamento. Desse modo, para a construção do Urban Climate Map (UCMap) ou Mapeamento Climático Urbano, foram elaborados mapas temáticos de variáveis ambientais e urbanas, seguindo a proposta de Katzshner (1997) e as adaptações realizadas por Ribeiro (2013) e Lima Júnior (2018), com as devidas correções para aplicação em um contexto de clima tropical semiárido. Destaca-se que o UCMMap é composto por dois *outputs*, um mapa de análises climáticas (UC-AnMap) e um mapa de recomendações ao planejamento (UC-ReMap).

As variáveis que compuseram o UCMMap de Sobral foram escolhidas conforme a influência que as mesmas exerciam sobre o ambiente urbano em estudo. Nesse sentido, as variáveis analisadas foram: Altimetria; Volume edificado; Uso do solo; Temperatura da superfície terrestre (TST); Espaços verdes; Cobertura do solo; Orientação das Vertentes; Vegetação; Declividade e Proximidades à espaços abertos e a corpos d'água. A elaboração da

classificação teve por base a ponderação dos pesos de cada variável e a influência destas sobre o ambiente urbano. Cada variável foi representada por um mapa, que posteriormente foram classificados conforme o potencial térmico e dinâmico, sendo em seguida sobrepostos em dois mapas bases que, por fim, compôs o mapa de análises climáticas, a partir deste obtivemos os meios necessários para realizar proposições a serem inseridas no planejamento municipal.

Após a geração do mapa climático urbano e buscando entender melhor as características urbanas da cidade de Sobral utilizou-se da metodologia de categorização das paisagens proposta por Stewart (2011) e Stewart e Oke (2012), que classifica a paisagem urbana em Zonas Climáticas Locais (Local Climate Zones - LCZ) conforme a uniformidade de estruturas, materiais e atividades humanas de uma área. A utilização das duas metodologias, UCMaP e LCZ, permitiu avaliar de forma mais profunda o ambiente urbano de Sobral, evidenciando suas características e relações entre o sítio urbano, sua urbanização e o clima da cidade.

O processamento digital dos dados matriciais e vetoriais para elaboração do mapa climático urbano utilizou o software ArcGIS 10.4 e as ferramentas disponíveis em sua interface. Para a geração das LCZs utilizou-se o software online *LCZ Generator*, a partir da importação de áreas de treinamento construídas manualmente e com o auxílio dos metadados levantados durante a construção do UCMaP de Sobral.

A terceira etapa compreendeu a realização de trabalhos de campo para avaliar as características da temperatura do ar na cidade e constatar as especificidades geradas no mapa de análises climáticas e nas LCZs. Tal etapa consistiu na realização de transectos móveis em diferentes tipos de tempos. No caso de Sobral, realizou-se coletas tanto no período seco quanto no período chuvoso. Para o tratamento dos dados microclimáticos coletados em campo utilizou-se *softwares* que possibilitaram uma melhor organização e avaliação da base de dados, a saber, o Excel e o IBM SPSS. Para espacializar as informações e estabelecer as correlações com as classificações utilizou-se o ArcGis 10.4.

A quarta etapa compreendeu a análise dos planos e normativas elaboradas pelo poder público municipal no que tange ao planejamento urbano e climático local. Essa etapa da pesquisa objetivou avaliar como vem sendo abordada a questão do clima urbano da cidade e contribuir com a identificação de áreas prioritárias para implementação de ações que possibilitem a mitigação dos efeitos adversos do clima urbano, utilizando-se dos resultados obtidos nas classificações e nos dados microclimáticos. Nessa etapa utilizou-se o mapa de recomendações ao planejamento (UC-ReMap) para orientar as discussões e as proposições.

A quinta e última etapa consistiu na redação e formatação do trabalho final da tese, contendo as análises engendradas durante a pesquisa e os dados obtidos, para que a mesma seja divulgada à comunidade científica, aos órgãos de planejamento municipal e a comunidade em geral, tanto por meio do trabalho final, quanto pela publicação de artigos científicos.

### ***3.1.1 Bases para a elaboração do Mapa climático Urbano***

O *Urban Climate Map* - UCMMap (Mapa Climático Urbano) consiste em uma ferramenta analítica que sobrepõe diferentes informações sobre o clima, ocupação e a morfologia de uma área. Cada elemento mapeado é analisado por seu potencial térmico e dinâmico e, posteriormente, ponderado conforme o grau de impacto, negativo ou positivo, sobre o objeto em análise. Ou seja, o grau de impacto e os pesos atribuídos nas camadas geradas se referem a capacidade de cada elemento em gerar arrefecimento ou aquecimento da atmosfera urbana.

A ponderação das camadas bases foi atribuída conforme o definido pelas literaturas e pelo julgamento da pesquisadora acerca do impacto que cada variável imprime no clima urbano da cidade estudada. Ressalta-se que além da atribuição dos pesos para cada camada, atribuiu-se também escalas de pesos para os componentes da legenda de cada mapa, que variaram de 1 a 5 e de -1 a -5, sendo que os valores próximos de 1 apresentaram menor impacto, seja negativo ou positivo. As feições que não apresentavam contribuição dentro do modelo receberam peso nulo.

Após a atribuição dos pesos de cada camada, partiu-se para o agrupamento das feições conforme o impacto destas no ambiente urbano de Sobral. Após a definição realizou-se a sobreposição destas por intermédio da álgebra de mapas obtendo-se, assim, duas camadas raster, correspondente a carga térmica e ao de potencial dinâmico. O mapa de carga térmica compreende informações que contribuem de forma positiva ou negativa com o aquecimento do ambiente urbano, sendo composto pelas seguintes variáveis: Altimetria; Volume edificado; Uso do solo; Temperatura da superfície terrestre; Espaços verdes. Os elementos analisados nessa etapa receberam pesos positivos devido a sua contribuição para o aumento da carga térmica, com exceção da camada espaços verdes que recebeu peso negativo, haja vista, que a presença de vegetação pode mitigar os efeitos da carga térmica.

O mapa de potencial dinâmico, por sua vez, consiste na sobreposição de informações que contribuem para a dinâmica de ventilação da cidade, ou seja, elementos que

possuem capacidade de gerar arrefecimento no ambiente analisado. Neste mapa utilizamos as variáveis: Cobertura do solo; Orientação das Vertentes; Vegetação; Declividade e Proximidades à espaços abertos e a corpos d'água. Todas as variáveis analisadas nessa etapa receberam pesos negativos, haja vista, que todas contribuem para a mitigação dos efeitos da carga térmica, a partir das suas contribuições na dinâmica dos ventos no ambiente urbano.

Para a escolha de variáveis avaliou-se as perspectivas engendradas nos trabalhos de Ribeiro (2013) e Lima Júnior (2018), haja vista, que são trabalhos que propuseram uma revisão da metodologia original de Katzshner (1997) adequando para as suas realidades, além de oferecerem arcabouço teórico para aplicação da metodologia em regiões de clima tropical. Todavia, buscou-se também analisar quais as variáveis tinham relação com a área em estudo e acrescentar as que eram necessárias para o entendimento do fenômeno no contexto de Sobral.

Como referido os passos de geoprocessamento realizados com o objetivo de gerar os mapas bases e finais foram executados no *software ArcGis*, a partir da ferramenta *raster calculator* que está disponível na extensão *Spatial Analyst*. Na área de trabalho da calculadora raster inseriu-se a equação, contendo as variáveis, os pesos e as operações matemáticas adequadas ao modelo em estudo (Equação 1).

(1)

$$(V1 * p + V2 * p + V3 * p + V4 * p + V5)$$

Onde, a letra V representou as variáveis ou camadas *raster*, multiplicadas pelo *p*, que trata do peso de cada elemento. Para o estudo atribuímos peso 1 as cinco camadas, tendo em vista que já havíamos realizado a ponderação dos elementos de acordo com o grau de importância e relacionamento com o fenômeno em estudo.

O mapa final (UC-AnMAp) é dado por meio da adição das camadas, resultando em um novo *layer* contendo na legenda a somatória das duas informações (carga térmica e potencial dinâmico), sendo necessário a realização da reclassificação para as classes de interesse. Tais processos estão descritos nos tópicos a seguir.

### 3.1.1.1 Camada: Altimetria

Para a elaboração da camada Altimetria foi necessário acessar o site do TOPODATA (<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>) e baixar o Modelo Digital de Elevação (MDE) referente a área de cobertura da cidade de Sobral. Levou-se o arquivo para o

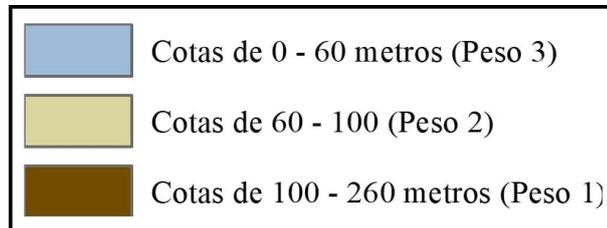
ambiente do ArcGis para reprojeter o MDE para o datum e as coordenadas desejadas, para que não houvesse problemas de geolocalização. Feito isto, aplicou-se a ferramenta *Contour* disponível no caminho *Spatial analyst tools – Surface*, para a geração das Curvas de nível.

De base dos dados de Curvas de nível, executou-se o TIN (*Triangular irregular networks*), a partir do *Data management*, gerando um modelo triangular vetorial que contém os dados de altitude. O próximo passo consistiu em transformar o arquivo gerado em formato *raster*, por meio do *3D Analyst tools – conversion*, evidenciando as informações por meio de pixels de tamanho 20x20.

O resultado da etapa anterior pode ser classificado de acordo com os propósitos do pesquisador a partir da ferramenta *Symbology* disponível nas propriedades do *layer*. A priori, realizou-se a classificação em intervalos equivalentes, gerando 13 classes.

Entretanto, para fins de composição do mapa climático urbano foi necessário realizar a reclassificação dos valores, para intervalos que correspondessem ao objetivo do trabalho e atribuir pesos aos componentes da legenda (Figura 9).

Figura 9 – Classificação atribuída a camada altimetria



Fonte: Elaborado pela autora.

Para isso, utilizou-se a extensão *Reclassify* do *Spatial analyst tools* para reclassificar o *raster* em três classes, com seus referidos pesos, a saber, de 0 a 60 metros, peso 3, de 60 a 100, peso 2, de 100 a 260 metros, peso 1, haja vista que a literatura aponta que áreas com altitudes superiores a 100 metros podem ser beneficiadas pela diminuição, mesmo que tímida, da temperatura do ar, logo as áreas que mais contribuem com o aumento da carga térmica são as áreas com as menores altitudes.

### 3.1.1.2 Camada: Volume Edificado

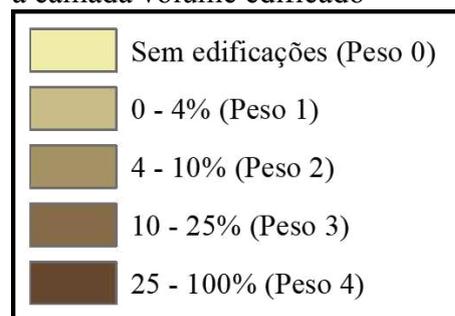
Para a elaboração do mapa de volume edificado realizou-se a vetorização por meio do Google Earth, através da criação de polígonos que representassem as características de cada edificação disposta na paisagem urbana de Sobral, selecionando as áreas residenciais,

industriais, com verticalização intermediária (3 a 10 pavimentos) e verticalizadas (mais de 10 pavimentos), acrescentou-se também os dados de áreas pavimentadas sem edificações e os espaços vazios. Durante a vetorização foi necessário identificar o número de pavimentos e exportá-los em formato *kml* (*Keyhole Markup Language*) para ambiente SIG, a fim de convertê-los para o formato *shapefile*. Para fins de obtenção dos valores do volume edificado foi necessário calcular o gabarito em altura das edificações. Com todos os dados vetoriais gerados, realizou-se a união das informações similares visando a realização do cálculo da área ocupada por cada elemento.

A seguir, o volume edificado foi calculado matematicamente pelo ArcGis, a partir da multiplicação do valor em altura das edificações pelo o de área total ocupada, sendo o valor encontrado representado em porcentagem, adotando-se 100% como o maior volume construído encontrado para a área e os demais valores foram definidos proporcionalmente, conforme a metodologia empregada por Ribeiro (2013).

Com o mapa de edificações gerado foi possível identificar as áreas com maior adensamento urbano, os espaços livres e as características da verticalização no contexto de uma cidade média. Nesse sentido, o mapa de volume edificado para Sobral contou com cinco classes, que receberam pesos de acordo com a sua importância e contribuição para o aumento da carga térmica. Assim sendo, a classe sem edificações constituída por espaços livres, permeáveis, recebeu peso 0. A classes de 0 - 4%, recebeu peso 1, devido a sua baixa influência na carga térmica, essas porções constituem as áreas impermeabilizadas sem edificações. A classe de 4 - 10% consiste nas áreas com médio impacto sobre a carga térmica, e, por isso, receberam peso 2. A classe 10 - 25% consiste em áreas com alto impacto sobre a carga térmica, tendo peso 3 na classificação. E por fim, a classe de 25 - 100% que consiste nas áreas mais adensadas e com muito alto impacto sobre a carga térmica da cidade, recebeu peso 4 (Figura 10).

Figura 10 – Classificação atribuída a camada volume edificado

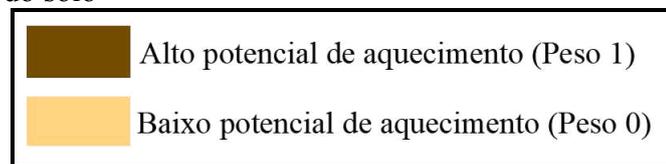


Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.1.1.3 Camada: *Uso do solo*

Para a construção da camada Uso do solo, utilizou-se da proposta elaborada por Lima Júnior (2018), considerando que Sobral apresenta atividades que contribuem para o aquecimento antropogênico, visto seu desenvolvimento industrial nas últimas décadas. Para tal, definiu-se duas classes de análise, sendo, portanto, as que apresentam alto e baixo potencial de aquecimento antropogênico (Figura 11).

Figura 11 – Classificação atribuída a camada uso do solo



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a definição das classes utilizou-se o mapa de uso do solo elaborado nas etapas anteriores, a partir da classificação dos elementos conforme o seu potencial de aquecimento antropogênico da atmosfera urbana. Feito isto, foi realizada a reclassificação do raster, unindo as informações e atribuindo pesos aos componentes da legenda, sendo as áreas de alto potencial ponderadas com peso 1 (áreas industriais e verticalizadas) e as com baixo potencial, peso 0 (as áreas residenciais e espaços livres), conforme figura 11.

### 3.1.1.4 Camada: *Temperatura da Superfície Terrestre*

Para a elaboração do mapa de temperatura da superfície terrestre (TST), utilizou-se as imagens orbitais do satélite Landsat 8, sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), disponível no site do serviço geológico americano. É importante salientar que este satélite oferece imagens termais isoladas e com tratamentos específicos, todavia para a pesquisa optou-se pelo uso dos arquivos originais que apresentam todas as bandas espectrais do satélite e os seus metadados, haja vista a necessidade de consultar as informações da imagem e o uso das demais bandas para outros processos de sensoriamento remoto.

Os passos para a elaboração da camada termal seguiram a proposta elaborada por Pires e Ferreira Junior (2015). Desse modo, a princípio realizou-se o tratamento da imagem com a realização dos ajustes necessários para o uso na área de estudo. Assim, realizou-se a correção do sistema de referência, visto que as imagens Landsat são disponibilizadas no

sistema de coordenadas orientadas ao norte global. Posteriormente, executou-se o recorte da área de interesse e os ajustes radiométricos para a correção de possíveis erros na banda utilizada.

Após o tratamento inicial da imagem de satélite partiu-se para a execução dos passos de geoprocessamento visando calcular os dados termais. O primeiro passo utilizou-se da equação 2 para a obtenção da radiância espectral do satélite Landsat 8, onde necessitou-se do fator multiplicativo ( $M_L = 0.0003342$ ) e do fator aditivo da banda, disponível nos metadados da imagem. Para obter os dados de temperatura superficial utilizou-se somente a banda 10, que se refere ao canal infravermelho termal do satélite. Convém destacar, que a banda 11 também apresenta características termais, entretanto devido a problemas técnicos não é aconselhável o uso da mesma, visto que os dados podem conter incoerências.

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L$$

Onde:

$L_\lambda$  = Radiância espectral ( $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ )

$M_L$  = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda

$Q_{cal}$  = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN)

$A_L$  = Fator aditivo de redimensionamento da banda (0.1000)

(2)

Após o cálculo da radiância realizou-se a transformação desse dado em temperatura de superfície em Kelvin., utilizando a equação 3. Por fim, subtraiu-se os valores obtidos na etapa anterior pelo valor da temperatura do ponto de congelamento da água ao nível do mar, convertendo os dados de temperatura superficial em kelvin para graus celsius.

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

Onde:

T = Temperatura de superfície terrestre

$K_1$  = Constante de calibração 1 da banda termal

$K_2$  = Constante de calibração 2 da banda termal

$L_\lambda$  = Radiância espectral ( $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ )

(3)

Os passos de geoprocessamento foram realizados no ArcGis por meio da ferramenta *raster calculator*. Após a geração do raster de temperatura, realizou-se a reclassificação a partir da função *Reclassify*, definindo os intervalos em baixa TST, média TST e alta TST, correspondendo, respectivamente, aos pesos 0, 1 e 2. Desse modo, para o

modelo consideramos somente as médias e altas temperaturas superficiais como elementos que contribuem com o maior potencial térmico (Figura 12).

Figura 12 – Classificação atribuída a camada TST



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 3.1.1.5 Camada: Espaços Verdes

Para a obtenção da camada Espaços verdes, que consiste na vegetação disposta na paisagem urbana, utilizou-se as bandas 4 e 5, que correspondem ao vermelho e o infravermelho próximo, do satélite Landsat sensor OLI (*Operational Land Imager*). A primeira etapa de processamento consistiu em reprojetar as imagens para o *datum* desejado e corrigir o hemisfério, visto que as bandas espectrais são baixadas com os dados do hemisfério de origem, no caso hemisfério norte.

Após a correção geométrica da imagem partiu-se para o processamento digital, utilizando índices espectrais para avaliar o comportamento da vegetação. Dentre os índices encontrados na literatura, optou-se pelo uso do SAVI (Índice de vegetação ajustado ao Solo), visto suas potencialidades em corrigir os efeitos do solo em dosséis vegetais esparsos. Essa é uma característica importante, visto que a cidade de Sobral apresenta um clima semiárido e vegetação de caatinga, logo a cobertura vegetal apresenta características singulares sazonais que podem ser melhor identificadas pelo SAVI se comparado com outros índices, como por exemplo o NDVI, que apresenta limitações na identificação de cobertura vegetal em áreas semiáridas, devido ao baixo porte e a forte sazonalidade, confundindo muitas vezes com solo exposto.

Para calcular o SAVI da cidade de Sobral, aplicou-se a equação 4, que consiste na matemática entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo, com a utilização do fator de ajuste do solo igual a 0,5 (Braz; Águas, Garcia, 2015). Para a realização do cálculo utilizou-se a calculadora raster do ArcGis, gerando um novo raster que foi recortado para a área de interesse e, em seguida, reclassificado.

$$SAVI = \left( \frac{NIR - R}{NIR + R + L} \right) * (1 + L)$$

Onde:

NIR = Banda do infravermelho próximo

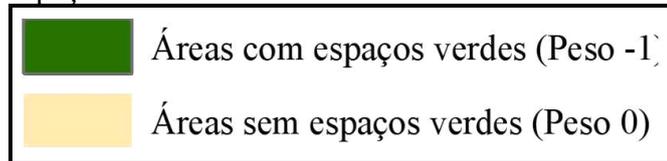
(4)

R = Banda do vermelho

L = Constante que minimiza o efeito do solo (Para densidades baixas de vegetação, valor igual a 1; para densidades médias de vegetação, valor igual a 0,5; E para densidades altas de vegetação, valor igual 0,25)

Posteriormente, realizou-se a reclassificação do raster em duas classes, sendo a primeira composta de áreas densamente vegetadas, e a segunda, de áreas com solo exposto. As camadas receberam, respectivamente, pesos -1 e peso 0 (Figura 13).

Figura 13 – Classificação atribuída a camada espaços verdes



Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.1.1.6 Camada: Cobertura do Solo

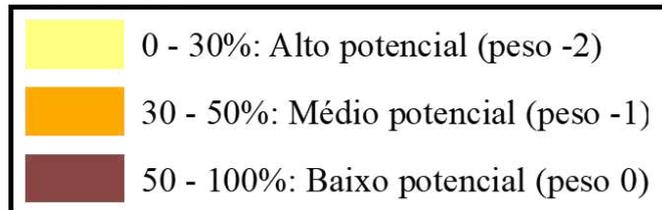
A camada cobertura do solo foi elaborada a partir do levantamento da área de cobertura das edificações utilizadas no mapa de volume edificado. A primeira etapa consistiu na união dos vetores por meio da ferramenta *merge*. Posteriormente, criou-se uma grade quadricular do tipo poligonal, por meio da aplicação da ferramenta *fishnet*, disponível no ambiente *ArcGis*.

Visando unir as duas informações, as edificações e as quadrículas, aplicou-se a função de intercessão, gerando um novo *layer* em formato *shapefile*. Feito isto, acessou-se a tabela de atributos do vetor, objetivando criar um novo campo para calcular os dados de área coberta. Após essa etapa, executou-se a *field calculator* para inserir a equação matemática e gerar os dados de área coberta em porcentagem.

Tendo em vista que a análise multicritério em uso aceita somente arquivos em formato *raster*, encaminhou-se a conversão do *layer* e a, posterior, reclassificação para os intervalos desejados. As classes foram definidas de acordo com o potencial de permeabilidade dos ventos no ambiente urbano. Sendo assim, as informações foram reclassificadas em três grupos, a saber, alto potencial, que são áreas com ocupação de 0 a 30%, médio potencial,

áreas com 30 a 50% de ocupação, e por fim, áreas de baixo potencial, que correspondem a 50 a 100% do percentual de áreas ocupadas. Os pesos atribuídos, respectivamente, foram -2, -1 e 0 (Figura 14).

Figura 14 – Classificação atribuída a camada cobertura do solo



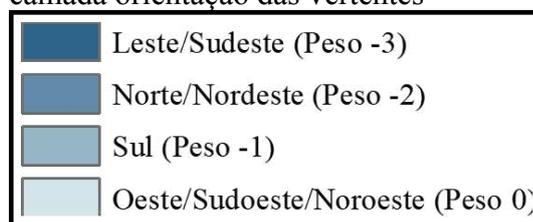
Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.1.1.7 Camada: Orientação das Vertentes

Para a obtenção da camada orientação das vertentes, utilizou-se o modelo digital de elevação (MDE) usado na etapa de elaboração da camada altimetria. De base do MDE, executou-se a ferramenta *Aspect* disponível na aba *raster surface*, gerando um novo layer com informações acerca do sentido de exposição das vertentes.

Essa etapa do processamento gerou resultados em formato numérico, sendo necessário a apresentação dos mesmos de modo temático, ou seja, correlacionar manualmente os valores gerados com as respectivas orientações. Após essa etapa, partiu-se para a reclassificação dos valores, considerando as vertentes que apresentavam maior importância para o contexto de Sobral. Assim sendo, definiu-se os seguintes pesos para as orientações, peso -3, a leste e sudeste, peso -2, a norte e nordeste, peso -1, ao sul e peso 0, a oeste, sudoeste e noroeste, tendo em vista que são áreas com menor potencial em relação a dinâmica dos ventos para a área em estudo (Figura 15). O contrário se observa para as direções leste/sudeste e norte/nordeste. Já para orientação sul a ponderação foi relacionada ao baixo potencial.

Figura 15 – Classificação atribuída a camada orientação das vertentes

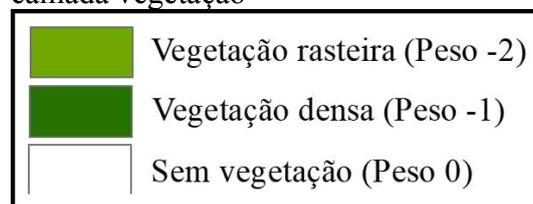


Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.1.1.8 Camada: Vegetação

A camada “Vegetação” consiste na classificação dos tipos de coberturas vegetais existentes no ambiente urbano, haja vista que as árvores dependendo do seu porte podem agir na facilitação ou barramento dos ventos na cidade. Para a elaboração desse mapa, utilizou-se o índice SAVI gerado no mapa de espaços verdes, a partir da reclassificação do raster de acordo com as informações desejadas (Figura 16).

Figura 16 – Classificação atribuída a camada vegetação



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a composição dessa camada aplicou-se a ferramenta *reclassify* e agrupou-se as informações de vegetação de acordo com o seu porte, sendo, portanto, áreas com vegetação rasteira, as com vegetação densa e áreas sem vegetação. A vegetação rasteira é constituída de campos abertos, gramas naturais e vegetação de menor porte, sendo mais propícia a dinâmica dos ventos, portanto recebeu peso -2. A vegetação densa é composta pelas formações de maior densidade, chegando a ter porte arbóreo, apresentando maior rugosidade, portanto, recebeu peso -1. As áreas sem vegetação, que são correlatas as regiões densamente ocupadas receberam peso 0 (Figura 16).

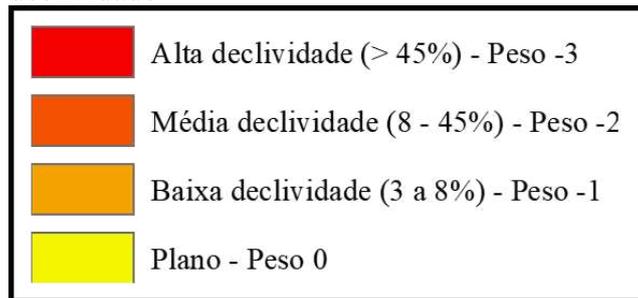
### 3.1.1.9 Camada: Declividade

Para a elaboração da camada declividade adicionou-se no ArcGis o Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizado no mapa de altimetria, e executou-se a ferramenta *Slope*, gerando assim, dados que representam a inclinação das rampas. As informações sobre declividade foram dadas em porcentagem e, posteriormente, foram reclassificadas para atender as demandas da pesquisa.

Para a camada declividade foram definidas quatro classes e atribuídos pesos diferentes para cada item da legenda. Na classe plano, que se refere a inexistência de declividade, foi atribuído peso 0. A classe baixa declividade recebeu peso -1, e consistia em

inclinações de 3 a 8%. A classe média declividade, recebeu peso -2, com intervalos que variaram entre 8 a 45%. A classe alta declividade consistiu em intervalos maiores que 45%, recebendo peso -3 (Figura 17). Nessa camada percebe-se que quanto maior a inclinação de uma área mais benefícios ela apresenta para o potencial dinâmico da cidade. A nomenclatura e os intervalos foram definidos de acordo com a classificação sugerida pela EMBRAPA.

Figura 17 – Classificação atribuída a camada declividade



Fonte: Elaborado pela autora.

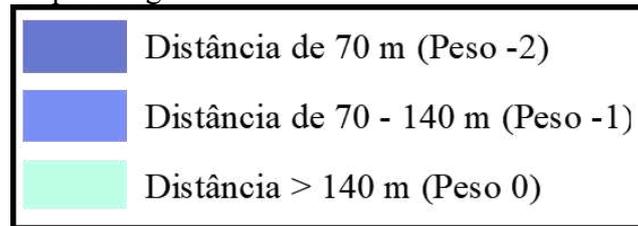
#### 3.1.1.10 Camada: Proximidades

A camada “Proximidades” é composta pelas subcamadas de proximidades a corpos d’água e a de espaços abertos, seguindo a metodologia proposta por Ribeiro (2013). Na proposta inicial também indicam a inclusão da declividade nessa camada, entretanto, nessa pesquisa entendeu-se que a declividade é um elemento que deve ser avaliado isoladamente, visto que trata da ventilação em declives importantes, ao contrário das subcamadas de proximidades que tratamos da influência dos elementos observados em áreas vizinhas e não somente no ponto de ocorrência.

Para a elaboração da subcamada corpos d’água, realizou-se a vetorização de áreas com espelhos d’água naturais e artificiais, com base em imagens de satélite. Os polígonos gerados nessa etapa, em formato *kml*, foram exportados para o ArcGis, para em seguida transformá-los em *shapefile*. Em ambiente SIG, utilizou-se a ferramenta *Euclidian Distance* do *Spatial Analyst*, para gerar distâncias em linha reta para as feições mais próximas, gerando um novo *layer* em formato *raster*. A vantagem dessa ferramenta é que ela permite a geração de distâncias para toda a área estudada, definindo as áreas com e sem influência. Posteriormente, adicionou-se os intervalos de distância pretendidos para o estudo e reclassificou-se a camada raster, atribuindo pesos conforme a influência de cada elemento.

Nesse sentido, as distâncias que apresentaram até 70 metros em relação aos corpos hídricos receberam peso -2, visto sua maior contribuição na dinâmica dos ventos locais. As distâncias de 70 a 140 metros, receberam peso -1, e as áreas acima de 140 metros de distância receberam peso 0, pois não recebem influência direta das brisas geradas pelos espelhos d'água disponíveis na paisagem urbana (Figura 18).

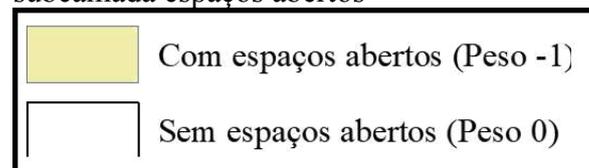
Figura 18 – Classificação atribuída a subcamada corpos d'água



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação a subcamada espaços abertos, mapeou-se as áreas com espaços vazios, com baixo adensamento urbano, com presença de áreas verdes e os parques urbanos etc. Para tal, utilizou-se o Google Earth para vetorizar as feições e, assim, cruzar os dados com as camadas referentes aos mapas de volume edificado e cobertura do solo. Destas camadas selecionou-se as feições inferiores a 4% dentre os elementos da legenda, e cruzou-se com as demais informações para obter um vetor compatível com a realidade geográfica de Sobral. Para as áreas que não refletem as características de espaços abertos, selecionou-se as feições com porcentagens superiores a 30% de cobertura. Posteriormente, uniu-se todos os dados em um único arquivo para proceder com a classificação de acordo com objetivo do trabalho. O próximo passo foi a reclassificação dos dados atribuindo peso -1, as áreas que são compostas de espaços abertos, e peso 0, as áreas que não apresentam espaços abertos (Figura 19).

Figura 19 – Classificação atribuída a subcamada espaços abertos



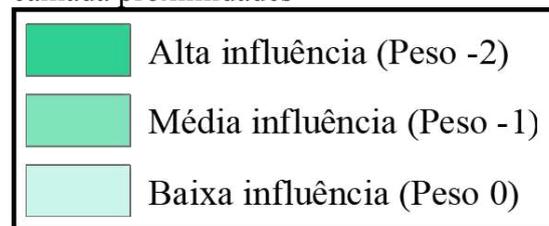
Fonte: Elaborado pela autora.

Com as subcamadas proximidade a espaços abertos e a corpos d'água gerados, executou-se a ferramenta *Weighted Sum* que proporciona a soma ponderada das subcamadas. Essa ferramenta permite multiplicar os valores dos campos designados para cada raster de

entrada pelo peso previamente atribuído. Após a ponderação, o software realiza a soma das camadas e gera um novo raster de saída. Feito isto, podemos classificar o layer de acordo com os intervalos desejados, alterar a simbologia e compor a legenda do mapa final.

O mapa de Proximidades foi composto, portanto, de áreas que estão expostas a um grau de influência aos ventos oriundos de espaços abertos e a corpos d'água em três níveis, alta influência, com peso -2, média influência, peso -1 e baixa influência, peso 0. As áreas que apresentam alta influência são as que estão próximas a espaços abertos e a menos de 70 metros de espelhos d'água. As regiões que estão entre 70 a 140 metros de distância de corpos hídricos e com espaços abertos em níveis baixos de ocupação, classificam-se com média influência. E as áreas densamente ocupadas, distantes a mais de 140 metros de mananciais e sem proximidades à espaços abertos, receberam a classificação de baixa influência, não contribuindo para a dinâmica de arrefecimento da cidade (Figura 20).

Figura 20 – Classificação atribuída a camada proximidades



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 3.1.1.11 Camadas: Carga térmica, potencial dinâmico e Análise climática

Após a elaboração das dez camadas bases, partiu-se para a classificação destas de acordo com o seu potencial térmico e dinâmico, como já mencionado anteriormente. Essas camadas foram divididas e agrupadas para a formação do mapa de carga térmica e o mapa de potencial dinâmico. O mapa de carga térmica foi composto de camadas que podem contribuir para o aumento ou a redução da carga térmica, para tal, adicionou-se as cinco variáveis na calculadora raster do ArcGis, organizando-as de acordo com a equação 1, citada no item 3.1.1 desse trabalho.

Como resultado obteve-se um novo raster contendo uma legenda que variou 1 a 9, onde os valores mais próximos de 1 representavam a baixa carga térmica e os valores que mais se aproximavam de 9, equivaliam a alta carga térmica. Para melhor representação alterou-se a simbologia para cores que variaram do amarelo ao vermelho.

O mapa de potencial dinâmico, por sua vez, foi composto de cinco variáveis que contribuíam de forma positiva ou negativa com a dinâmica de ventilação da cidade, portanto, tratavam da capacidade de arrefecimento. Os passos para geração do novo raster seguiram a mesma metodologia adotada no mapa de carga térmica. Como produto obteve-se um *layer* com quatorze elementos, onde quanto mais próximo do valor -14, maior a capacidade de arrefecimento e quanto mais perto do valor 0, menor o potencial de gerar condições propícias ao resfriamento do ambiente urbano. A simbologia utilizada nessa camada variou entre tons mais claros e escuros de azul.

Com a geração dos dois *layers*, carga térmica e potencial dinâmico, criou-se um novo projeto no ArcGis, a fim de gerar o mapa final de análises climáticas, produto essencial do mapeamento climático urbano. Para isso, adicionou-se as duas camadas bases e utilizou-se a calculadora raster para executar a equação desejada. O processamento digital das informações seguiu também os passos adotados nas etapas anteriores, por meio da adição das camadas.

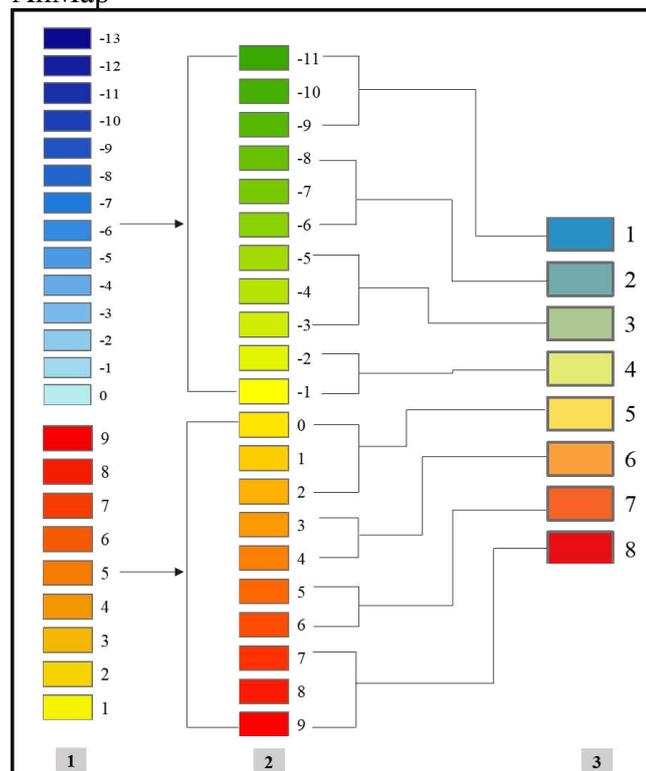
Como resultado obteve-se um novo raster contendo vinte e uma classes, que variaram de 0 a -11 e de 0 a 9, representando o agrupamento das informações das camadas bases. Para esse *layer* optou-se pela simbologia de cores que variaram do verde ao vermelho. De base da metodologia de Ribeiro (2013) foi necessário realizar a reclassificação dos componentes da legenda, obtidos na etapa anterior, para classificar esses elementos em oito categorias de climatos e, assim, analisar suas respectivas ações sobre o clima urbano.

A etapa de reclassificação exige do pesquisador um conhecimento prévio sobre as características urbanas da cidade, onde seja possível associar as feições geradas no mapa com a realidade geográfica local. Além disso, é essencial uma base teórica sólida sobre as perspectivas do clima urbano e mapa climático, para assim determinar de forma coerente as informações em suas categorias. Cabe ressaltar que os rótulos com sinal negativo se associam as camadas referentes ao arrefecimento urbano e as camadas de números inteiros positivos à perspectiva térmica.

Nesse sentido, definiu-se que os elementos de -11 a -9 estariam na classe 1. Os intervalos de -8 a -6, na classe 2. Os valores de -5 a -3, na classe 3 e os de -2 a -1, classe 4. A classe 5 foi composta pelos valores de 0 a 2. A classe 6, compreendeu os elementos 3 a 4. A classe 7 foi composta pelos valores de 5 a 6 e a classe 8, de 7 a 9. Essa classificação seguiu a perspectiva de similaridade entre as feições abarcadas em cada classe e considerando a divisão equitativa entre as legendas dos mapas bases.

Na figura 21, representou-se os passos mencionados acima, onde o número 1, representa as simbologias das camadas potencial dinâmico e carga térmica. A etapa dois demonstra o resultado da adição das camadas bases, sua representação e, posterior, reclassificação para os intervalos de interesse. E a fase 3, apresenta a reclassificação final em oito classes, com a simbologia de cores característica de mapas de temperatura, variando entre o azul e o vermelho.

Figura 21 – Reclassificação das classes do UC-AnMap



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da espacialização dos climatopos gerados pelo UC-AnMap e as análises realizadas, o mapeamento climático urbano pressupõe a criação de um outro produto cartográfico, o mapa de recomendações ao planejamento (UC-ReMap). Este consiste no agrupamento dos climatopos de acordo com o nível de impacto térmico presente na paisagem, indicando o tipo de intervenção proposto para essas áreas. Para Sobral, a criação e análise desse mapa considerou os dados microclimáticos de campo e as análises das zonas climáticas urbanas, embora a classificação priorize as informações do mapa de análises climáticas. Convém delinear que o UC-ReMap será trabalhado no capítulo dedicado a análise dos planos e normativas acerca do planejamento urbano, delineando ações de mitigação perante as condições térmicas da cidade.

### 3.1.2 Método aplicado para a geração das Zonas Climáticas Locais

A elaboração das Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones - LCZ*) seguiu as rotinas apresentadas pelo protocolo WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools). Este utiliza o aplicativo *LCZ Generator* que consiste em “uma plataforma online que mapeia uma cidade de interesse em LCZs, a partir de um arquivo de TA [*training areas*] válido e alguns metadados como entrada” (Demuzere; Kittner; Bechtel, 2021, p.2, tradução nossa).

O método de classificação *LCZ Generator* é uma ferramenta moderna de mapeamento LCZ, sua execução é simplificada, mas fornece simultaneamente uma avaliação automatizada de precisão da classificação, um diagnóstico dos dados de treinamento e a identificação de áreas mapeadas que apresentam incoerências ou são suspeitas. Esses outputs permitem que o pesquisador melhore sua classificação a fim de obter um resultado que representa as reais características da cidade em estudo (Demuzere; Kittner; Bechtel, 2021). Somado a isso, a geração das LCZs por meio do aplicativo favorece a construção de um banco de dados sobre as cidades, podendo ser utilizados por outros estudiosos seja para fins de análise ou comparação com novas classificações.

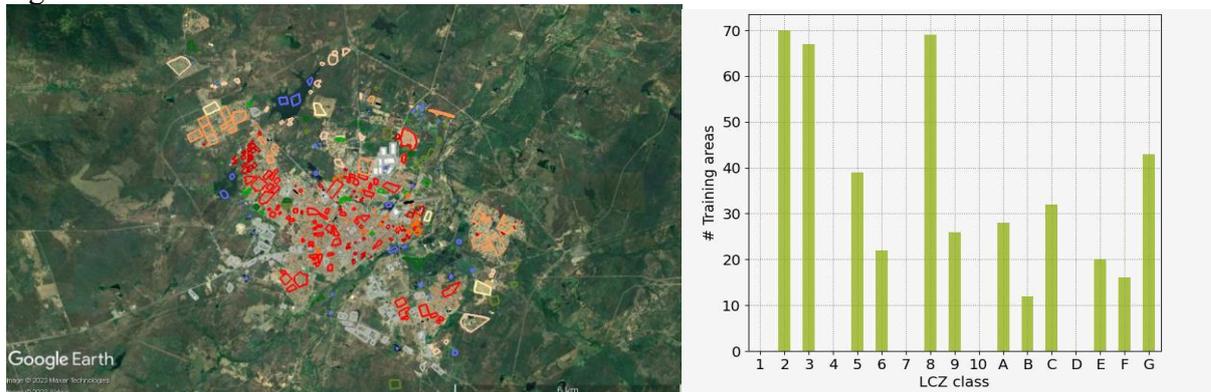
Para a realização do mapeamento das zonas climáticas de Sobral, primeiramente foi necessário identificar as tipologias existentes na paisagem urbana da cidade, conforme a metodologia proposta por Stewart (2011) e Stewart e Oke (2012), gerando áreas testes ou *training areas* (TA). As áreas testes foram elaboradas por meio da vetorização manual no ambiente do *Google Earth Pro*, onde gerou-se polígonos, medindo no mínimo 200x200 metros, para cada feição LCZ abordada na classificação (Werneck, 2022). Para tal, utilizou-se o arquivo disponibilizado na plataforma em formato *kml* contendo as feições LCZ dos tipos construídos e dos tipos de cobertura do solo, com a simbologia referente a cada zona.

Ademais, a categorização da paisagem urbana contou com o uso dos metadados levantados durante a elaboração do UCMAP de Sobral, a saber, a altura e projeção dos edifícios, rugosidade, área permeável, função urbana, tipologias da vegetação etc., associando as demais informações necessárias a geração das zonas climáticas.

Durante a vetorização das feições da paisagem buscou-se inserir no mínimo 10 áreas de treinamento para cada LCZ identificada, para que não houvesse problemas relativos a baixa representatividade da classe no mapeamento. Algumas feições, como as LCZs 2, 3 e 8<sub>10</sub>, eram muito frequentes na cidade, portanto tiveram mais de 50 polígonos submetidos. Algumas LCZs não foram mapeadas devido à baixa representatividade de feições, outras

foram incluídas como subclasses visto que apresentavam significância espacial, porém não predominavam na zona mapeada (Figura 22). Conforme Werneck (2022) a criação de subclasses é uma alternativa para mapear cidades que não apresentam todas as feições principais, porém é necessário cautela visto que pode aumentar a complexidade do processo sem benefícios consideráveis, principalmente em relação ao campo térmico. Desse modo, buscou-se priorizar na cidade de Sobral as classes principais e somente delimitar subclasses quando forem realmente necessárias.

Figura 22 – Áreas de treinamento das LCZs em Sobral



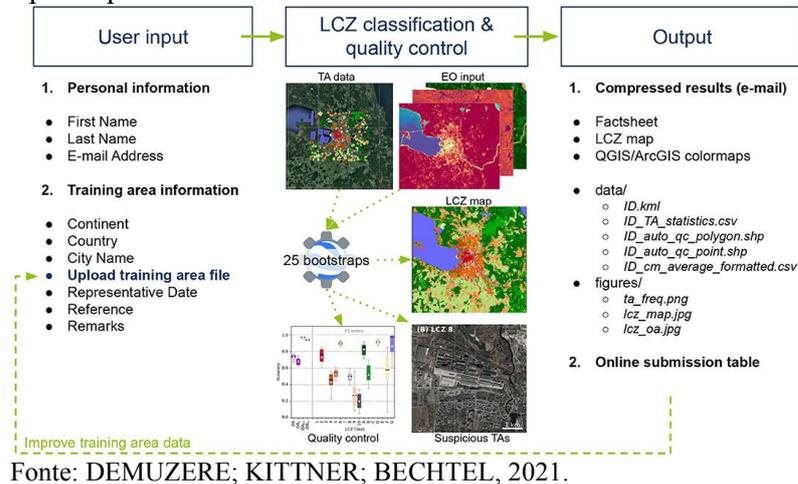
Fonte: Google Earth e LCZ Generator. Organizado pela autora. Representação das áreas de treinamento e a quantidade de polígonos gerados por classe.

Após a criação dos polígonos, procedeu-se com o envio dos inputs para que a plataforma gerasse as LCZs para a cidade em estudo. A utilização da plataforma WADAPT seguiu três etapas de execução. A primeira etapa consistiu em um cadastro prévio, onde enviou-se as informações pessoais da pesquisadora e das áreas testes por meio do site do *LCZ Generator* (<https://lcz-generator.rub.de/>). Após o envio, os dados são analisados pelo controle de qualidade da plataforma e submetidos a uma classificação supervisionada, caso necessário serão retornados ao pesquisador para alguma alteração, se não, será gerado o mapa LCZ.

Os resultados do mapeamento são enviados pelo e-mail cadastrado durante a submissão, para serem baixados e, conseqüente, analisados. Ao mesmo tempo, a classificação final e todos os metadados são disponibilizados no site do aplicativo para consulta livre. Na figura 23 apresenta-se os passos realizados para a obtenção das LCZs, por meio do aplicativo *LCZ Generator*, pode-se observar as informações necessárias na etapa de submissão das áreas de treinamento, assim como, a lista de imagens e informações geradas no arquivo final enviado por e-mail. Tais dados são importantes para analisar a acurácia do mapeamento e identificar as áreas suspeitas, que precisam ser revisadas. Há que saber, que ao identificar alguma incoerência no mapeamento, um novo arquivo pode ser submetido para gerar um

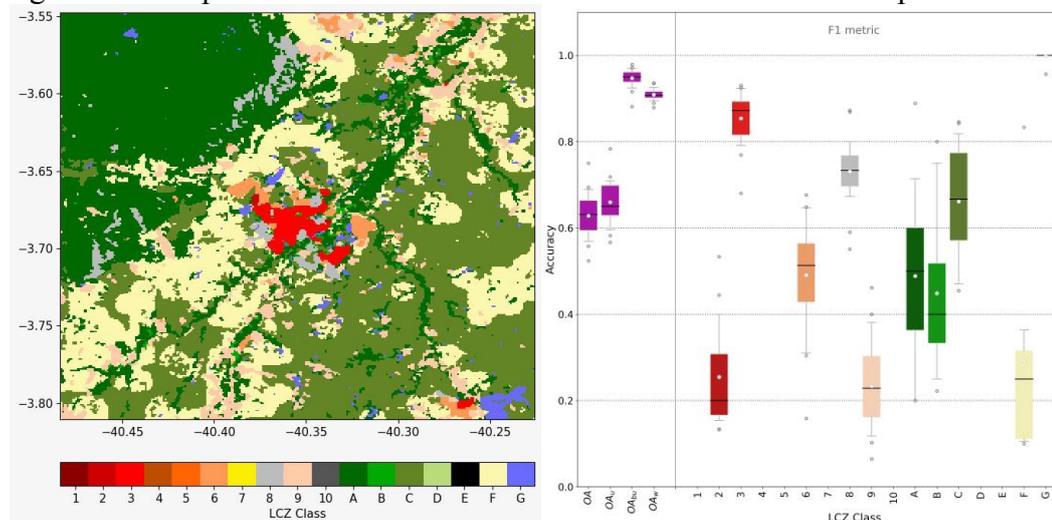
novo mapa LCZ, não sendo vedada a um número de tentativas, porém o sistema vai disponibilizar o mapa que apresentar melhor acurácia na plataforma online.

Figura 23 – Fluxograma de obtenção das zonas climáticas pelo aplicativo *LCZ Generator*



Para Sobral foram realizadas cerca de 10 tentativas de mapeamento, visando comparar os resultados e melhorar a representação da paisagem urbana. Nota-se que algumas feições urbanas com distribuição homogênea apresentaram melhor acurácia do que paisagens com maior heterogeneidade. Somente a LCZ G apresentou acurácia de 100% e a LCZ 3 que ficou com acurácia acima de 80%. Porém, considerando a paisagem heterogênea da cidade, consideramos que a acurácia geral obtida de 60% foi satisfatória e partimos para modificações manuais a partir da análise visual da imagem (Figura 24).

Figura 24 – Mapeamento da LCZ de Sobral e acurácia das classes mapeadas

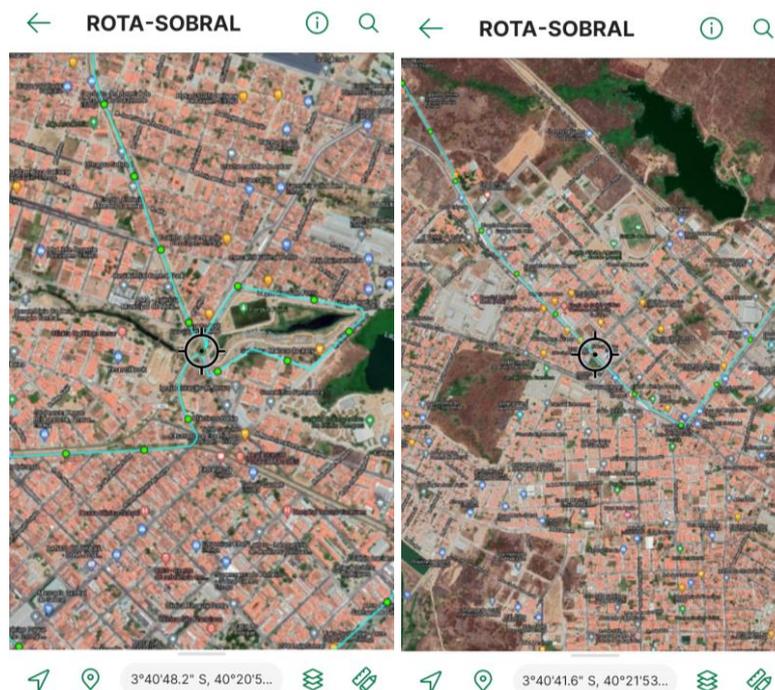


### 3.1.3 Transectos móveis como ferramenta para a coleta de dados primários

Para a realização das coletas microclimáticas por meio dos transectos móveis foi necessário realizar previamente a vetorização do caminho a ser percorrido por meio do aplicativo *Google Earth Pro*, considerando as vias principais, de fácil acesso e que oferecessem condições de segurança à equipe.

Após definir e vetorizar a rota do transecto, salvou-se o arquivo em formato *kml* e levou-se essa camada para o ambiente do ArcGis, para transformá-la em *Shapefile* (Shp). Feito este processo, foi necessário adicionar as coordenadas geográficas no *layer* processado. Posteriormente, executou-se a ferramenta *Data Management Tools* para a criação de pontos equidistantes 200 metros, em seguida realizou-se a sobreposição do *layer* às imagens de satélite da cidade e, por fim, exportou-se o resultado em formato GeoPDF. Com o mapa final gerado, importou-se o arquivo para o aplicativo *Avenza Maps*, instalado nos celulares pessoais dos pesquisadores (Figura 25). O aplicativo em questão é muito funcional, apresentando uma interface prática e com funcionamento no modo *offline* o que favorece o seu uso em campo. Contudo, o aplicativo necessita da supervisão contínua do pesquisador para apontar os pontos de coletas dos dados e, conseqüentemente, anotar manualmente a respectiva temperatura do ar.

Figura 25 – Imagens representativas do trajeto realizado por meio do *Avenza Maps*



Fonte: Organizado pela autora.

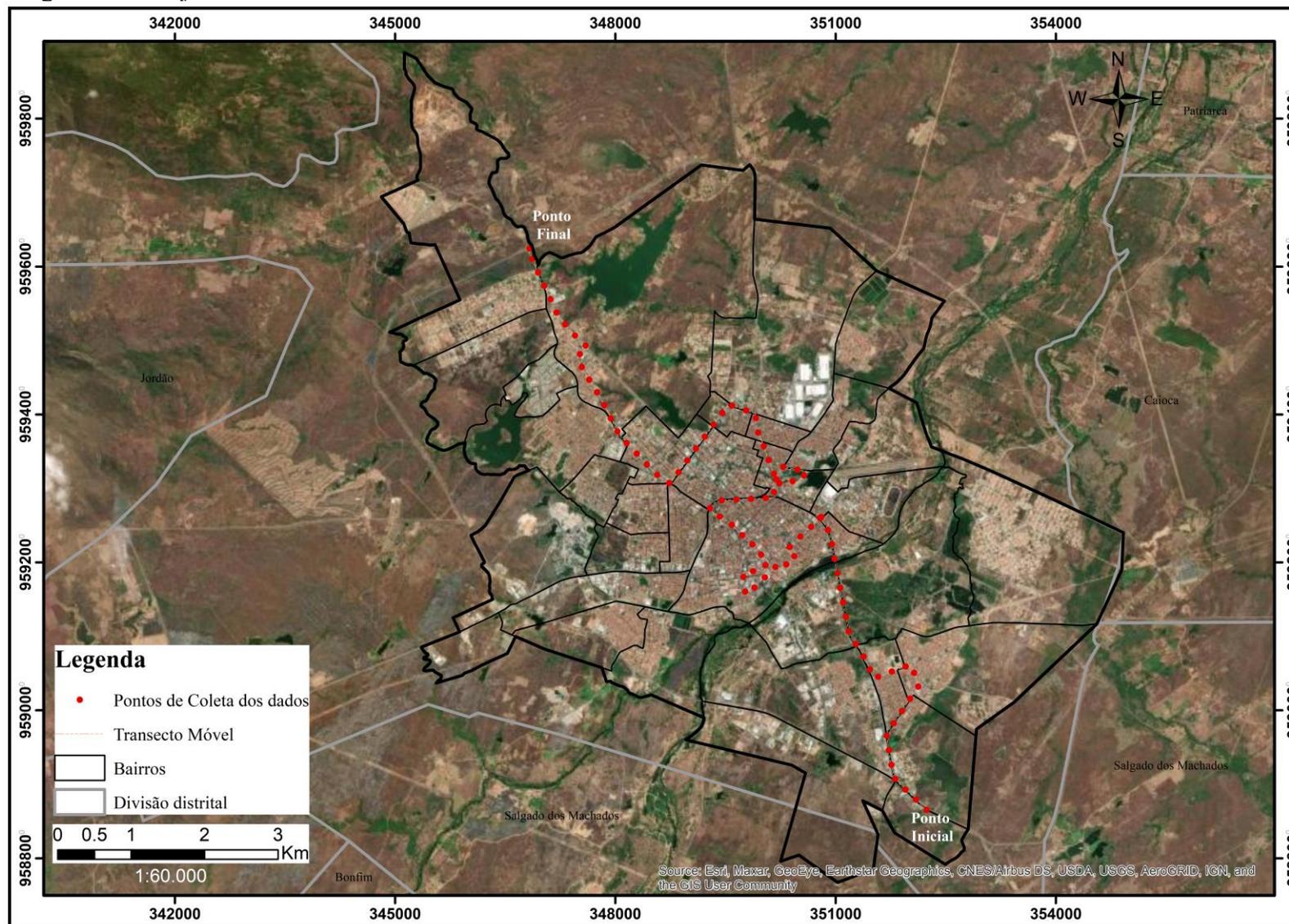
O trajeto do transecto móvel foi definido a partir das classes encontradas no UCMMap e nas LCZs para a cidade de Sobral, seguindo preferencialmente a disposição Sudeste - Noroeste, devido às limitações de equipe e a disposição das principais vias (Figura 26). O percurso realizado apresentou 18 km de extensão e teve como tempo médio de execução cerca de 40 a 50 minutos, tendo em vista que a literatura aponta como uma duração aceitável, devido as baixas oscilações na temperatura do ar nesse espaço de tempo (Dorigon, 2019). O equipamento de aferição da temperatura do ar foi acoplado a um automóvel, a uma altura média de 1,5 a 2 metros, que se deslocou a uma velocidade média de 30 km/h, considerando que velocidades mais elevadas podem gerar alterações nos dados coletados.

As medições foram realizadas em diferentes tipos de tempo, ou seja, durante o período seco e o período chuvoso. O campo referente ao período seco foi realizado no mês de novembro de 2021, com rotas nos seguintes horários: 6h, 15h e às 21h, em dois dias seguidos. Após o campo, a análise dos dados coletados revelou que as coletas das 6h e 15h foram comprometidas devido à forte incidência dos raios solares diretos, em um ambiente sob efeito de um clima semiárido, apresentando valores que não coincidiam com a realidade. Neste sentido, as duas coletas foram descartadas, mantendo-se a de 21h. O campo do período chuvoso foi realizado em maio de 2022, seguindo os mesmos passos e métodos do campo anterior, contudo devido aos problemas relativos ao horário manteve-se a coleta às 21h e acrescentou-se uma coleta às 18 horas, representando, respectivamente, um horário de maior resfriamento da superfície e um relativo ao início da liberação de calor da superfície aquecida.

O termo-higrômetro utilizado foi o da marca *Incoterm*, com precisão de 1°C, sendo a faixa de coleta da temperatura externa igual a -50° à + 70°C, e apesar da última coleta ficar gravada na memória do equipamento, ele não funciona como *datalogger*, logo em cada ponto do transecto foi necessário reiniciar o aparelho e anotar manualmente os dados em uma planilha com os pontos definidos.

Em relação aos dados de umidade, o aparelho utilizado em campo apresentava a função para a medição da umidade interna e não, a externa, logo não foi possível aferir os dados de umidade do ar, haja vista que durante a realização dos transectos o que ficou exposto foi o cabo conectado ao termo-higrômetro e a parte central do equipamento precisou ficar em posse dos pesquisadores para a anotação dos dados. Portanto, tendo em vista o que foi dito, não há como utilizar as informações acerca dos gradientes de umidade com o equipamento da *Incoterm*. O mesmo se observou para a temperatura máxima e mínima, pois os dados disponibilizados se referem a coleta total e não ao ponto em específico.

Figura 26 – Trajeto do Transecto móvel



Fonte: Elaborado pela autora

Para a realização dos transectos foi necessário projetar um miniabrigo meteorológico para proteger o sensor do termo-higrômetro, visto que após a fixação no veículo este ficava exposto a radiação direta, chuva, materiais particulados etc., sobretudo nos transectos diurnos. Como este seria acoplado ao retrovisor do automóvel, ele precisou ser de um material leve e de fácil manuseio. Na literatura diversos pesquisadores apontam os benefícios da utilização do PVC na confecção de abrigos para equipamentos de coletas de dados climáticos, sendo, portanto, uma alternativa viável e que permite uma boa fixação do sensor (Figura 27).

Figura 27 – Termo-higrômetro e abrigo utilizados em campo



Fonte: Autora, 2022.

Considerando a equidistância mínima de 200 metros foram definidos 91 pontos de coleta em diferentes pontos da cidade de Sobral, privilegiando as áreas mais distantes do centro urbano com menor densidade construtiva, as áreas mais adensadas, as áreas com espaços verdes, regiões próximas a corpos hídricos, áreas de expansão da cidade e áreas periféricas adensadas etc. Os dados coletados em campo foram organizados por coleta e horário no software Excel e analisados estatisticamente no software IBM SPSS, a partir da avaliação do banco de dados, geração das estatísticas descritivas e criação dos gráficos. Para definir a intensidade e a magnitude de diferenciação das temperaturas do ar no espaço urbano de Sobral, utilizou-se da classificação elaborada por Garcia (1996), que define os seguintes intervalos de intensidade: 0 a 2°C (Fraca magnitude); 2°C a 4°C (Moderada magnitude); 4°C a 6°C (Forte magnitude); e diferenciações maiores que 6°C (Muito forte magnitude).

#### 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

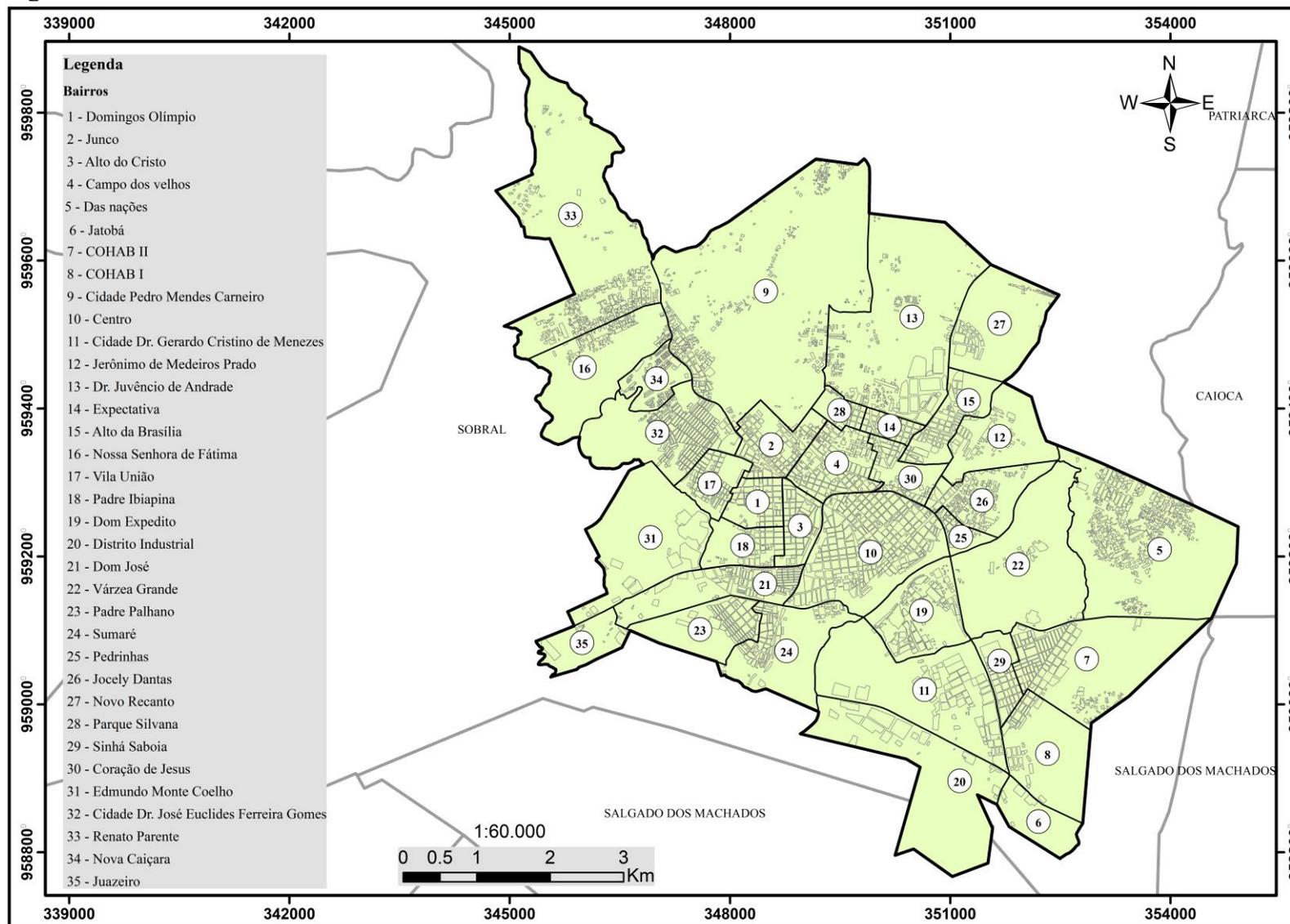
O município de Sobral está situado na porção noroeste do estado do Ceará, distante a cerca de 260 quilômetros da capital do estado, Fortaleza. O território do município está dividido em doze distritos e a sede municipal, sendo denominados Sobral (sede), Aprazível, Aracatiaçu, Bonfim, Caioca, Caracará, Jaibaras, Jordão, Rafael Arruda, Patos, Patriarca, São José do Torto e Taparuaba. Para a pesquisa definimos como lócus do estudo a área urbana do distrito sede, haja vista sua concentração populacional e de infraestruturas, denotando aspectos relevantes para um estudo de clima urbano.

Segundo o censo realizado pelo IBGE (2022), a população total residente em Sobral soma os 203.023 habitantes. O município apresenta uma densidade demográfica igual a 98,15 hab/km<sup>2</sup> e uma área urbanizada de 31,17 km<sup>2</sup>. De acordo com o IPECE, cerca de 88,35% da população sobralense reside em área urbana e, somente, 11,65% nas áreas rurais, revelando a alta taxa de urbanização para o contexto urbano local.

A sede do município está dividida em 35 bairros, a saber, Centro, Alto da Brasília, Alto do Cristo, Campo dos Velhos, Cidade Dr. José Euclides Ferreira Gomes Júnior, Cidade Dr. Gerardo Cristino de Menezes, Cidade Pedro Mendes Carneiro, COHAB I, COHAB II, Coração de Jesus, Das Nações, Distrito Industrial, Dom Expedito, Dom José, Domingos Olímpio, Dr. Juvêncio de Andrade, Edmundo Monte Coelho, Expectativa, Jatobá, Jerônimo de Medeiros Prado, Jocely Dantas de Andrade, Juazeiro, Junco, Nossa Senhora de Fátima, Nova Caiçara, Novo Recanto, Padre Ibiapina, Padre Palhano, Parque Silvana, Pedrinhas, Renato Parente, Sinhá Sabóia, Sumaré, Várzea Grande e Vila União (Figura 28).

Grosso modo, ao analisar a espacialização da urbanização de Sobral percebe-se uma maior concentração da malha urbana na região do centro e bairros circunvizinhos, sobretudo nos bairros que ficam à margem esquerda do Rio Acaraú. Nota-se um padrão de expansão no sentido oeste/noroeste e leste/sudeste, sobretudo associado as construções de residenciais e loteamentos. Na direção sul/sudoeste, verifica-se a predominância de equipamentos industriais, inclusive a existência de um distrito industrial nessa área e alocação de serviços. Ao Norte observa-se o predomínio de muitos espaços abertos e corpos hídricos, com baixo padrão de ocupação, caracterizado por pequenos aglomerados e casas isoladas. Na porção nordeste da cidade, visualiza-se a ocorrência de indústrias e recentes construções de residenciais.

Figura 28 – Divisão em bairros da cidade de Sobral



Fonte: Elaborado pela autora.

A cidade de Sobral, devido seu porte médio, apresenta algumas singularidades nas suas paisagens. Uma delas consiste na existência de muitos espaços vazios, como vimos a maior densidade de ocupação se dá nas áreas centrais e bairros próximos a essas. Ao mesmo tempo, como é uma cidade que veem apresentando continuamente influência regional, alocamento de serviços e desenvolvimento industrial, conseqüentemente aumentando sua população e densidade de construções, teremos muitas áreas de expansão, caracterizadas por agrupamento isolados e por ocupações ainda não consolidadas (Figura 29).

Figura 29 – Imagens aéreas da cidade de Sobral



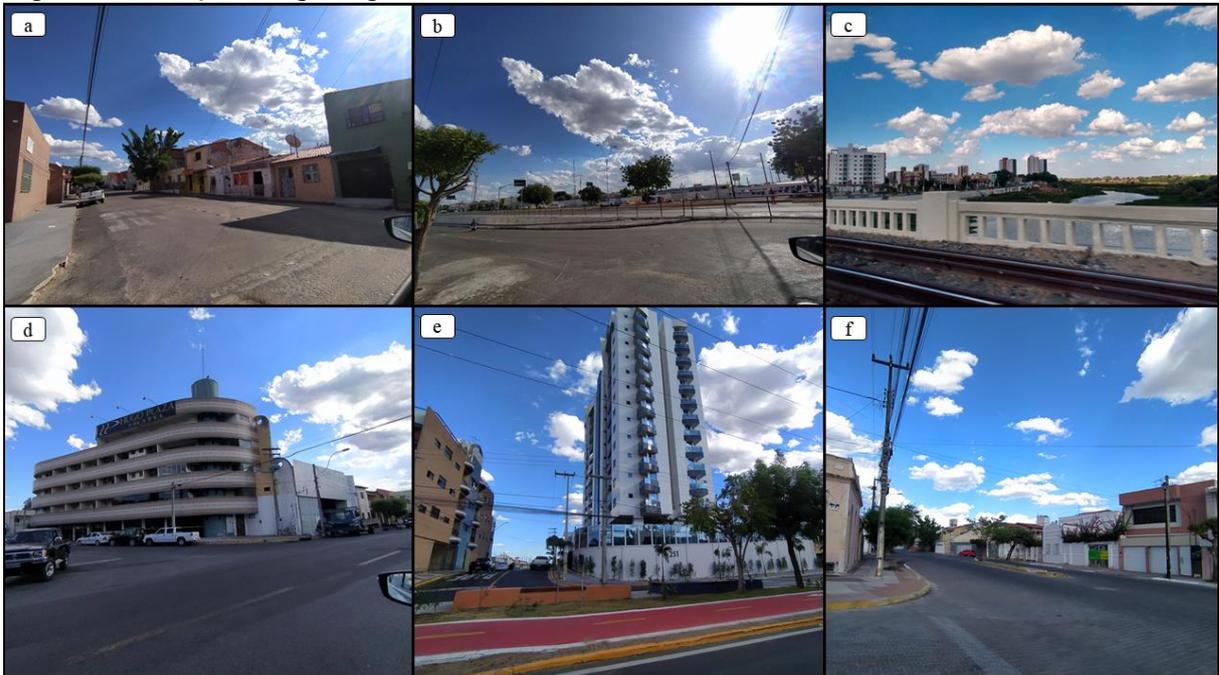
Fonte: Organizado pela autora. Imagens aéreas captadas por meio de drone em trabalho de campo realizado em novembro de 2021, durante o período seco. As imagens A e B, apresentam as feições da paisagem visualizadas na região central da cidade. As figuras C a E apresentam, respectivamente, o centro-norte da cidade, com destaque para o bairro Renato Parente e a Serra da Meruoca.

Do ponto de vista das características das edificações, nota-se em Sobral a predominância de residências de 1 a 2 pavimentos, sobretudo nas áreas centrais de ocupação mais antigas. Estas áreas estão associadas a uma forte densidade construtiva, baixa presença de vegetação e estão relacionadas, principalmente, ao uso residencial e ao desenvolvimento de atividades voltadas a oferta de serviços.

Em relação ao processo de verticalização, a cidade já deu seus primeiros passos, com a existência de prédios que ultrapassam os 10 pavimentos, entretanto estes não predominam na paisagem. Na cidade de Sobral, a verticalização intermediária se apresenta de forma mais contundente, a partir da existência de vários edifícios de 3 a 10 pavimentos,

sobretudo em áreas de expansão por meio da construção de condomínios para a moradia (Figura 30).

Figura 30 - Feições da paisagem urbana de Sobral



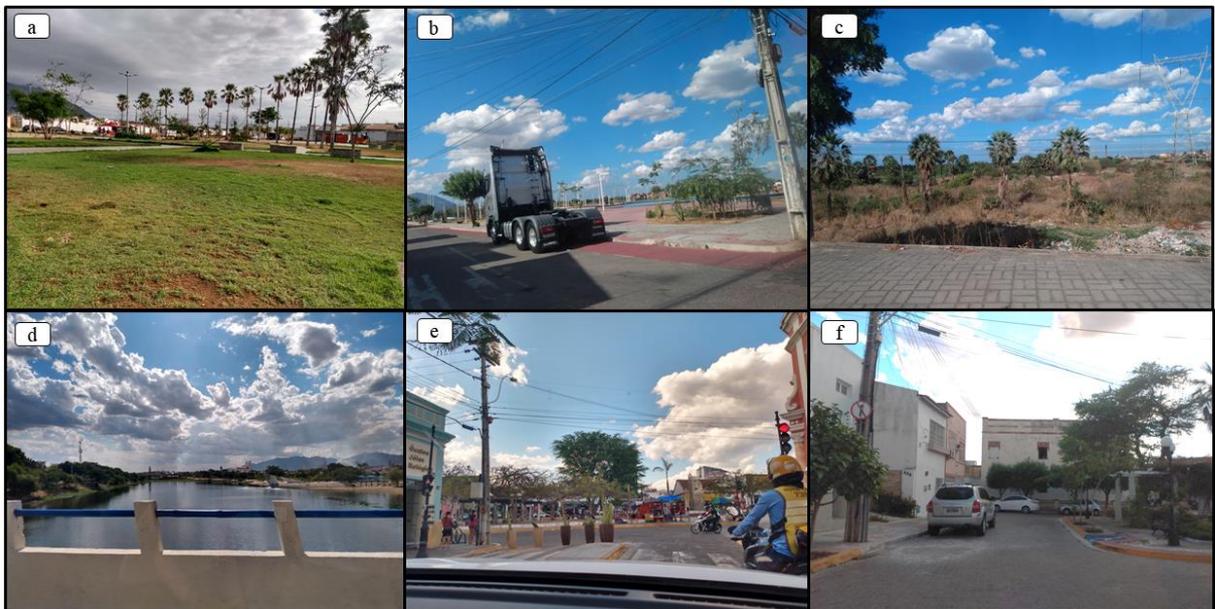
Fonte: Organizado pela autora. As figuras A - F demonstram diferentes feições da paisagem urbana de Sobral, evidenciando as construções horizontais e verticais.

Se compararmos Sobral com outras cidades cearenses do mesmo porte, é notável que o recinto urbano da mesma apresenta muitas diferenças em relação a presença do verde. Para a cidade de Sobral, observa-se uma quantidade significativa de praças e parques que apresentam vegetação, além de áreas não ocupadas que denotam uma cobertura natural predominante da vegetação de caatinga.

Além dessas áreas, as porções vegetadas próximas a regiões de lagos e açudes e as áreas de proteção permanente que circundam o Rio Acaraú também se destacam. A margem direita apresenta maior disponibilização de áreas naturais associadas a cobertura vegetal mais densa, isto se deve ao processo de ocupação urbana da cidade que privilegiou a margem esquerda do rio. Nestas áreas observa-se menor quantitativo de vegetação e maior densidade construtiva, cabendo a administração pública municipal promover políticas públicas que mitiguem as problemáticas geradas. Convém ressaltar que existem diferentes projetos em âmbito municipal que se propõem a inserção e a proteção da vegetação natural no ambiente da cidade, haja vista a mitigação dos efeitos climáticos advindos do clima semiárido na região, que pressupõem médias térmicas elevadas durante todo o ano.

Na figura 31 (a, e, f) é possível observar algumas intervenções do governo local, por meio da inserção de mudas de espécimes nativas na paisagem urbana da cidade, privilegiando a arborização dos espaços de lazer e de circulação de pedestres. Todavia, percebe-se que a cidade apresenta extensas áreas impermeabilizadas e uma densa malha construtiva, sendo também as regiões que apresentam o menor quantitativo de verde, logo pode-se inferir que tais fatos afetam as temperaturas do ar nesses locais. Nesse sentido, esse trabalho se propõe a identificar as áreas mais críticas do ponto de vista térmico e estabelecer contribuições para a mitigação desses fenômenos, contribuindo, assim, com o planejamento urbano e climático da cidade.

Figura 31 – Vegetação na paisagem urbana



Fonte: Organizado pela autora. As figuras A - F evidenciam a presença de vegetação no ambiente urbano de Sobral, com destaque para as principais vias vegetadas, os parques, as praças e as matas ciliares.

#### 4.1 De arraial à cidade urbanizada e polarizadora

Como vimos, a cidade de Sobral apresenta uma paisagem tipicamente urbana e uma economia dinâmica que influencia toda a região circunvizinha. Tais fatos tem suas origens nos processos históricos de ocupação e desenvolvimento social e econômico do município.

Grosso modo, o processo de ocupação da região onde hoje se visualiza o município de Sobral, tem suas origens no assentamento de famílias que fugiam da guerra contra os holandeses (IBGE, 1959). Para essa ocupação esses povos se utilizaram das condições naturais do sítio. Conforme defende Carvalho (2013, p.13) “a penetração para o

interior dos sertões sempre se fazia seguindo o curso dos rios, no caso do Ceará, o rio Jaguaribe e o Acaraú foram os que se prestaram primeiro para este processo de povoação”. Somado a este elemento, as margens dos rios ofereciam terras férteis, fator essencial para o alocamento de grupos populacionais nesses ambientes.

Dois assentamentos foram os pontos de partida para a povoação do vale do Acaraú. O primeiro deles se formou as margens do Riacho Guimarães, por volta da década de 1710, e o segundo deles, o arraial de São José, que se formou nas proximidades do local onde a cidade de Sobral surgiria. A partir desses dois núcleos todo o vale do Acaraú foi sendo ocupado e, conseqüentemente, desenvolvendo atividades econômicas voltadas a produção agrícola, ao estabelecimento de fazendas de criar e ao desenvolvimento da indústria da carne de sol (IBGE, 1959).

Neste contexto, “de uma das grandes propriedades que se ergueu com cêrca de pau-a-pique, casarão enorme e contando com centenas de agregados, nasceu a cidade de Sobral” (IBGE, 1959, p.512). Este local consistia na fazenda Caiçara, a partir dela foram se construindo outras casas de taipa, edificando igrejas e se consolidando como um arraial. Ao passar dos anos, com seu imponente desenvolvimento logo se tornaria vila distinta e real de Sobral e, posteriormente, ascenderia a categoria de município. Ao olhar a história de Sobral, observa-se que a cidade sempre esteve presente politicamente e socialmente nas discussões regionais e nacionais, além de exercer uma forte polaridade sobre a região norte do estado.

O rápido desenvolvimento de Sobral enquanto núcleo urbano associa-se, em um primeiro plano, as características naturais e a localização geográfica privilegiada. No caso da Fazenda Caiçara, a mesma estava situada em um cruzamento de caminhos de movimento constante (Brasil, 1972). Segundo Assis e Sampaio (2012) esses agrupamentos, a exemplo de Sobral, localizavam-se em pontos estratégicos para a circulação do gado nas estradas das boiadas. Além disso, Brasil (1972) aponta que a vinda do Padre João de Matos Monteiro para a região em 1712, foi determinante para o crescimento inicial da cidade, haja vista que a sociedade extremamente religiosa da época era atraída ao povoado em busca de cura para suas enfermidades.

O comércio de bovinos foi fundamental para o desenvolvimento da região, inclusive Sobral, pois foi “tangendo boiadas para as praças de mercado que se melhoraram e aumentaram os caminhos e os sistemas de transportes e comunicação entre a zona Norte do Ceará e os centros consumidores acessíveis à mesma no País” (Brasil, 1972, p.109). Nesse período já era possível visualizar o efeito polarizador de Sobral perante as demais cidades da zona norte, visto que todo o comércio de bovinos emergia para o centro urbano de Sobral.

Com o advento da indústria de carne do sol, a elite sobralense também se beneficiou a partir da criação de oficinas para todos os processos de preparação da carne, visando a exportação.

Os fenômenos naturais afetaram significativamente a economia da região. A seca de 1790 a 1794 provocou mudanças significativas no cenário econômico, visto que dizimou os numerosos rebanhos bovinos, desarticulando a indústria de carne do sol. Como saída para a situação, os fazendeiros investiram na produção de algodão, e, posteriormente, na inserção de novas variáveis agrícolas. Isto favoreceu o aperfeiçoamento dos meios de transporte, fornecendo alternativas para a exploração mais intensiva dos recursos agrícolas e minerais. O destino dessa produção em parte partia de “unidades de produção na área para o seu centro urbano polarizador que crescia demográfica e economicamente, e exigia maior e mais sofisticado abastecimento” (Brasil, 1972, p.114).

Sobral continuava sempre na hegemonia do comércio, da vida religiosa e da vida política da zona Norte do Estado. No ano de 1810 iniciou-se a exportação do algodão armazenado em Sobral pelo porto do Acaraú. Pouco mais de dez anos depois, inaugurava-se naquela cidade de Sobral uma alfândega provisória; esforço do governo da província para controlar as transações comerciais de uma zona sobre a qual seu controle era muito limitado (BRASIL, 1972, p.115).

A seca de 1844 a 1845 foi a nível estadual um evento extremo que causou grandes deslocamentos de pessoas da zona rural e desarticulou os processos econômicos até então vigentes. Contudo, os efeitos nocivos da referida seca logo são superados e os sertanejos passam a se reorganizar para produzir no espaço rural.

O desenvolvimento da cultura do algodão, a nível estadual, ocasionou um rearranjo no território cearense por meio da construção da via férrea. A rede ferroviária era formada por duas linhas, sendo que uma delas, a linha norte, partia de Sobral interligando a cidade a Camocim e a Crateús e após a ampliação ligou Sobral à Teresina/PI. O impacto direto da ferrovia consistiu na expansão de alguns núcleos urbanos cearenses, inclusive Sobral (Holanda, 2007).

No final do século XIX, a atividade algodoeira contribuiu para a implantação de indústrias na paisagem sobralense, com destaque para as têxtis, de óleo vegetal, sabão, alimentos etc. Tais indústrias foram beneficiadas ainda pela crise internacional do algodão. Posteriormente, a partir da política coordenada do governo federal de modernização do país, por meio das ações da SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), Sobral passa a viver um novo período político, cultural e econômico, visto que ele estava inserido nas políticas regionais de desenvolvimento industrial, a partir da instalação de uma variedade de

indústrias, como “montadoras automobilísticas e indústrias para fabricação de equipamentos e insumos agrícolas” (Holanda, 2007, p. 93).

A partir desse momento percebe-se um impacto relevante da industrialização na urbanização das cidades. Em Sobral nota-se que conforme a cidade se desenvolveu economicamente e industrialmente, a sua malha urbana também se expandiu, visto o alocamento de serviços e aumento da população. Se analisarmos as imagens da primeira metade do século XX, podemos perceber que a cidade já apresentava uma malha urbana considerável, tendo vista que a mesma sempre foi uma região polarizadora (Figura 32).

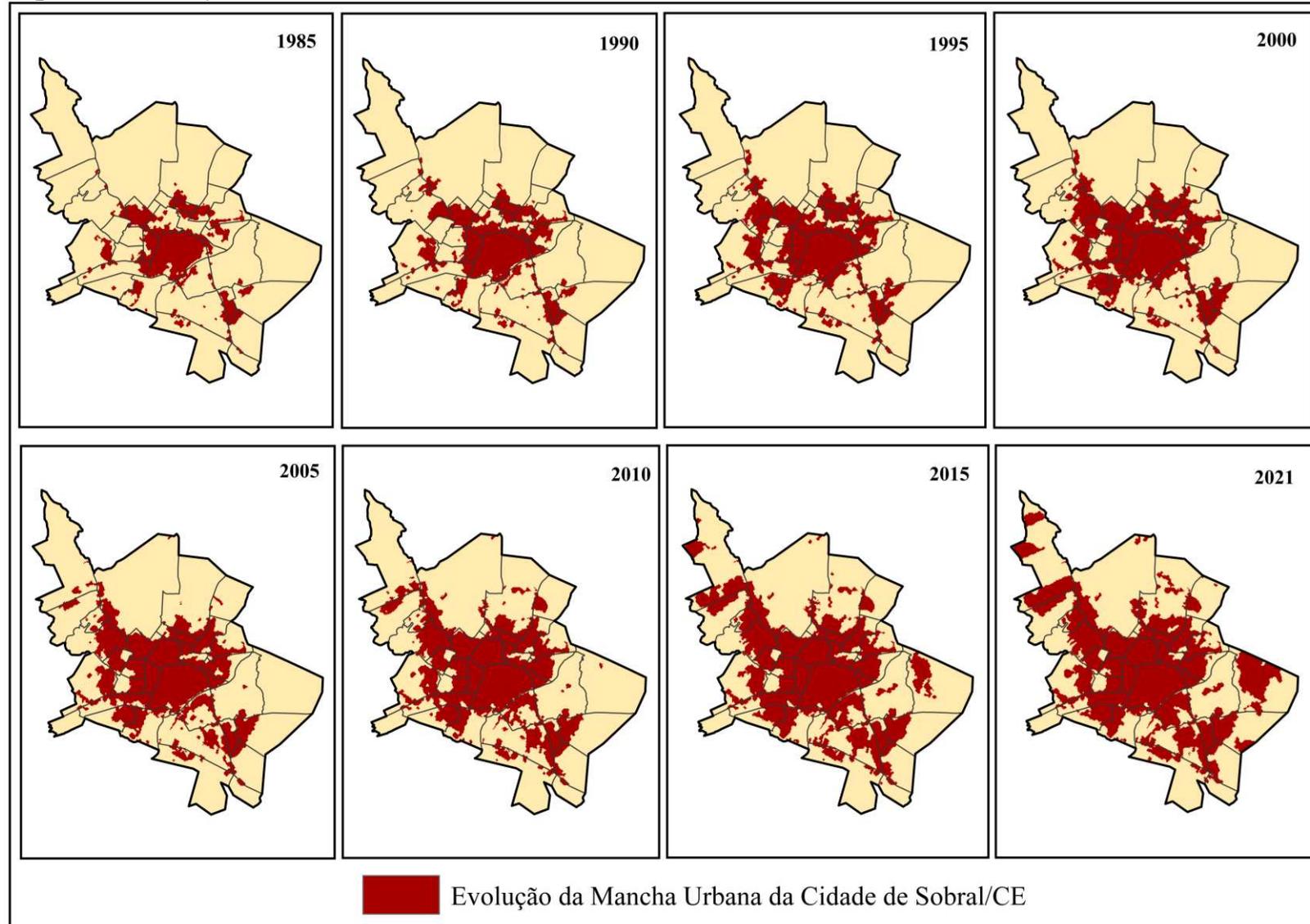
Figura 32 – Imagens da cidade de Sobral na década de 1950



Fonte: IBGE, 2015. Organizado pela autora.

Nota-se que a maior representação da modernização gerada pela chegada de indústrias de grande porte na paisagem urbana se apresenta a partir da década de 1990. Desse momento em diante a cidade vivenciou um processo de desenvolvimento crescente, tornando-se um dos principais polos da região noroeste cearense, com grande influência local e regional. Seguindo um processo semelhante aos grandes centros, o município de Sobral tendeu a concentrar todos os serviços e atividades no centro urbano, fato que em parte justifica a grande concentração populacional neste espaço geográfico e a consequente expansão da mancha urbana (Figura 33).

Figura 33 – Evolução da mancha urbana de Sobral



Fonte: MAPBIOMAS. Organizado pela autora.

Ao analisar as imagens históricas da cidade de Sobral, percebe-se como o espaço urbano da cidade foi sendo adensado ao longo das décadas e como a malha urbana foi se expandindo continuamente. Com o desenvolvimento da cidade, e, principalmente, com a implementação de grandes indústrias, novas formas foram acrescentadas à paisagem, com a disponibilização de materiais que apresentavam diferentes respostas a radiação atmosférica. Ademais, a própria ocupação dos cidadãos foi modificando as paisagens da cidade, com a construção das residências e a instalação de infraestruturas.

É notável que na década de 1980, a área correspondente a cidade de Sobral apresentava uma ocupação menor, uma área vegetada mais preservada e as dimensões do rio Acaraú, que corta a cidade, eram bem maiores do que as visualizadas na atualidade. Nota-se para essa década que a concentração urbana estava associada majoritariamente ao centro urbano histórico, mas com uma propensão para a formação de pequenos centros nos limites dessa área, indicando uma tendência de expansão dessa zona.

Na transição entre as décadas de 1990 e 2000, a malha urbana da cidade sofreu uma alteração considerável, sobretudo em suas porções leste, oeste e ao sul. Este fato pode ser verificado na tabela 1, onde constatou-se uma taxa de evolução da malha urbana igual a 40%, comparando os anos de 1990 a 2000. Nos estudos sobre o avanço da industrialização na cidade de Sobral, Alves e Silva (2004) atribuem essas alterações no espaço urbano sobralense à chegada das indústrias, sobretudo a Grendene Calçados S/A. Esta foi responsável por atrair uma rede de novas indústrias para atender suas demandas, além de atrair novos habitantes ao espaço urbano devido as vagas de empregos gerados.

Tabela 1 – Área (km<sup>2</sup>) da malha urbana de Sobral entre 1995 e 2021

<b>Anos observados</b>	<b>Área absoluta da malha urbana</b>
1985	6.99 km <sup>2</sup>
1990	9.41 km <sup>2</sup>
1995	11.76 km <sup>2</sup>
2000	13.41 km <sup>2</sup>
2005	15.07 km <sup>2</sup>
2010	16.98 km <sup>2</sup>
2015	20.18 km <sup>2</sup>
2021	23.24km <sup>2</sup>

Fonte: Elaborado pela autora.

Para as últimas décadas observa-se que a cidade tem se expandido de forma crescente. Ao analisarmos os últimos 20 anos nota-se que a malha urbana da cidade ganhou contornos impressionantes, sobretudo em direção a serra da Meruoca e a porção noroeste da cidade. Nota-se a contribuição espacial das indústrias e os equipamentos relacionados aos

serviços, do mesmo modo que a construção de residenciais e conjuntos habitacionais tem sido uma constante na paisagem urbana da cidade. Acrescenta-se a esses aspectos a chegada dos centros de pesquisa e universidades que também contribuíram para a expansão da macha urbana, por meio da atração de profissionais qualificados que tendem a ocupar as áreas mais abastadas da cidade.

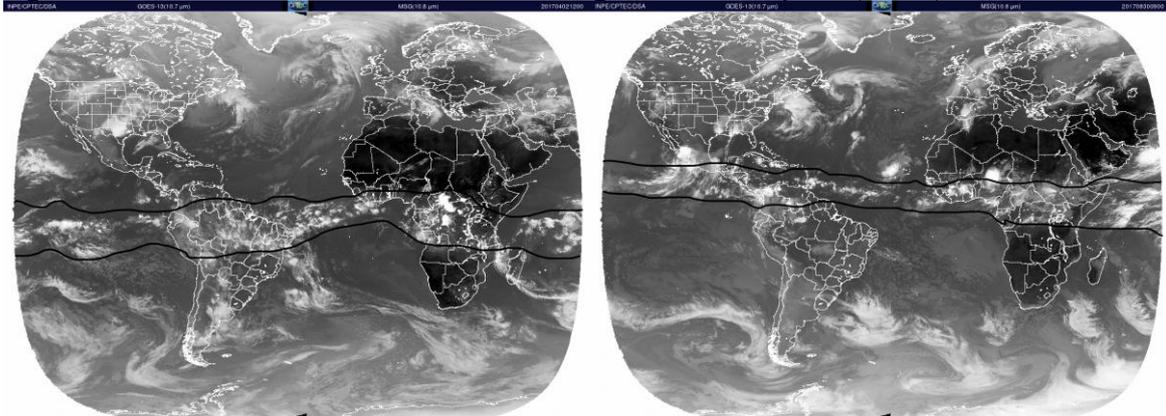
Em termos absolutos a macha urbana da cidade de Sobral, no ano de 2000, era de 13.41 km<sup>2</sup>, já em 2021, essa área se expandiu para 23.24 km<sup>2</sup>, isso significa afirmar que a evolução percentual da macha urbana entre os anos citados foi igual a 70%. Este consiste em um dado importante que explicita as condições de evolução urbana da cidade e que ressalta a necessidade do planejamento urbano e climático, ao mesmo tempo que alerta para a atualização constante dos estudos sobre a temática, visto que as mudanças da paisagem de Sobral estão ocorrendo de forma acelerada.

#### **4.2 Aspectos do clima da cidade de Sobral**

Ao pensar o clima da cidade de Sobral temos que considerar a dinâmica atmosférica global e regional, visto que estas determinam as condições climáticas locais. O principal sistema atmosférico atuante no norte do nordeste brasileiro (NNEB), inclusive na cidade de Sobral, consiste na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Figura 34). A ZCIT se configura como uma banda de nuvens que circunda a porção equatorial do globo terrestre e que se forma a partir da confluência dos ventos alísios advindos do hemisfério norte (alísios de nordeste) com os do hemisfério sul (alísios de sudeste). O encontro entre essas duas correntes de ventos favorece intensa atividade convectiva e a ocorrência de precipitação (Ferreira; Mello, 2005). Há que saber que esse sistema atmosférico sofre influência das Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Atlântico Tropical e do Oceano Pacífico, visto que estes influenciam a posição e a intensidade da ZCIT.

A observação da TSM permite avaliar com certa antecedência o padrão de chuvas, sobretudo para o NNEB. Nota-se que quando a TSM do Atlântico Norte está mais aquecida e as águas do Atlântico Sul mais frias, a ZCIT perde força e gera anos com baixos acumulados de precipitação. Quando o oposto ocorre, a ZCIT se fortalece e favorece a ocorrência de anos muito chuvosos para o norte do nordeste brasileiro. Com relação as anomalias de temperatura do Pacífico, a formação do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) em seus dois ramos, a La Niña (fase positiva - fria) e o El Niño (fase negativa - quente), afeta de diferentes maneiras o padrão de ocorrência da ZCIT (Ferreira; Mello, 2005; Cabral Junior; Almeida, 2012).

Figura 34 – Deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no ano de 2017



Fonte: CPTEC/INPE/DAS, adaptado pela autora. Arquivos de imagens coletadas pelo satélite GOES 13 e METEOSAT 10, canal infravermelho. Na primeira imagem verifica-se a posição meridional da ZCIT em 02 de abril de 2017, ocasionando chuvas no norte e nordeste brasileiro. Na segunda imagem, a ZCIT está em sua posição setentrional em 30 de agosto de 2017, atuando sobre o hemisfério norte do globo.

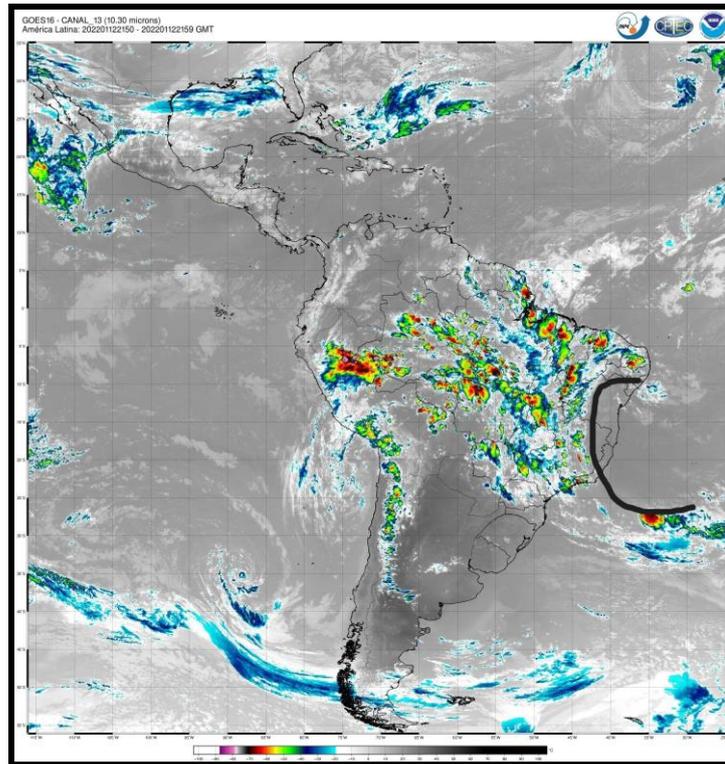
Em anos de formação de El Niño, as águas do pacífico ficam mais aquecidas do que a média normal histórica e o padrão de circulação dos ventos alísios são modificados, a partir do enfraquecimento dos mesmos. Logo essa configuração impede o deslocamento da ZCIT para posições mais meridionais e provoca o enfraquecimento na formação da banda de nuvens, acarretando a geração de anos com redução dos totais pluviométricos, dos tipos secos ou abaixo da média. Em anos de ocorrência de La Niña, com o resfriamento anormal das águas do pacífico, os ventos alísios são fortalecidos, contribuindo para a formação da ZCIT. Conseqüentemente, esta condição favorece a ocorrência de anos chuvosos ou dentro da média para a região do norte do nordeste brasileiro.

Para a região Nordeste do país destaca-se a ocorrência dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) que “formam-se no oceano Atlântico, principalmente entre os meses de novembro e março, e sua trajetória normalmente é de leste para oeste, com maior frequência entre os meses de janeiro e fevereiro” (Ferreira; Mello, 2005, p.20). Tal fenômeno atmosférico tem uma durabilidade média de 7 a 10 dias e está associado a altos índices pluviométricos. As imagens orbitais evidenciam que esse sistema consiste em um conjunto de nuvens de formato circular que se desloca em sentido horário, possibilitando a formação de nebulosidade nas bordas e estabilidade do tempo no centro, devido a subsidência do ar e o aumento da pressão (Figura 35).

Somados a esses fenômenos o NNEB, convive também com eventos pluviométricos associados a ocorrência das Linhas de Instabilidade. Este fenômeno tem sua gênese associada a forte incidência da radiação solar em regiões tropicais, a partir do desenvolvimento de nuvens do tipo cumulus. A formação desse sistema geralmente ocorre no

final da tarde e início da noite, quando os índices de convecção são máximos, trazendo acumulados pluviométricos importantes para a região (Ferreira; Mello, 2005; Monteiro, 2022).

Figura 35 – Atuação de um VCAN em 12 de janeiro de 2022



Fonte: Fonte: CPTEC/INPE/DAS, adaptado pela autora

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), conhecidos como ondas de leste, se formam na faixa tropical do globo influenciados pela atuação dos ventos alísios, estes se deslocam da costa oeste da África para o Brasil (leste) atuando sobre o litoral do Brasil sobretudo na região da Zona da Mata. Porém, em condições atmosféricas e oceânicas propícias esse sistema se fortalece e pode chegar até a porção centro-norte do estado do Ceará, contribuindo com os índices pluviométricos da região, sobretudo no pós-estação chuvosa (Ferreira; Mello, 2005; Cavalcanti *et al.*, 2009; Monteiro, 2022).

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) também se destacam para a região em estudo, estes consistem em aglomerados de nuvens que se formam devido as condições naturais propícias do sítio, a saber, relevo, temperatura, pressão etc. Os CCMs estão associados a chuvas de forte magnitude e curta durabilidade, além de ocorrerem em pontos isolados (Ferreira; Mello, 2005; Costa *et al.*, 2019; Jacinto; Eloi; Sakamoto, 2022; Monteiro, 2022).

Os sistemas atmosféricos supracitados consistem nos fenômenos causadores de precipitação e são visualizados, em sua maioria, durante o período chuvoso na área em estudo. No período seco, segundo semestre do ano, a dinâmica climática da área é regida pela atuação do Anticiclone do Atlântico Sul, responsável pela geração dos ventos alísios de sudeste. Desse centro de ação surge a Massa Equatorial Atlântica (mEa), responsável pela estabilidade do tempo em toda a porção norte do nordeste brasileiro (Soares, 2015). Para Soares (2015, *apud* Nimer, 1964) essa condição de forte atuação desse centro de ação e da mEa, está associado ao caráter seco do nordeste brasileiro.

Nesse sentido, visualiza-se que grande parte do nordeste e, especialmente, a cidade de Sobral encontram-se dentro dessa zona de semiaridez. Para Zanella (2014) o semiárido nordestino se caracteriza por apresentar altas “taxas de insolação, elevadas temperaturas e baixas amplitudes térmicas. Os totais pluviométricos são baixos e apresentam alta variabilidade no tempo e no espaço” (Zanella, 2014, p.128). A autora destaca também a presença de elevadas taxas de evapotranspiração e o considerável déficit hídrico dessas áreas.

Neste mesmo caminho, SUDENE (2021) aborda as características do semiárido brasileiro destacando os principais aspectos do clima e os impactos que estes geram nas comunidades locais.

O Semiárido brasileiro, comparado a outras regiões semiáridas do planeta, é relativamente mais chuvoso, com uma precipitação anual máxima de 800 milímetros. Porém, com uma insolação média de 2.800 horas/ano, temperaturas médias anuais de 23 °C a 27 °C, evaporação média de 2.000 mm/ano e umidade relativa do ar média em torno de 50%, o Semiárido brasileiro, caracteristicamente, apresenta forte insolação, temperaturas relativamente altas e regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações em um curto período (em média, de três a quatro meses), fornecendo volumes de água insuficientes em seus mananciais para atendimento das necessidades da população (SUDENE, 2021, p.8).

As características térmicas desses ambientes resultam da localização geográfica em baixas latitudes, dentro da zona tropical do planeta e próximo a área equatorial, situado entre 1° e 18° de Latitude Sul e entre 34° e 48° de Longitude Oeste (Lucena; Steinke, 2017). Logo, recebe-se radiação solar o ano todo e as temperaturas são elevadas e com pouca variabilidade, se mantendo constante durante todas as estações do ano. Em relação as questões hídricas, nota-se que a curta duração dos fenômenos geradores de chuva e a maior durabilidade de sistemas associados a estabilidade do tempo tem favorecido a aridez nesses locais. Para Lucena e Steinke (2017) muitas são as indagações em torno da origem da semiaridez do nordeste brasileiro, destacando-se o fato dessa região ser o ponto final de

diferentes sistemas produtores de chuva, as baixas altitudes que impedem o acesso aos ventos úmidos vindos do litoral e a variabilidade de atuação da ZCIT ao longo dos anos, etc.

Esses fatores ambientais são os responsáveis pela ocorrência de eventos extremos associados a escassez hídrica, no caso as secas. O advento das secas associado as questões sociais emergentes no âmbito do nordeste ocasionam muitos problemas para os habitantes desse território. Nesse sentido, de base dos estudos que avaliam as secas como uma condição recorrente ao semiárido nordestino, instituiu-se o polígono das secas, que consiste na demarcação do território semiárido para fins de geração de políticas públicas que mitiguem os efeitos nocivos da seca para as populações que habitam essas áreas. Observa-se que o estado do Ceará se encontra inserido dentro da zona semiárida, com exceção de algumas porções da faixa litorânea (Figura 36).

Figura 36 – Delimitação da faixa semiárida



Fonte: SUDENE, 2021.

Somado a este fator natural, o semiárido convive na atualidade com problemas relativos ao processo de desertificação. Esse fenômeno tem sua gênese associada aos

processos socioeconômicos desenvolvidos no Nordeste, desde o início de sua ocupação até os dias atuais, sobretudo a atividade da pecuária e do extrativismo. Para Souza (1997, p.1) a desertificação é “um fenômeno integrador de processos econômicos, sociais e naturais e/ou induzidos que destroem o equilíbrio do solo, da vegetação, do ar e da água, bem como a qualidade de vida nas terras sujeitas a aridez”.

Nesse contexto se assenta o município de Sobral, situado sobre o semiárido nordestino e com níveis de degradação alarmantes. Esses aspectos apesar de importantes para localizar e caracterizar o município em estudo, não será discutido a fundo nesse trabalho visto que não consiste no foco da pesquisa.

Em relação aos aspectos do clima de Sobral, Muniz *et al.* (2017) ao propor a aplicação de classificações climáticas para o estado do Ceará, demonstra a espacialização das categorizações propostas por Köppen-Geiger e Thornthwaite para todos os municípios do estado, sendo possível a extração das informações para a análise da área em estudo. Das análises engendradas pelos autores definiu-se que a classificação de Thornthwaite apresenta dados mais concisos acerca da tipologia climática evidenciada em Sobral. As metodologias levantadas nesse estudo consideraram como informações de entrada os dados de precipitação e temperatura média. Para a classificação de Thornthwaite, soma-se também o uso dos dados de evapotranspiração, logo essa metodologia se apresentou mais sensível a identificação de variações de subclimas em pequenas áreas.

De acordo com essa metodologia, o município de Sobral apresenta o clima semiárido, com exceção de pequenas porções ao nordeste e ao sudeste que compreendem o clima árido, para essa classificação percebe-se que os altos níveis de evapotranspiração foram determinantes para a categorização das áreas nos tipos climáticos.

Para o IPECE (2017) baseado nos dados disponibilizados pela FUNCEME, o município de Sobral apresenta dois tipos climáticos, o Tropical Quente Semiárido e o Tropical Quente Semiárido Brando. As temperaturas se apresentam com valores elevados, variando entre 26°C a 28°C, e com baixas amplitudes térmicas. A pluviosidade média é de 821,6 milímetros por ano, tendo sua ocorrência predominantemente de fevereiro a maio, durante a quadra chuvosa. Desse modo, o regime climático das chuvas predomina nas estações do verão/outono e a ausência de chuvas no período do inverno/primavera. Devido sua proximidade com a linha do equador as estações do ano não são sentidas com tanta intensidade como no centro-sul do Brasil, devido a isso os estudos na região tem se pautado na perspectiva dos tipos de tempo, no caso período seco e período chuvoso.

Ao analisar os dados climáticos apresentados pela normal climatológica para o período de 01 de janeiro de 1991 a 31 de dezembro de 2020, observamos de forma mais minuciosa as características do clima de Sobral, por meio da análise das temperaturas do ar média, máxima e mínima, da umidade relativa do ar e dos dados de precipitação (Tabela 2).

Desse modo, os dados de temperaturas do ar média evidenciam que os valores mais baixos são visualizados no mês de abril, com uma temperatura do ar média igual 26°C. As médias mais elevadas são verificadas em novembro com limiares igual a 28,4 °C, correspondendo aos meses representativos do período chuvoso e seco, respectivamente. A amplitude térmica observada para a cidade foi de 2,5°C, devido a sua localização geográfica em baixas latitudes.

Tabela 2 – Dados meteorológicos de Sobral (1991-2020)

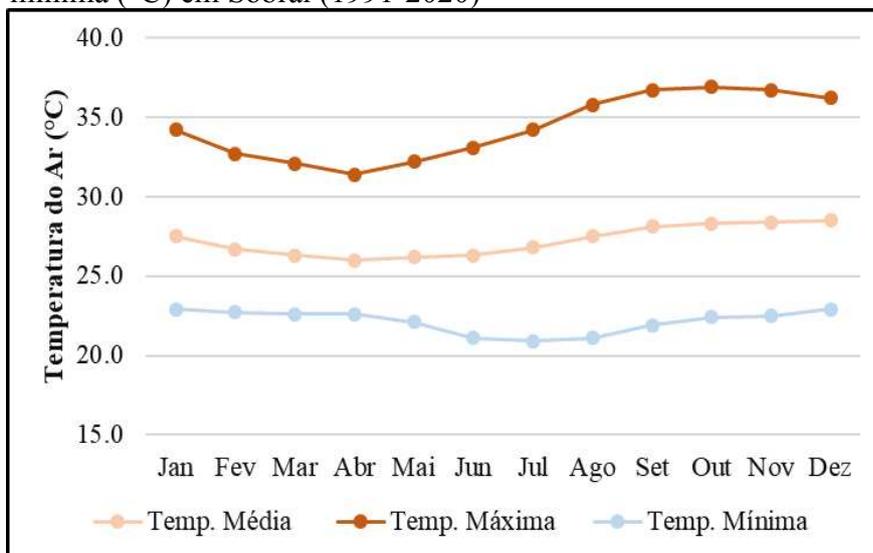
Parâmetros	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temp. Média (°C)	27.5	26.7	26.3	26.0	26.2	26.3	26.8	27.5	28.1	28.3	28.4	28.5
Temp. Máxima (°C)	34.2	32.7	32.1	31.4	32.2	33.1	34.2	35.8	36.7	36.9	36.7	36.2
Temp. Mínima (°C)	22.9	22.7	22.6	22.6	22.1	21.1	20.9	21.1	21.9	22.4	22.5	22.9
Umidade (%)	70.5	78.9	83.0	84.8	80.2	72.0	67.7	58.5	57.8	56.3	57.3	64.5
Precipitação (mm)	123.7	161.8	220.1	206.3	93.2	30.1	17.4	3.9	0.4	2.0	5.5	23.2

Fonte: Normal climatológica (1991-2020) – INMET. Organizado pela autora.

Convém salientar que as temperaturas máximas e mínimas analisadas consistem nas médias dos valores mensais observados para o período de 1991 a 2020. As temperaturas máximas, grosso modo, predominam no segundo semestre do ano, tendo o mês de outubro como o mais quente, com temperaturas máximas igual a 36,9°C, seguido pelos meses de setembro e novembro com temperatura máxima média igual a 36,7°C. Os menores valores de temperatura máxima são visualizados no primeiro semestre do ano, correspondendo ao período chuvoso, com destaque para o mês de abril, que apresentou uma temperatura máxima de 31,4°C (Gráfico 1).

Em relação as temperaturas mínimas, observa-se que estas não mantêm o mesmo padrão das temperaturas médias e máximas, estando distribuídas ao longo do ano e tendo como meses mais representativos o intervalo entre maio e agosto, sendo que o valor mais baixo de temperatura mínima foi visualizado no mês de julho. Em relação aos extremos máximos das mínimas temperaturas verifica-se a sua concentração entre os meses de dezembro e janeiro (Gráfico 1).

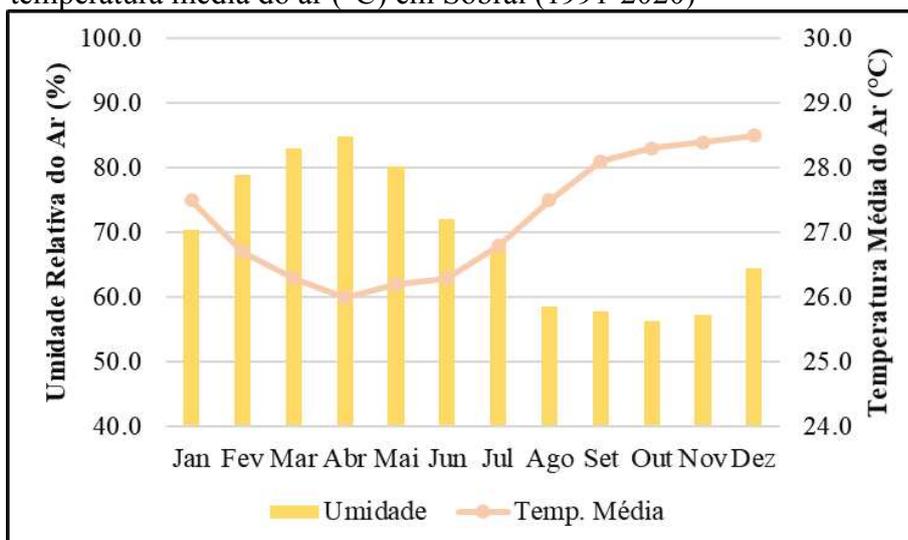
Gráfico 1 – Distribuição das Temperaturas do Ar média, máxima e mínima (°C) em Sobral (1991-2020)



Fonte: Normal climatológica (1991-2020) – INMET. Organizado pela autora.

Em relação a umidade relativa do ar observa-se que essa se configura de forma inversamente proporcional aos dados de temperatura, onde quanto mais elevado os valores de temperatura do ar mais baixas as taxas de umidade se apresentam. Grosso modo, o primeiro semestre do ano corresponde a altas taxas de umidade e o segundo semestre do ano a baixas taxas de umidade relativa do ar (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Distribuição da umidade relativa do ar (%) e da temperatura média do ar (°C) em Sobral (1991-2020)



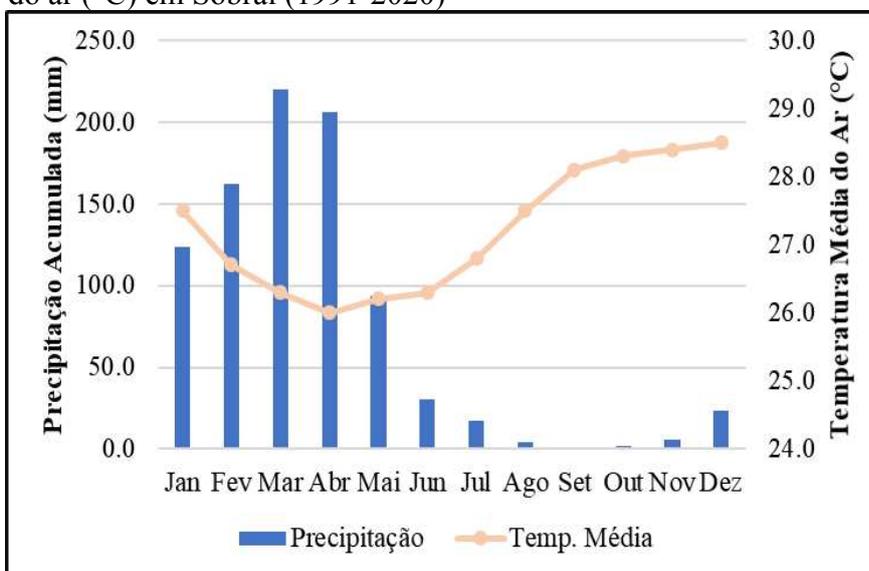
Fonte: Normal climatológica (1991-2020) – INMET. Organizado pela autora.

Nota-se que os maiores valores de umidade se distribuem durante a quadra chuvosa da região, sendo que os meses de março, abril e maio são os mais representativos, visto que

são também os meses de maiores acumulados de precipitação. O menor valor desse elemento foi visualizado no mês de outubro com uma taxa de umidade igual a 56,3%. Ao correlacionar com os dados de temperatura do ar nota-se que coincide com o mês de maior valor das temperaturas máximas, ao mesmo tempo que se relaciona com valores máximos relevantes para as temperaturas média e mínima.

No que concerne aos aspectos da dinâmica pluviométrica, verificou-se para o município de Sobral totais pluviométricos médios iguais a 887.6 milímetros por ano. Como mencionado, grande parte desse acumulado ocorreu nos meses correspondentes a quadra chuvosa no estado do Ceará, de fevereiro a maio, tendo o mês de março como o mais chuvoso com média acumulada de 220.1 milímetros. Destaca-se também nessa normal climatológica o papel da pré-estação chuvosa, com destaque, sobretudo, para o mês de janeiro que apresentou um acumulado de 123.7 milímetros. Os meses menos chuvosos estão concentrados no segundo semestre do ano, com destaque para os meses de setembro e outubro que apresentaram acumulados iguais a 0.4 e 2 milímetros, respectivamente (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Distribuição da precipitação (mm) e da temperatura média do ar (°C) em Sobral (1991-2020)



Fonte: Normal climatológica (1991-2020) – INMET. Organizado pela autora.

## **5 MAPEAMENTO CLIMÁTICO URBANO APLICADO PARA SOBRAL**

O mapeamento climático urbano (UC-AnMap e UC-ReMap) consiste em uma ferramenta de análise que considera a influência das condições naturais do sítio, o processo de urbanização e os aspectos climáticos locais na definição de padrões de temperatura do ar em zonas da cidade. A partir da análise multicritério diferentes variáveis podem ser cruzadas, visando a produção de um mapa final que apresenta as características do clima urbano visualizado na cidade. Freitas *et al.* (2021) destaca as potencialidades da produção de mapas climáticos urbanos, haja vista que estes podem ser disponibilizados a sociedade para serem usados como “ferramenta de consulta e de tomada final de decisão, com uso concomitante por diversas parcelas da população, como geógrafos, urbanistas, poder público, empreendedores da construção civil e população civil” (Freitas *et al.*, 2021, p.8).

A produção do mapa climático urbano pressupõe uma análise “multidisciplinar, com a concentração de esforços de diferentes áreas do conhecimento e que exige a coleta e o tratamento de dados espaciais e climáticos da cidade” (Souza, 2010, p.21). Para a elaboração das camadas necessita-se de um conjunto de informações e diferentes técnicas de geoprocessamento. Estas podem ser adaptadas pelo pesquisador conforme a técnica que melhor se adequa a obtenção do resultado para área estudada.

### **5.1 Camadas utilizadas no mapa de análises climáticas (UC-AnMap)**

Tendo por base os trabalhos de Ribeiro (2013) e Lima Júnior (2018), avaliou-se a princípio quais as variáveis utilizadas nessas pesquisas tinham repertório para explicar sua relação com a produção do clima urbano de Sobral. Observou-se algumas características que eram importantes pontuar para entender o clima e a urbanização da cidade, tais como: a semiaridez, a industrialização, a malha urbana, a insolação, a dinâmica dos ventos, o relevo, etc. Somado a estes pontos, buscou-se abarcar o máximo de variáveis possíveis para assim determinar quais são as que melhor se adequam e explicam o clima urbano de regiões de baixas latitudes semiáridas. Além desses aspectos buscou-se inserir variáveis que não foram utilizadas nessas pesquisas, mas que apresentam condições propícias ao entendimento do fenômeno no ambiente em estudo.

Desse modo, foram definidas dez variáveis, sendo cinco delas responsáveis pela explicação das questões relativas à carga térmica da cidade, e as outras cinco, visavam entender como se comportava o potencial dinâmico. No quadro 2, elencamos as camadas

utilizadas na elaboração do UC-AnMap de Sobral, categorizando-as de acordo com o balanço de energia que as mesmas imprimem na paisagem urbana, destacando a função urbana de cada variável, as características físicas das mesmas e os efeitos no conforto térmico do ambiente.

Nesse sentido, as variáveis que contribuíram para o aumento ou diminuição da carga térmica em Sobral foram: altimetria, volume edificado, uso do solo, temperatura superficial e espaços verdes. Tais elementos foram ponderados de acordo a capacidade que estes exerciam na modificação térmica da cidade. Para a definição do potencial dinâmico, utilizou-se as variáveis: cobertura do solo, orientação das vertentes, paisagem natural, declividade e proximidades à espaços abertos e corpos d'água. Essas camadas tinham por função explicar a dinâmica positiva ou negativa da ventilação do ambiente urbano em estudo, considerando suas potencialidades na determinação do balanço de energia.

Quadro 2 – Classificação das camadas do UC-AnMap

Balanço de energia	Característica física urbana	Camadas	Aspecto do clima urbano	Efeito no conforto térmico	
<i>Carga Térmica</i>	Altitude e elevação	Altimetria	Resfriamento adiabático do ar em altas altitudes	Positivo	
	Edificações no espaço urbano	Volume Edificado	Armazenamento de calor	Negativo	
	Atividades antropogênicas	Uso do solo	Aquecimento antropogênico	Negativo	
	Interação entre a superfície urbana e a atmosfera	Temperatura Superficial	Aquecimento da superfície urbana/interação superfície e atmosfera	Negativo	
	Vegetação	Espaços Verdes	Resfriamento do ar	Positivo	
<i>Potencial Dinâmico</i>	Permeabilidade urbana	Cobertura do solo	Obstrução e modificação dos fluxos de ar	Negativo	
	Direção das vertentes	Orientação das Vertentes	Disponibilidade de radiação solar e entrada de ventos	Positivo	
	Vegetação	Paisagem Natural	Movimento do ar	Positivo	
	Encostas e declives	Declividade	Dinâmica da ventilação	Positivo	
	Espaços Abertos	Proximidades	Espaços abertos	Troca de massas de ar e efeitos nas redondezas	Positivo
	Corpos d'água		Corpos d'água	Diminuição da temperatura na área de influência	Positivo

Fonte: Adaptado de Souza; Katzschner, 2018.

### **5.1.1 Análise do mapa de Altimetria**

O clima de um ambiente pode ser apreendido a partir da análise dos elementos constituintes do tipo climático, esses são, a priori, os maiores determinantes para as condições climáticas visualizadas em uma área. Entretanto, sabe-se que os componentes do tipo climático podem se modificar a partir da interação com os fatores geográficos presentes no sítio. Nesse sentido, observa-se que o relevo a partir das variações na altitude favorece modificações na temperatura do ar.

Para Barbirato, Souza e Torres (2007) a altitude tem relação direta com a modificação da temperatura do ar, pois com o aumento da altimetria “o ar estará menos carregado de partículas sólidas e líquidas” (Barbirato; Souza; Torres, 2007, p.26), essa condição permite o decréscimo dos valores térmicos, haja vista que a disposição dessas partículas na atmosfera próxima a superfície promove a absorção das radiações solares e as difundem aumentando a temperatura do ar. Para esse autor o gradiente termométrico do ar consiste na redução de 1°C a cada 200 metros. Para Ayoade (1983) o relevo com seu efeito atenuador da temperatura promove redução média de 0,6°C por 100 metros de altitude.

Nesse sentido, Fritzsos, Mantovani e Aguiar (2008) ao analisar a relação da altitude e a temperatura, explicitam que o gradiente termométrico pode apresentar outras variações, esses autores evidenciam que a temperatura decresce de acordo com a elevação da altitude em uma proporção de aproximadamente 1°C a cada 100 metros. “Esta taxa de arrefecimento ocorre, pois, uma massa de ar seco em ascensão está sujeita a pressão cada vez menor, aumentando seu volume e diminuindo a temperatura” (Fritzsos; Mantovani; Aguiar, 2008, p. 49). Observa-se que há diferentes leituras em torno das variações na temperatura conforme o aumento da altitude, para essa pesquisa adotamos o valor médio definido por Fritzsos, Mantovani e Aguiar (2008).

Conhecer as variações altimétricas do sítio urbano é imprescindível, sobretudo para as regiões tropicais, “onde uma diferença altitudinal de algumas centenas de metros provoca mudanças sensíveis no clima, no solo, na vegetação natural e, conseqüentemente, na adaptação das espécies animais e vegetais e na aptidão para vários sistemas de uso da terra” (Fritzsos; Mantovani; Aguiar, 2008, p.50).

Observa-se que o posicionamento dos sítios nos ambientes urbanos pode resultar também em benefícios para a qualidade térmica dos assentamentos urbanos (Barbirato; Souza; Torres, 2007), visto que localizações propícias à entrada de ventilação favorece o arrefecimento da cidade e a diminuição do armazenamento de calor pela massa construída.

Além desses aspectos, “as cidades assentadas em relevo com superfícies onduladas possuem uma variedade de microclimas maior do que aquelas marcadas por topografias suaves e com pouca declividade” (Andrade, 2016, p.407), pois a topografia influencia de forma relevante a velocidade e a direção dos ventos.

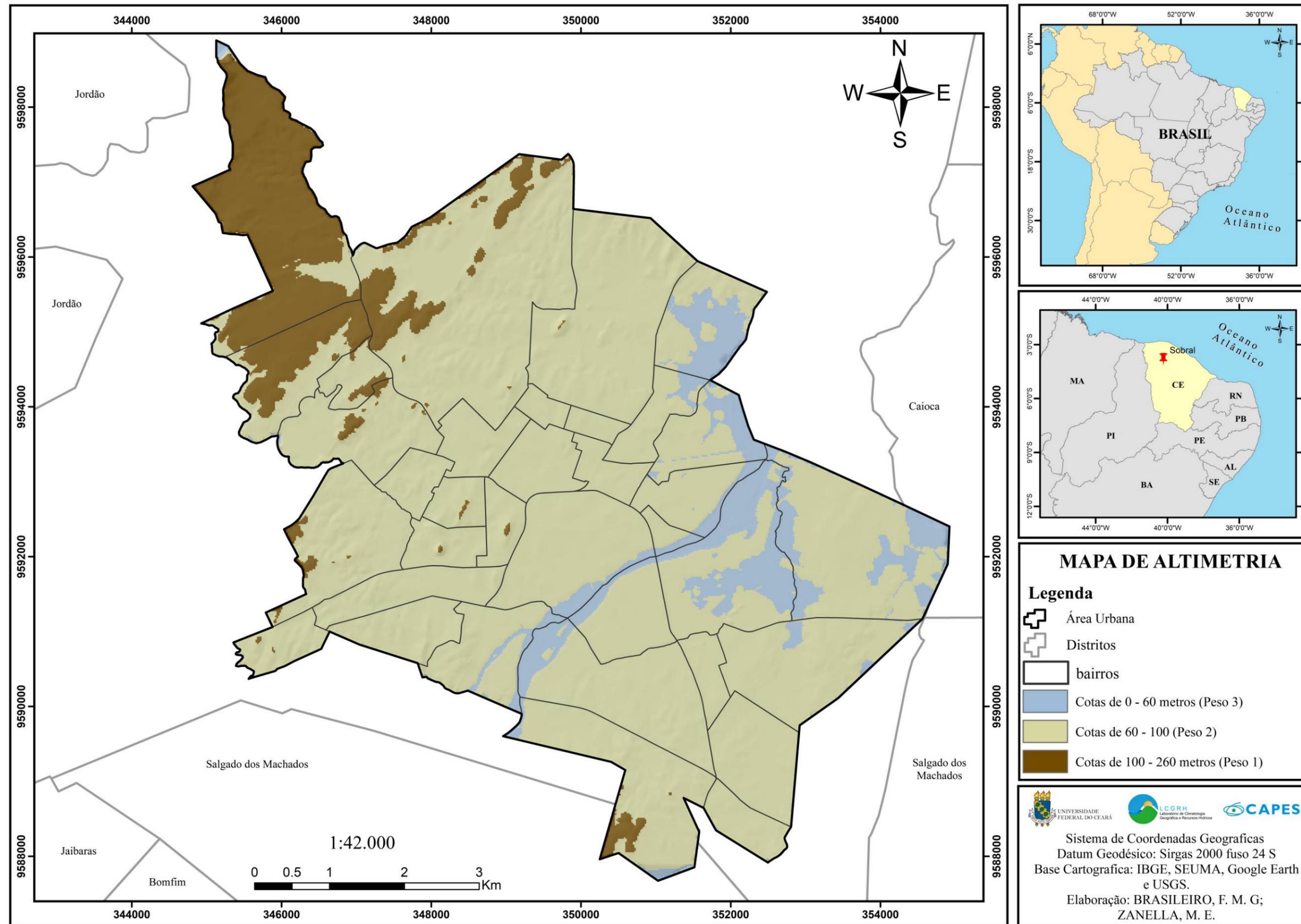
De base desses pressupostos, nota-se que a altimetria contribui para a diminuição das temperaturas. Assim, esse elemento pode explicar em parte a ocorrência de ilhas de calor, seja pela localização do sítio em relação a altitude ou mesmo pela diminuição da magnitude do fenômeno a partir da ventilação. Lima Júnior (2018) evidenciou que os efeitos das ilhas de calor são mais intensos em baixas altitudes, com preferência para valores abaixo de 10 metros.

Em Sobral, evidenciou-se que as cotas altimétricas variaram entre 0 e 260 metros, demonstrando que a cidade apresenta predominantemente relevos rebaixados, haja vista que a mesma está localizada no sopé da Serra da Meruoca. Para fins de classificação esses valores foram agrupados em três classes, com ponderações diferentes (Figura 37). A classe de 0 - 60 metros, recebeu peso 3, haja vista, que são as áreas mais baixas da cidade, portanto os efeitos das ilhas de calor seriam mais evidentes nessas regiões. Associado a isso, percebe-se que essas áreas apresentam processo de ocupação intenso ou são áreas de expansão da cidade. Destaca-se a ocorrência do Rio Acaraú, visto que ele favoreceria a entrada de ventos possibilitando o arrefecimento do ambiente, entretanto as suas margens apresentam processos de impermeabilização e densidade de construções consideráveis. Esta classe apresentou os menores valores quando analisamos sua espacialização na paisagem urbana, onde abrangeu uma área de aproximadamente 4,9 quilômetros, o que representa 8,9% da área total da cidade (Gráfico 4).

A segunda classe analisada consiste nos valores altimétricos entre 60 a 100 metros. Essas cotas apresentam baixa influência da altitude, haja vista que a literatura aponta que as maiores modificações se dão a partir dos 100 metros, portanto tratou-se esse intervalo como propício a geração de ilhas de calor apresentando uma potencialidade intermediária. Estas cotas abrangem praticamente toda a malha urbana, apresentando uma área de 43,8 quilômetros, o que representa 79,51% da área total da cidade. Esses dados são importantes para percebermos que mais de 50% da cidade está situada em zonas que se apresentam com capacidade intermediária para o aumento dos efeitos das ilhas de calor (Gráfico 4).

A terceira classe visualizada na paisagem de Sobral consiste nos valores entre 100 e 260 metros. Esta classe foi definida como a que tem maior influência da altimetria no contexto da cidade, portanto recebeu o menor peso dentre os elementos da legenda.

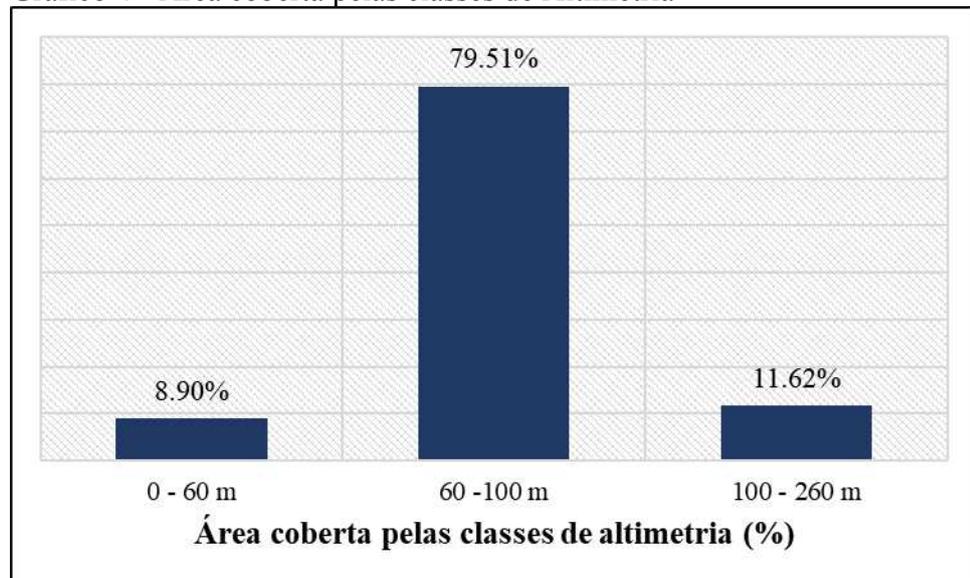
Figura 37 – Mapa de Altimetria da cidade de Sobral - CE



Fonte: Elaborado pela autora.

Devido a cidade de Sobral não apresentar variações elevadas na altimetria definiu-se que os elementos analisados seriam ponderados a partir da menor ou maior contribuição das cotas altimétricas no aumento dos efeitos da ilha de calor. Portanto, para a classe de 100 a 260 metros, ponderamos com peso 1. Ao analisar a distribuição espacial na cidade, percebe-se que as maiores altitudes estão na porção Noroeste e Norte da cidade, sobretudo na direção da Serra da Meruoca. Este cenário representa 6,4 quilômetros de área da cidade, sendo cerca de 11,62% do total do território urbano.

Gráfico 4 - Área coberta pelas classes de Altimetria



Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.1.2 Análise do mapa de volume edificado

A Geometria urbana afeta diretamente o clima da cidade, visto que as altas densidades de construções favorecem a redução do escoamento dos ventos, contribuindo para diferenças na temperatura do ar no ambiente intraurbano (Ribeiro, 2013). Somado a isto, as altas densidades de construções favorecem a diminuição do *sky view factor* (SVF), provocando o aquecimento da atmosfera urbana, visto que esse fator é responsável pelo retardamento do resfriamento das cidades por meio do bloqueio da radiação pelas edificações (Lima Júnior, 2018). Segundo Minella, Rossi e Krüger (2011) o *sky view factor* influencia também no ganho de radiação solar direta, contribuindo para a formação de ilhas de calor diurna ou para o aumento do estresse térmico. Os autores ressaltam ainda que a literatura aponta a maior contribuição do SVF na formação de ilhas de calor noturna.

Para Vianna, Pimentel e Ferreira (2020, p.2) esse “padrão da geometria urbana formam cânions que ampliam a absorção da radiação, pois refletem a radiação entre as superfícies o que faz ela ficar “aprisionada” dentro dos cânions”. A tendência de verticalização das edificações nas cidades ocasiona a formação de barreiras ao vento o que diminui a transferência de calor entre as superfícies e o ar, favorecendo o aquecimento urbano. Além disso, as altas taxas de impermeabilização e a canalização dos cursos de água favorecem a menor capacidade de infiltração da água no solo, prejudicando os processos de evaporação o que acarreta maior temperatura e menor umidade do ar (Vianna; Pimentel; Ferreira, 2020). Nesse mesmo sentido Barbirato, Souza e Torres (2007, p.19) confirmam que “a massa construída das cidades (edificação, pavimentação) produz alterações na paisagem natural, resultando em inúmeros microclimas”.

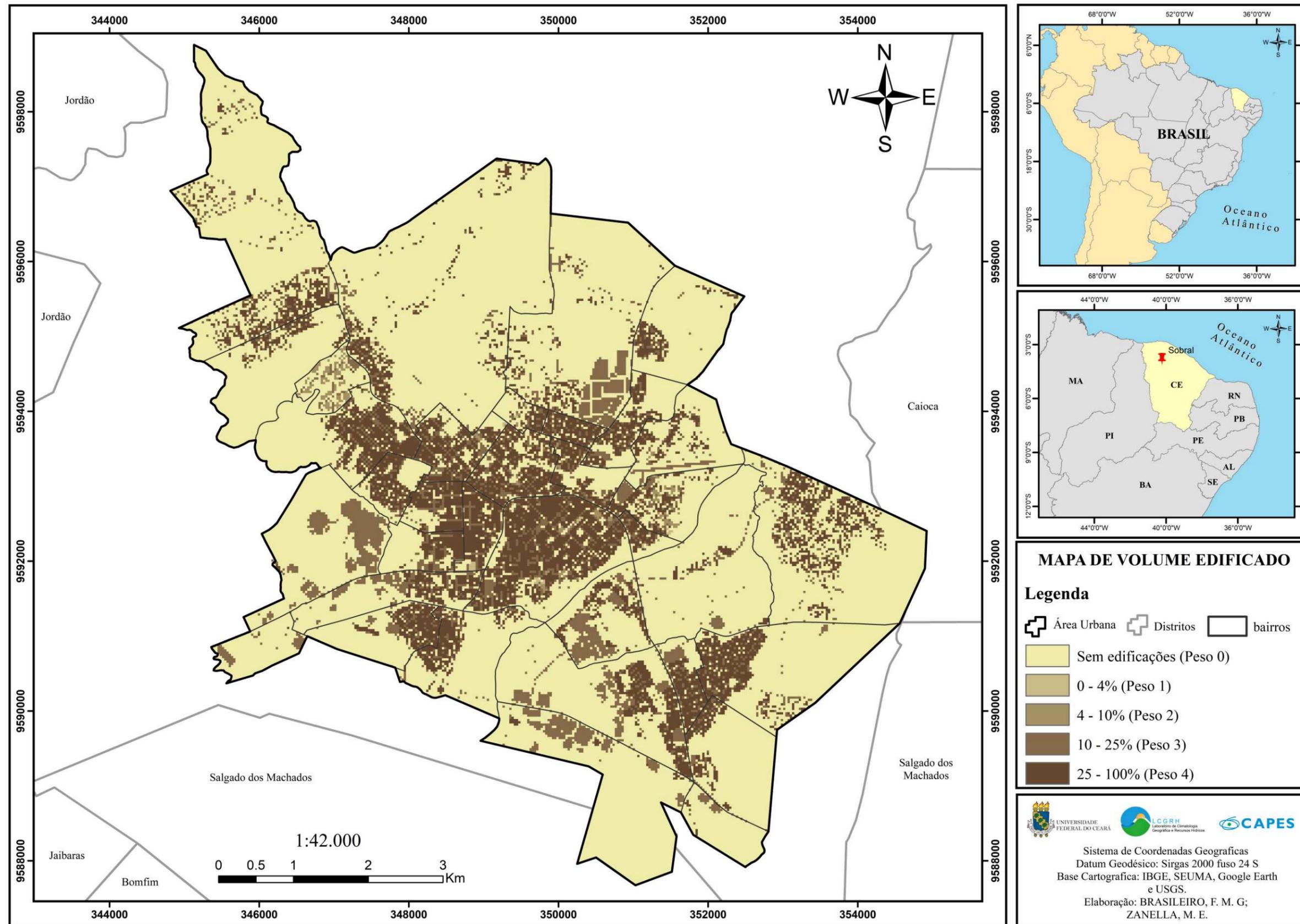
Desse modo, observa-se que quanto maior a densidade da massa edificada de uma área maior a contribuição para o aquecimento da atmosfera urbana (Ribeiro, 2013). De base desses pressupostos buscou-se identificar em Sobral as áreas com maior e menor volume de edificações, haja vista que a cidade está situada sob um clima semiárido, onde naturalmente predominam temperaturas elevadas, logo estas podem ser afetadas pelos condicionantes da urbanização, gerando ainda mais desconforto térmico.

Para a geração do mapa de volume edificado foram mapeadas as feições das construções considerando suas áreas e seus gabaritos em altura. Após esse mapeamento, identificou-se em Sobral 5 classes, sendo que as feições relativas as áreas pavimentadas sem edificações foram incluídas na classe de menor volume edificado.

Na figura 38, observa-se a espacialização das classes de volume edificado encontradas para a cidade de Sobral. Ao analisar a paisagem da cidade percebe-se que existem muitos espaços vazios, como evidenciado nas discussões do capítulo 4. Como vimos Sobral é uma cidade média, com pouco mais de 200 mil habitantes, logo não apresenta uma malha urbana consolidada, tal qual se observa em cidades de grande porte e densamente povoadas. Entretanto, nota-se a expansão contínua da cidade em relação a esses vazios urbanos, sobretudo a partir da construção de condomínios e loteamentos. O maior destaque da malha urbana sobralense se situa no centro e nos bairros circundantes.

Desse modo, a partir do gráfico 5, identificou-se que cerca de 41,17 quilômetros da área total da cidade não apresentam densidade de edificações ou pavimentação do solo, isto representa 74,74% da área total urbana. Esse dado é relevante visto que a cidade apresenta muitos espaços abertos e pouco adensados, o que pode favorecer a entrada de ventilação no contexto urbano, contribuindo para o arrefecimento da cidade.

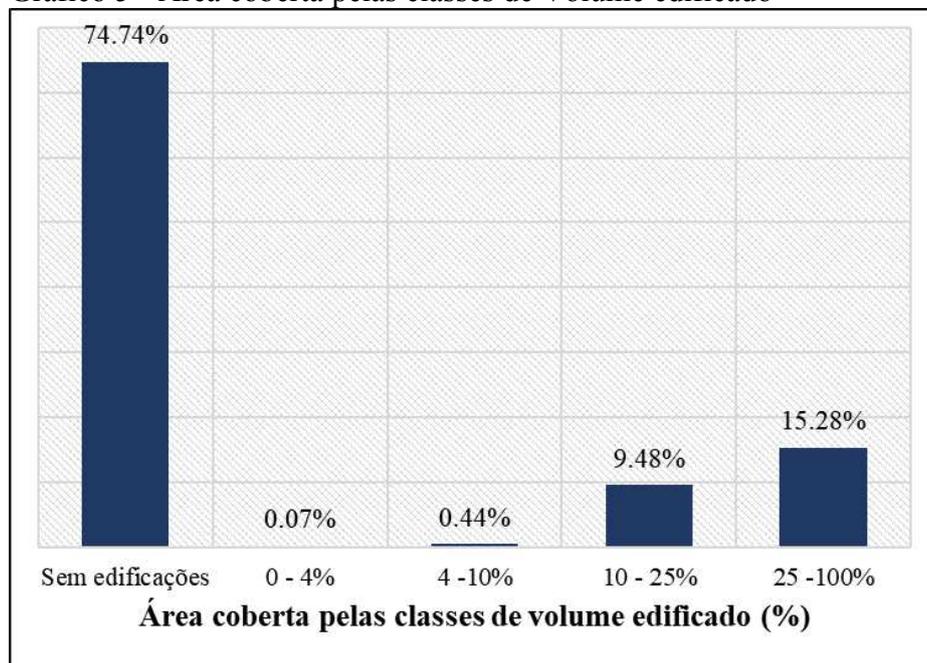
Figura 38 – Mapa de volume edificado da cidade de Sobral – CE



Fonte: Elaborado pela autora.

A classe de 0 a 4% representa as áreas com baixo volume edificado, logo apresentam uma baixa carga térmica e, portanto, a menor ponderação. Estas estão presentes em pequenas porções da paisagem urbana, representando apenas 0,07 quilômetros da área total da cidade, denotando um percentual de ocupação de cerca de 0,07%. A classe de 4 a 10% também apresentou baixa representatividade no ambiente urbano, estas contêm uma capacidade térmica média, sendo ponderadas com peso 2. Observa-se que tal intervalo corresponde a áreas com um adensamento médio e com verticalização intermediária. Foram encontradas em 0.24 quilômetros da área total da cidade, representando um percentual médio de 0,44%.

Gráfico 5 - Área coberta pelas classes de Volume edificado



Fonte: Elaborado pela autora.

A classe de 10 a 25% recebeu peso 3, haja vista que apresentou uma capacidade térmica alta, tais áreas são mais adensadas e apresentam rugosidades consideráveis na paisagem urbana. Essas feições apresentaram uma área de 5,33 quilômetros, o que denota um percentual de 9,48%. A classe de 25 a 100% recebeu a maior ponderação dentro da classificação, haja vista que consiste nos maiores índices de impermeabilidade do solo, densidade de construções e ocorrência de verticalização. De todas as classes de volume edificado essa foi a que apresentou uma maior ocorrência na paisagem, estando presente em 8,42 quilômetros da área da cidade, o que representa cerca de 15,28%. Destaca-se que para Sobral, a maior contribuição na massa construída, advém das residências horizontais, verticalização intermediária e alocação de indústrias.

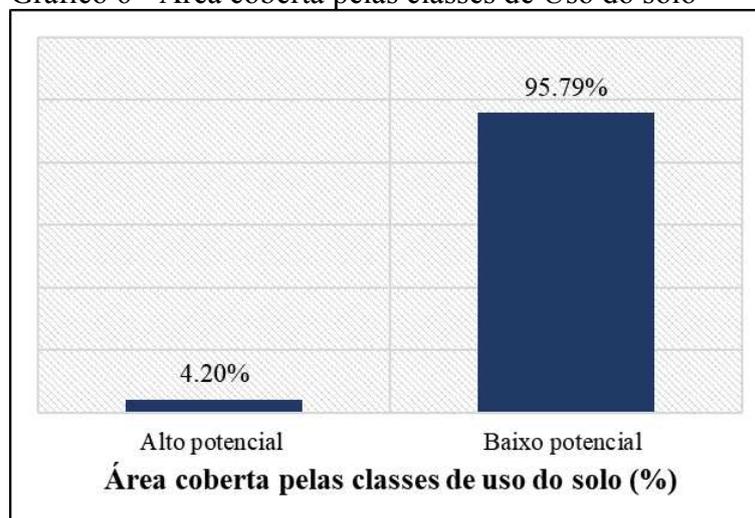
### 5.1.3 Análise do mapa de uso do solo relativo aos ganhos antropogênicos

Ao avaliar o ambiente urbano tendo como ponto de partida sua heterogeneidade, observa-se que algumas atividades são capazes de adicionar maiores níveis de calor a atmosfera próxima a superfície, contribuindo assim para o aumento dos efeitos das ilhas de calor. Esse processo consiste na geração de calor antropogênico advindo das atividades humanas por meio “de diversas fontes, como edifícios, processos industriais, carros e até mesmo as próprias pessoas” (Gartland, 2010, p.34). Lima Júnior (2018) explicita que parte dessas atividades demandam maior consumo de eletricidade e gás, apresentando, portanto, maior potencial de aquecimento.

Nesse sentido, para Sobral adicionamos a informação uso do solo relativo a ganhos antropogênicos, tendo em vista a expansão de algumas morfologias urbanas que, a priori, apresentam forte potencial para liberação de calor extra na atmosfera. Para tal, escolheu-se as áreas industriais e as áreas verticalizadas, considerando que são estruturas que demandam maior consumo de energia.

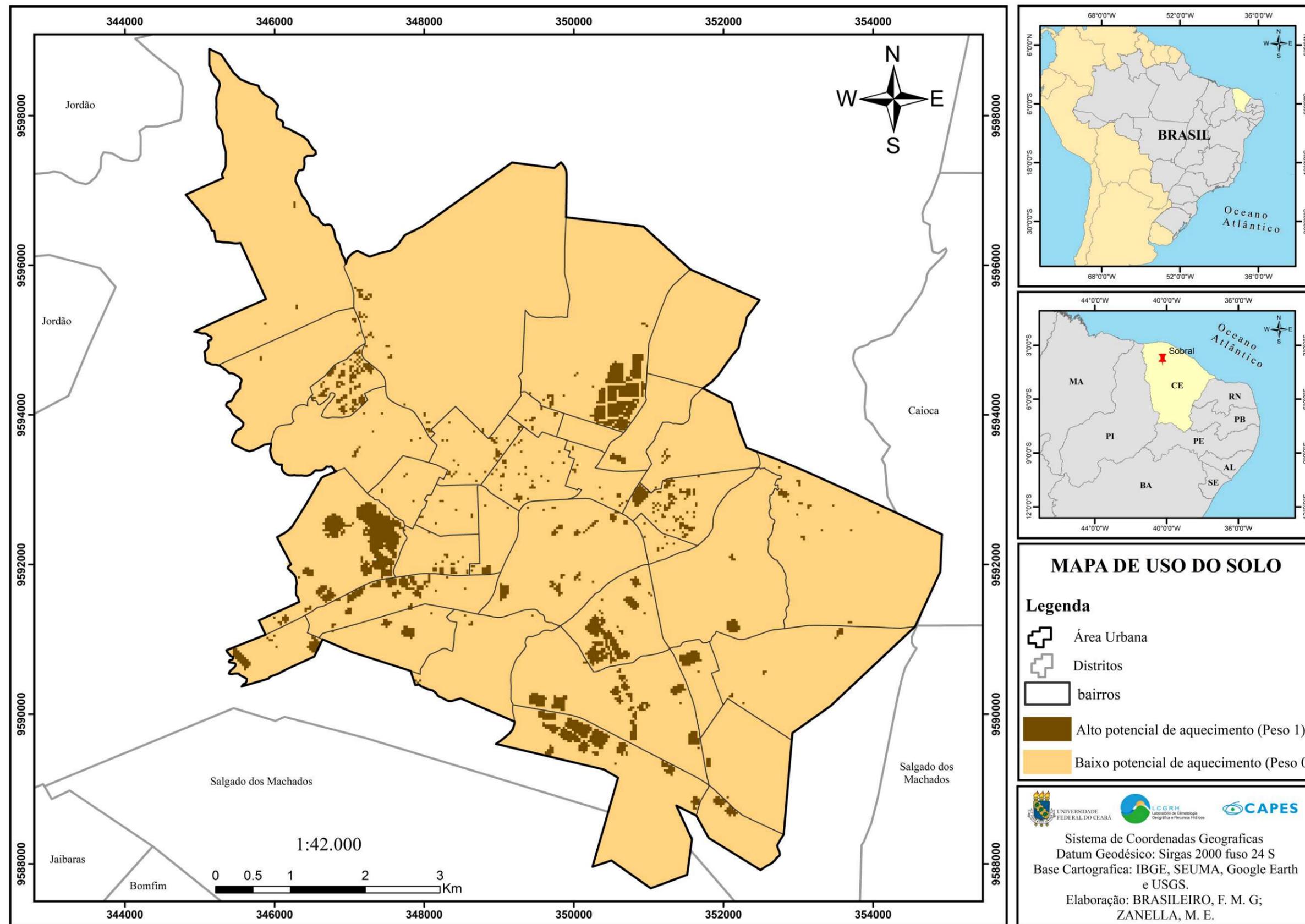
As feições da paisagem urbana foram categorizadas em dois grupos, o primeiro deles consistiu nas áreas com alto potencial de aquecimento, com peso 1 na classificação, e o restante da cidade foi definida como áreas com baixo potencial de aquecimento, com peso nulo (Figura 39). A classe de alto potencial apesar de apresentar uma dimensão espacial baixa com uma área de 2,31 quilômetros, o que representa cerca de 4,2% do território da cidade, encontra-se difundida por toda a paisagem urbana densamente ocupada, o que denota uma atenção em relação aos microclimas dessas porções da cidade (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Área coberta pelas classes de Uso do solo



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 39 – Mapa de uso do solo relativo aos ganhos antropogênicos de Sobral – CE



Fonte: Elaborado pela autora

#### 5.1.4 Análise do mapa de Temperatura da Superfície Terrestre

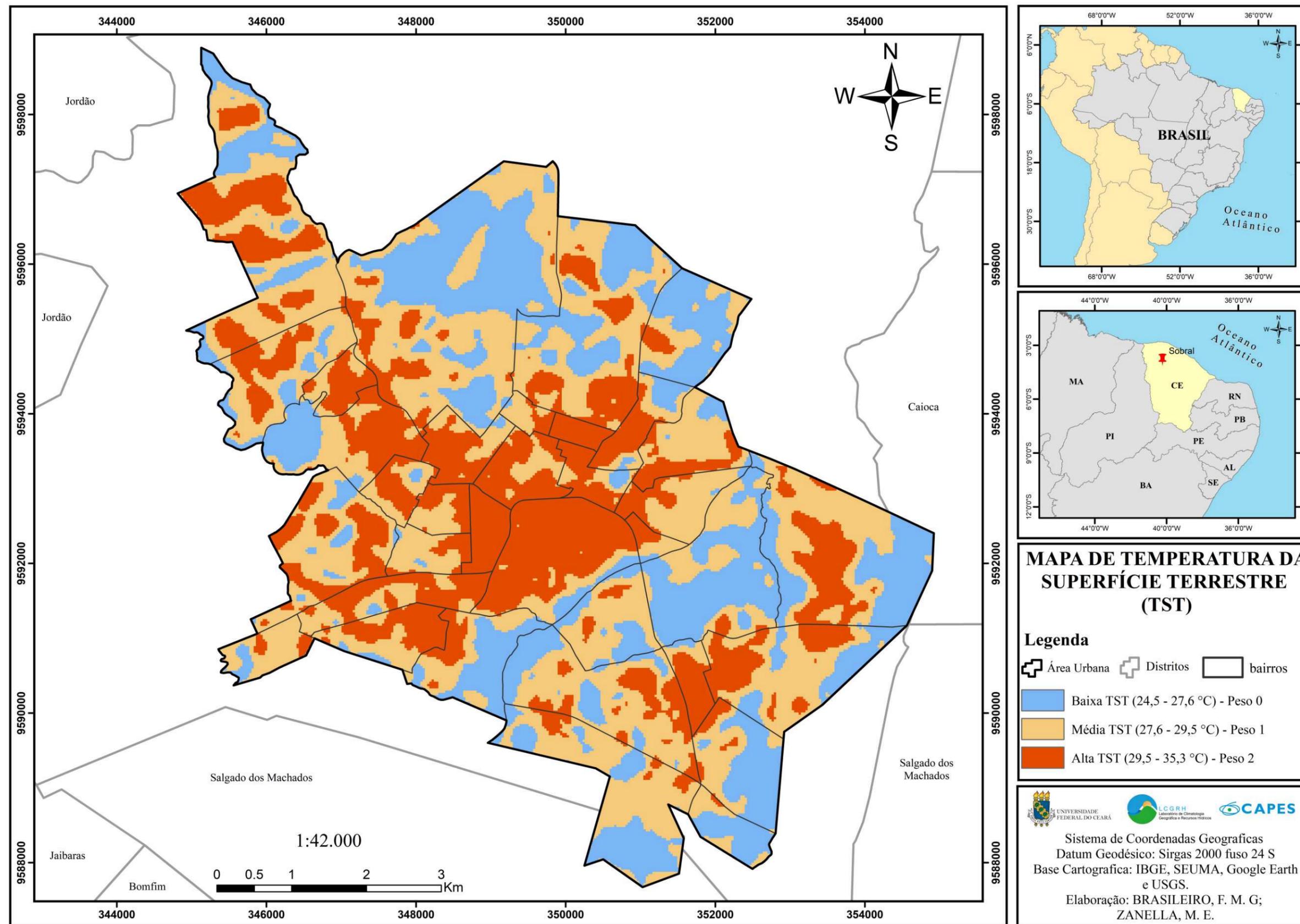
Em climatologia geográfica, uma vertente de pesquisadores tem utilizado com sucesso as cartas termiais para entender as características das ilhas de calor superficiais. Tais trabalhos demonstram uma correlação direta entre os dados termiais de superfície e os dados de temperatura do ar, visto que esta pode se alterar a partir da maior disposição de calor absorvido pelo ambiente urbano. Nesse sentido, as cartas termiais apresentam uma resposta direta da interação entre a radiação terrestre e as formas e estruturas dispostas na paisagem urbana, a partir da capacidade de retenção ou reemissão da radiação solar. Como nos confirma Arantes *et al.* (2013, p. 834) “a TST é de suma importância para o entendimento das interações entre a superfície e a atmosfera e para a modelagem da temperatura do ar nas camadas inferiores da atmosfera urbana”.

De acordo com Sousa e Ferreira Júnior (2012) a cidade é composta de uma heterogeneidade de paisagens urbanas e estas resultam em comportamentos termiais distintos, haja vista que “cada espaço da cidade possui particularidades quanto aos tipos e intensidades de cobertura e uso da terra, o que reflete nas condições ambientais e na relação de balanço e troca de energia entre a superfície e a atmosfera” (Sousa; Ferreira Júnior, 2012, p.77). Tais aspectos são captados pelas cartas termiais por meio do uso de técnicas de sensoriamento remoto.

Desse modo, durante a definição das variáveis para compor o UCMaP de Sobral, percebeu-se a importância de adicionar a camada de mapa termal, haja vista que ela representa a resposta direta da atmosfera perante a carga construída do ambiente urbano, sendo, portanto, um elemento que ajudará a entender melhor o comportamento da atmosfera e o ambiente construído na geração de ilhas de calor, ou mesmo, para entender a disposição da carga térmica na cidade.

As cartas termiais foram usadas segundo seus potenciais para aumento da carga térmica, logo as áreas com TST mais elevadas foram classificadas com maior capacidade de aquecimento da atmosfera urbana e as de menor TST com menor capacidade, sendo classificadas, portanto, em baixa, média e alta TST (Figura 40). A classe de baixa TST se referia aos valores entre 24,5°C e 27,6°C, tais intervalos estavam associados as áreas de corpos hídricos, vegetadas e com baixa densidade de ocupação. Como esses valores não contribuíam para o aumento da carga térmica, receberam peso 0 dentro da classificação, sendo visualizadas em 15,6 quilômetros da área da cidade, denotando um percentual de ocupação de 28,31% (Gráfico 7).

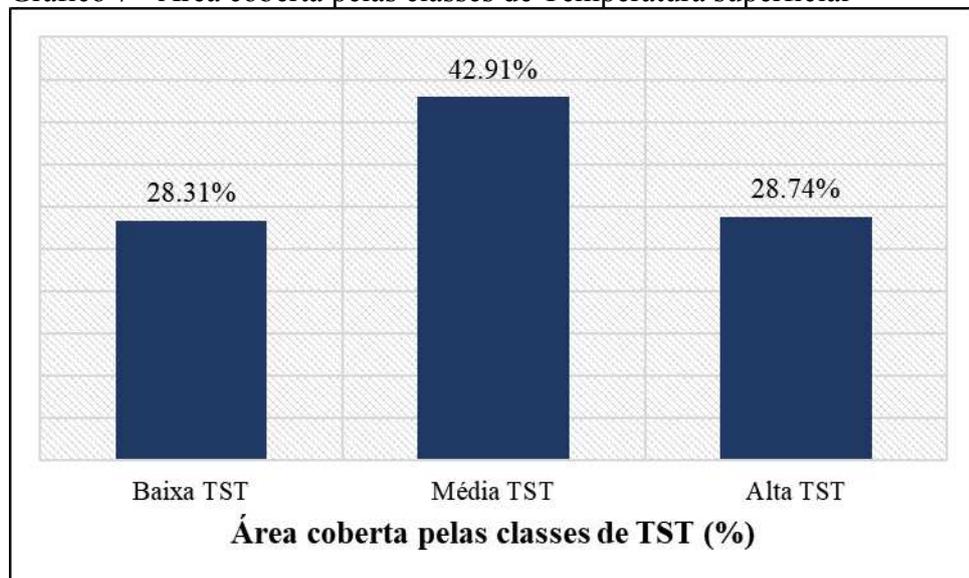
Figura 40 – Mapa de Temperatura da superfície da cidade de Sobral – CE



Fonte: Elaborado pela autora.

A classe de média TST abarcou os valores entre 27,6°C e 29,5°C, tal intervalo foi o mais representativo dentre as classes de temperaturas superficiais encontradas em Sobral, ocupando uma área total de 23,64 quilômetros, o que representa um percentual de área coberta de 42,91%. Tais zonas de temperaturas estão situadas nos arredores de regiões muito adensadas, ou seja, estão associadas, sobretudo, às áreas de expansão da cidade ou regiões que apresentam condições microclimáticas que permitem valores intermediários de TST. Essa classe recebeu ponderação 1, visto que contribui para o aumento da carga térmica da cidade.

Gráfico 7 - Área coberta pelas classes de Temperatura superficial



Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, a classe de maior peso foi definida entre o intervalo de 29,5°C a 35,3°C, estando associadas às regiões densamente ocupadas, sobretudo a área central da cidade e os núcleos suburbanos. Tais feições foram visualizadas em 15,83 quilômetros da cidade, o que representa 28,74% de área coberta. Tal classe mesmo apresentando uma baixa representatividade espacial, demonstra que as áreas de maior modificação da paisagem são as áreas de maior temperatura superficial, corroborando com os pressupostos definidos pela literatura.

### 5.1.5 Análise do mapa de Espaços Verdes

A cidade apresenta uma heterogeneidade de usos e ocupação, tais fatos acarretaram modificações profundas nas paisagens desse ambiente. Nota-se que um dos principais impactos da expansão da malha urbana consistiu na retirada da cobertura vegetal

em detrimento da impermeabilização do solo por pavimentos e estruturas de diferentes materiais (Duarte, 2015).

Ao observar a relação das cidades com a presença do verde percebe-se que muitas vezes esta relação tem apenas o propósito de buscar embelezamento para as ruas da cidade. Os parques ecológicos são preservados, em grande parte, a partir da luta de cientistas e ambientalistas que reconhecem a importância da vegetação nos espaços intraurbanos, pois se dependesse somente dos outros agentes produtores do espaço, esses ambientes seriam ainda mais raros na paisagem da cidade. Sabe-se que a presença de vegetação no urbano é muito importante visto que esta pode contribuir com a diminuição da carga térmica da urbe.

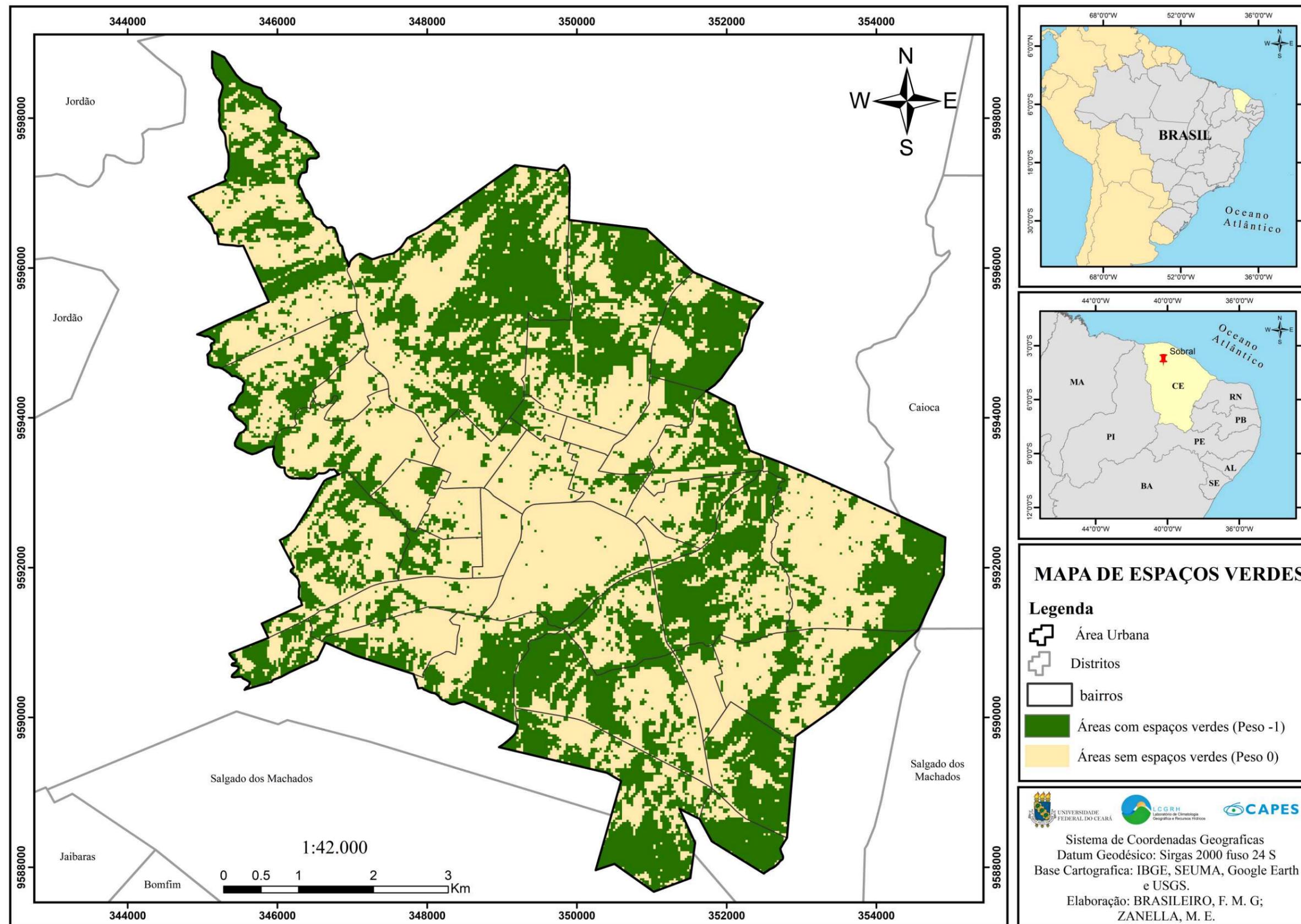
De acordo com Gartland (2010) a presença de vegetação proporciona o arrefecimento do ambiente urbano de duas formas. A primeira delas refere-se à capacidade de converter a energia solar em água evaporada ao invés de calor, por meio da evapotranspiração. Tal fato permite que as temperaturas da vegetação e do ar permaneçam mais baixas. O segundo ponto consiste na geração de sombreamento para as superfícies dispostas na paisagem urbana, este fato favorece a proteção contra o calor do sol e mantém as superfícies mais frescas, reduzindo o calor armazenado nesses ambientes.

A presença de vegetação permite a formação de microclimas associados a áreas de baixa temperatura. Conforme Bezerra (2013, p.16) “o aumento da vegetação em áreas urbanas pode resultar em redução de até 2 °C na temperatura do ar”, sendo que sob condições meteorológicas favoráveis e com a interação da evaporação, a temperatura do ar pode apresentar uma redução de até 4 °C nessas áreas.

As cidades tropicais semiáridas se destacam como ambientes que necessitam da preservação da vegetação ou da criação de técnicas que promovam a inserção do verde nesses ambientes, visto que são áreas naturalmente propícias a maior condição de calor o ano todo, devido aos altos índices de insolação (Nigro; Carvalho, 2014).

Nesse contexto, sabendo da importância da vegetação para os ambientes urbanos, sobretudo aqueles associados a um clima semiárido, definiu-se para Sobral as áreas que continham vegetação e as que apresentavam solo exposto ou construções, a partir da aplicação de índices espectrais (Figura 41). Nota-se para a cidade a presença considerável de espaços verdes, principalmente nas áreas menos adensadas e com espaços vazios. As margens do Rio Acaraú, sobretudo a margem direita, consiste em um importante cinturão verde dentro da cidade. Os extremos das porções norte, leste, sudeste e sul também se destacam com a existência de uma cobertura vegetal considerável, associada sobretudo a baixa densidade ou inexistência de ocupação urbana.

Figura 41 – Mapa de Espaços Verdes da cidade de Sobral

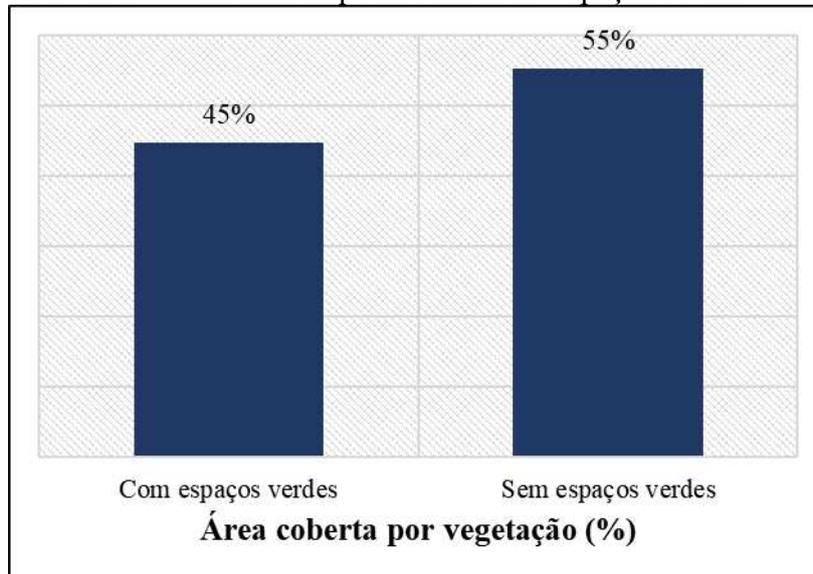


Fonte: Elaborado pela autora.

Nas porções sudoeste, oeste e parte do noroeste observa-se uma menor cobertura de vegetação, haja vista que são áreas com um processo de ocupação urbana mais consolidado ou consistem em áreas de expansão da cidade. A parte central da cidade e alguns bairros circunvizinhos também apresentam baixa densidade de cobertura vegetal, com pequenos pontos isolados associados a ocorrência de praças e parques de pequenas dimensões ou consistem em árvores isoladas em quintais ou ruas.

Nesse contexto, observa-se que 45% do território da cidade apresentam algum tipo de cobertura vegetal, denotando uma área coberta de 24,61 km<sup>2</sup>. Entretanto, nota-se que as áreas de solo exposto ou com algum nível de impermeabilização somam um percentual de cobertura igual a 55%, o que representa uma área de 30,44 km<sup>2</sup> (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Área coberta pelas classes de Espaços verdes



Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.1.6 Análise do mapa de Cobertura do Solo

O mapa de cobertura do solo trata da capacidade de porosidade e da rugosidade do ambiente urbano perante a maior ou menor permeabilidade dos ventos no recinto da cidade. Segundo Ribeiro (2013, p. 74) “o potencial de ventilação de uma área é inversamente proporcional à cobertura do solo, ou seja, uma região com um alto índice de terrenos ocupados por edificações poderá ter baixo potencial de ventilação”.

Nesse sentido, observa-se que as estruturas dispostas na paisagem, seja por seu gradiente em altura ou pela disposição espacial, obstruem a passagem do vento acarretando na diminuição de sua velocidade média (Ribeiro, 2013). Para as cidades situadas em regiões de

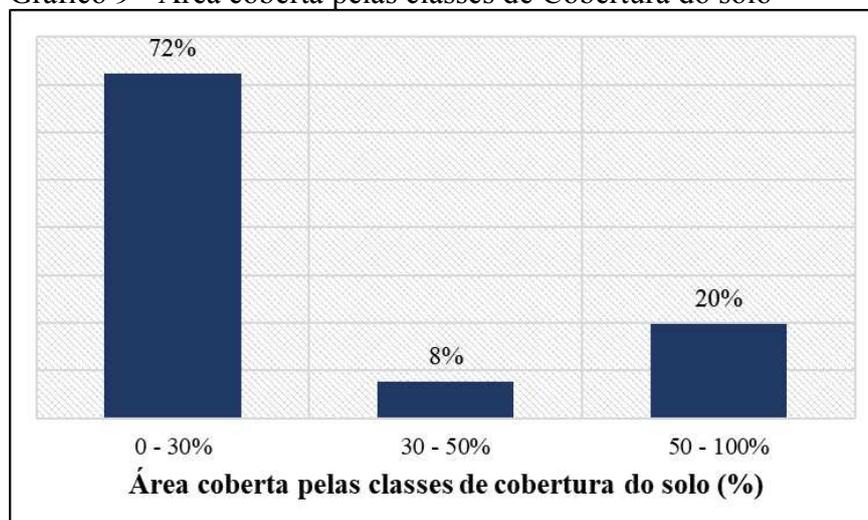
clima semiárido, a dinâmica urbana da ventilação assume papel relevante no controle das condições térmicas locais, visto que esta pode contribuir com o arrefecimento do ambiente, favorecendo maior conforto térmico e a diminuição da magnitude das ilhas de calor (Oliveira, 2020).

Desse modo, verifica-se que as áreas que apresentam maiores índices de rugosidades e menor capacidade de porosidade são áreas propícias ao menor potencial de ventilação. Por outro lado, as áreas com menor densidade de ocupações são as que apresentam maior permeabilidade aos ventos. Para Sobral, após o cálculo de cobertura das feições dispostas na paisagem da cidade, considerando a área ocupada, sua projeção e permeabilidade aos ventos, determinou-se três classes de potencialidade ao escoamento da ventilação (Figura 42).

A primeira classe refere-se ao intervalo de 0 a 30% de cobertura, estas feições ocupam cerca de 39.86 quilômetros da área total da cidade, o que representa 72% do percentual de área coberta (Gráfico 9). Tal classe consiste nas áreas de alto potencial de ventilação, pois são regiões de muito baixa densidade de ocupação, associada, sobretudo, a ocorrência de espaços verdes e abertos. Tal característica é de suma importância visto que grande parte da cidade não sofre os efeitos negativos da rugosidade. Isto se deve, também, ao fato da malha urbana não está consolidada, tal qual observamos em grandes cidades.

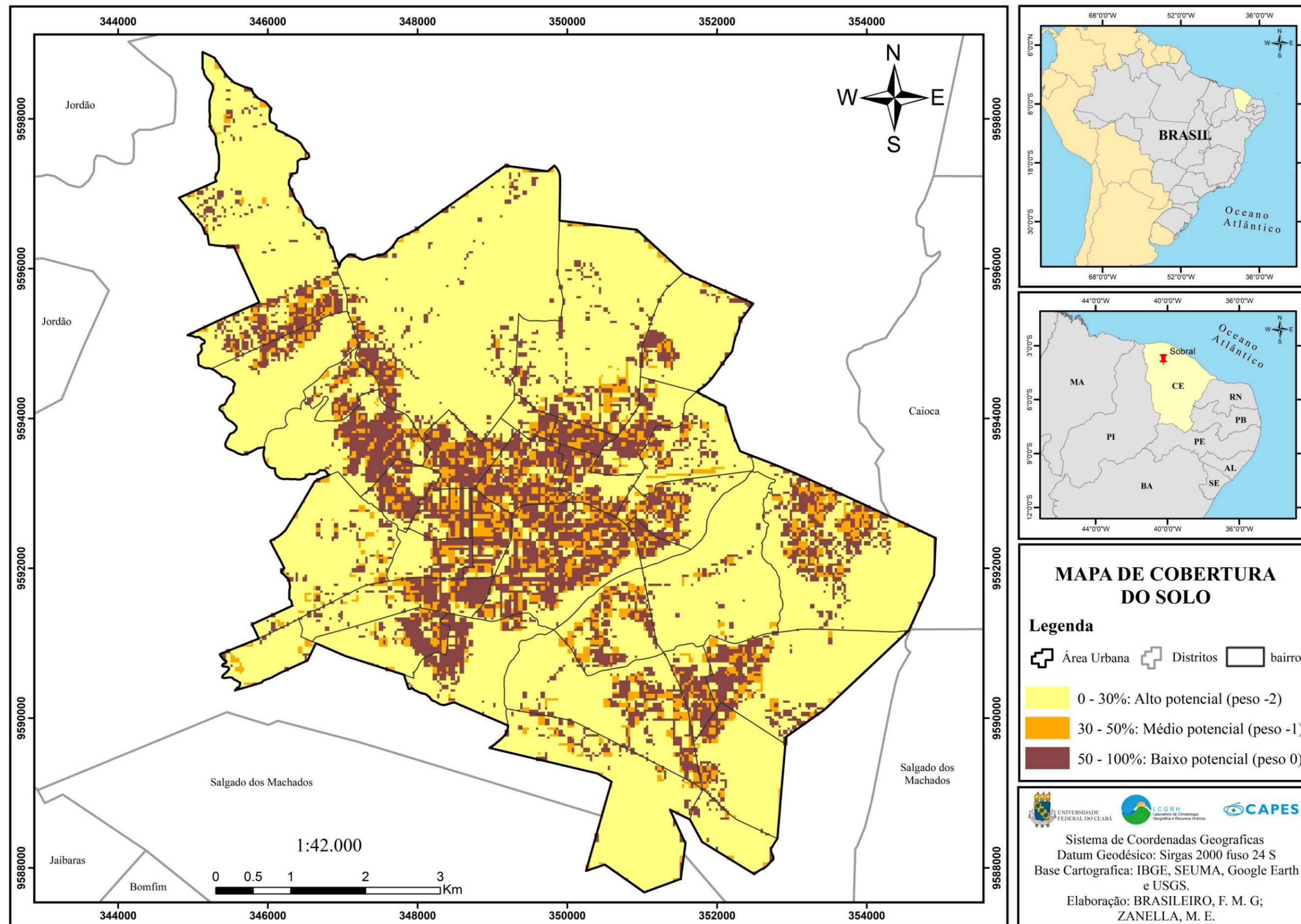
A classe de médio potencial de ventilação, com valores de 30 a 50%, consiste em áreas intermediárias quanto a densidade construtiva, estão dispostas em vários pontos da cidade, ocupando uma área de 4.24 quilômetros e representando 8% da área total. Esta classe apresenta a menor representatividade espacial no ambiente urbano.

Gráfico 9 - Área coberta pelas classes de Cobertura do solo



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 42 – Mapa de cobertura do solo da cidade de Sobral



Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, a classe de 50 a 100%, consistiu nas áreas com maior densidade de cobertura. Estas apresentaram o menor potencial de ventilação e, por esse motivo, receberam peso nulo na classificação. Ao analisar a espacialização dessas áreas nota-se que as maiores coberturas estão alocadas no centro da cidade e nos bairros circundantes, com destaque para os bairros na margem esquerda do Rio Acaraú. Na margem direita, destaca-se o bairro Sinhá Sabóia e a porção oeste do bairro Cohab II. Em relação a área ocupada por essas feições nota-se que estas estão presentes em 10,95 quilômetros, o que denota um percentual de área coberta de 20%.

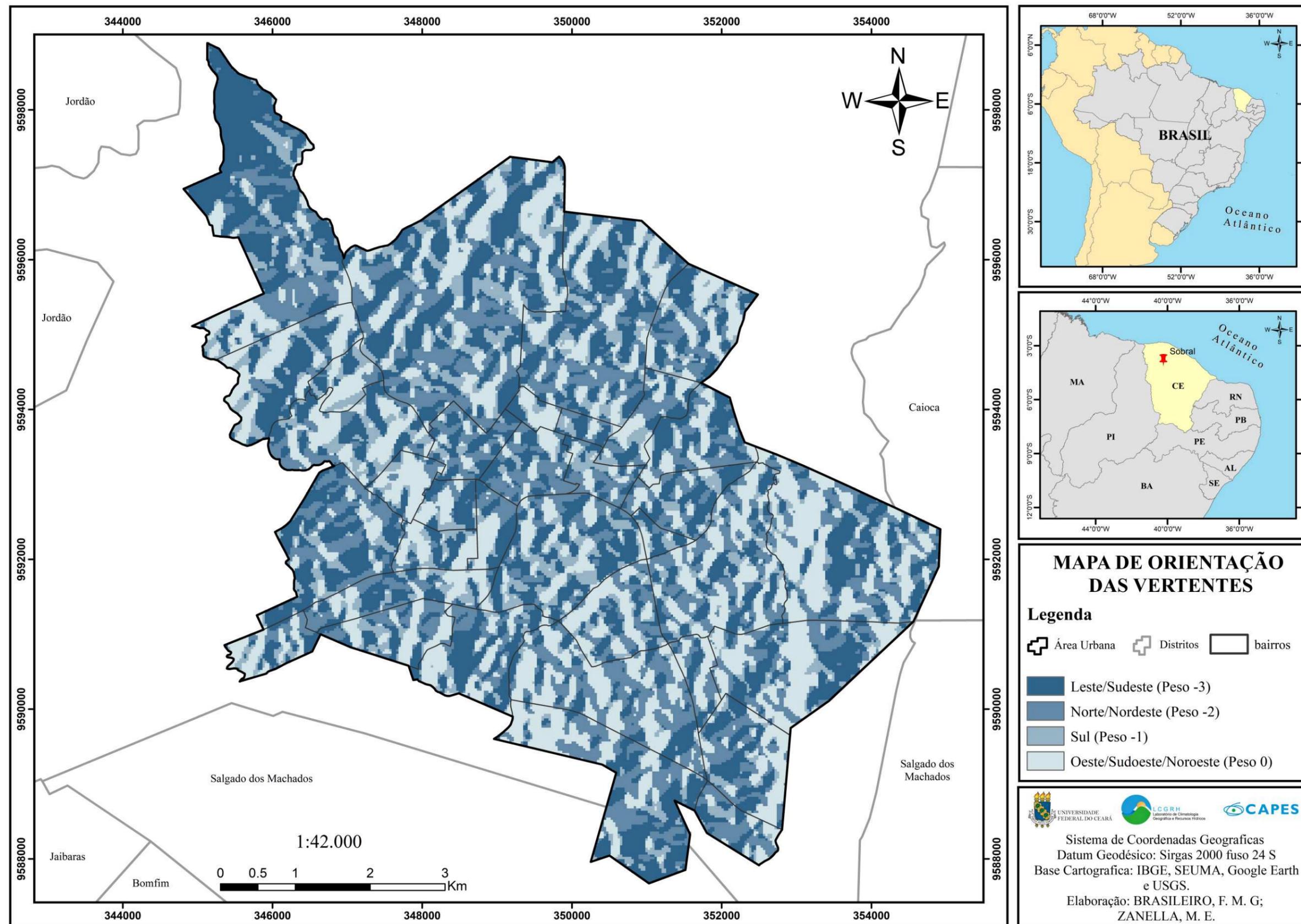
### ***5.1.7 Análise do mapa de Orientação das Vertentes***

A orientação das vertentes é um elemento muito relevante quando se analisa as condições do sítio e seus efeitos no clima. Um dos aspectos da orientação das vertentes defendido pela literatura trata da determinação do grau de insolação em decorrência do deslocamento do sol ao longo do dia (Oliveira, 1984; Lima Júnior, 2018). Para o hemisfério Sul as vertentes ao norte apresentam maior aquecimento, visto que o sol nesse hemisfério estará disposto no horizonte norte, deixando à sombra as vertentes ao Sul (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007; Aramani, 2009).

Lima Junior (2018) chama atenção para a pouca variabilidade em relação à distribuição da radiação solar nas baixas latitudes. Nesse mesmo caminho, Luciano e Valeriano (2016) evidenciaram em seus estudos que as variações da radiação a partir das diferentes orientações de vertentes na região equatorial foram homogêneas entre o período de inverno e verão, contudo verificou-se um “contraste entre vertentes voltadas para Norte e para Sul, cujo sentido se inverte entre o semestre primaveril e o semestre outonal, devido à variação da posição do sol entre os semestres” (Luciano; Valeriano, 2016, p. 950).

Somada a esta característica, as orientações das vertentes influenciam também na entrada de ventos na cidade, ou seja, as vertentes associadas as entradas de vento regionais e locais, permitirão maior arrefecimento do ambiente urbano, contribuindo para os índices de conforto térmico ou, mesmo, para a mitigação das ilhas de calor (Lima Júnior, 2018). Nesse sentido, elaborou-se o mapa temático de orientação das vertentes para Sobral, considerando a perspectiva de variação da temperatura a partir do grau de exposição à radiação, mas utilizou-se, sobretudo, das características de ventilação e sua associação com as classes de orientação de vertentes (Figura 43).

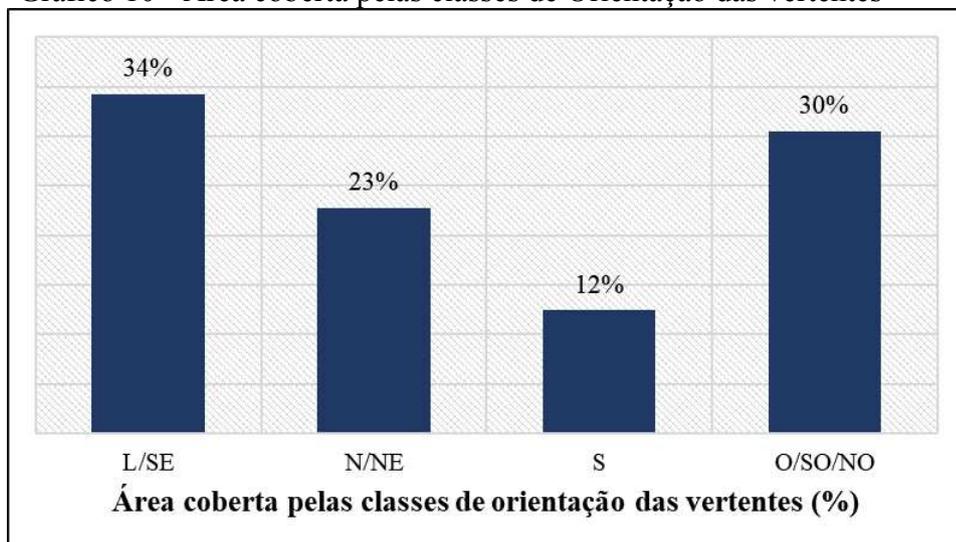
Figura 43 – Mapa de Orientação das vertentes da cidade de Sobral



Fonte: Elaborado pela autora.

As vertentes situadas ao leste e sudeste receberam maior peso dentro da classificação, visto que são as principais direções de entrada dos ventos alísios de sudeste, principal sistema de ventos regionais atuante no estado do Ceará, inclusive em Sobral. Tal classe é a que apresenta maior representatividade no contexto urbano, apresentando uma área de 18,84 quilômetros, o que denota um percentual de ocupação de 34%. As vertentes ao norte e nordeste contribuem para a entrada dos ventos alísios de nordeste, portanto, também foram ponderadas na classificação, verificando-se que estas estão presentes em 12,55 quilômetros da cidade, ou seja, apresenta uma área coberta de 23% (Gráfico 10).

Gráfico 10 - Área coberta pelas classes de Orientação das vertentes



Fonte: Elaborado pela autora.

A orientação de vertente Sul recebeu o menor peso na classificação visto que não apresenta uma dinâmica de ventos regionais consideráveis como as outras orientações, porém está relacionado a entrada de ventos em menor escala. Essa classe também apresentou a menor espacialização na paisagem urbana, estando presente em 6,84 quilômetros da cidade, o que representa 12% de percentual de área coberta.

As vertentes situadas ao oeste, sudoeste e noroeste receberam peso nulo na classificação, tendo em vista que as mesmas não apresentam dinâmicas consideráveis de entradas de ventos associados a elas. Estas classes representam 30% da área coberta da cidade, denotando uma área total de 16,8 quilômetros. Este dado é importante visto que uma parte considerável da cidade apresenta vertentes que não contribuem com o arrefecimento do ambiente urbano e mesmo que este dado seja menor quando comparado as demais classes que geram arrefecimento, nota-se que grande parte das áreas muito adensadas ou em processo de expansão apresentam essas vertentes em suas paisagens.

### 5.1.8 Análise do mapa de Vegetação

Como vimos no tópico 5.1.5, a presença de vegetação na cidade contribui para a mitigação da carga térmica presente no ambiente urbano, através da evapotranspiração e do sombreamento. Somado a estes fatores, observa-se que a vegetação pode interferir nas características da dinâmica da ventilação local, por meio das tipologias de vegetação e a interação destas com o deslocamento dos ventos que adentram a cidade (Lima Júnior, 2018). A avaliação desse aspecto para a composição do mapa de potencial dinâmico, permite a avaliação mais profunda de todos os elementos que geram alguma interferência na ventilação da cidade.

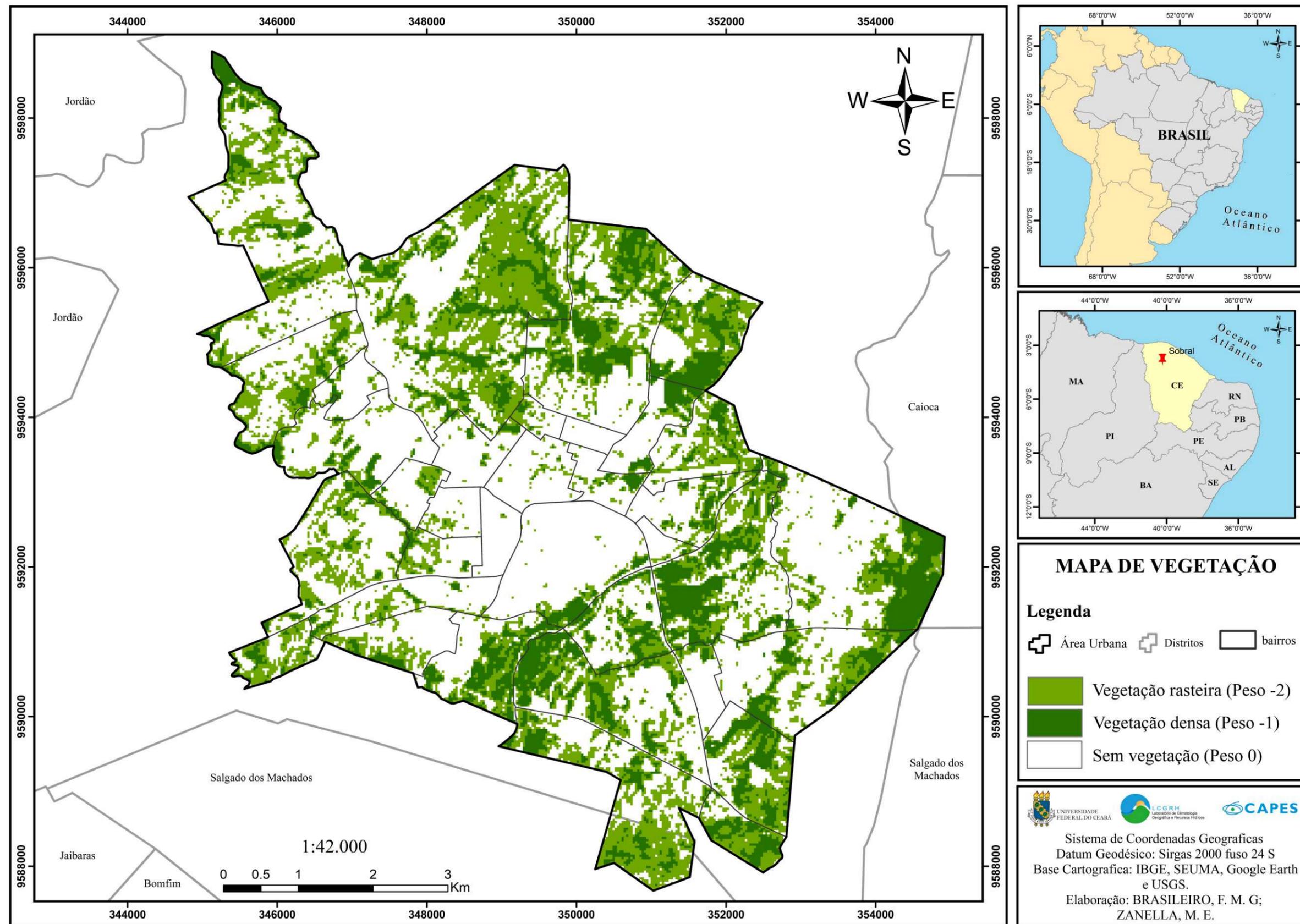
A literatura aponta que áreas com vegetação de porte mais baixo facilita o deslocamento dos ventos e áreas mais arborizadas geram um efeito de rugosidade, semelhante ao visualizado em áreas com edificações, barrando a ventilação natural. Para Zanlorenzi e Silva Filho (2018, p.76) as árvores consistem em barreiras naturais e sua efetividade “depende de sua posição em relação ao fluxo do vento, da porosidade da barreira, da altura das árvores e da distância do ponto a proteger”.

Para Ataíde *et al.* (2015) a direção e a velocidade dos ventos de um dado local são modificadas ao longo de sua rota, seja por condições atmosféricas regionais e locais, pelo movimento de rotação e, também, pelo atrito com as estruturas e objetos dispostos na paisagem. Dentre estes, a massa vegetal afeta nas condições de ventilação, sobretudo na velocidade dos ventos. Nesse mesmo caminho, Rossetti, Pellegrino e Tavares (2010) afirmam que quando mais densa a vegetação maior a redução da velocidade dos ventos, criando zonas protegidas que podem chegar a 85% de redução da velocidade comparado a áreas com vegetação de baixo porte.

De bases desses pressupostos, o mapa de vegetação de Sobral consistiu na categorização da cobertura vegetal urbana em duas classes, vegetação arbórea densa e vegetação rasteira (Figura 44). Grosso modo, nota-se o predomínio da vegetação rasteira na paisagem urbana de Sobral, estando a vegetação arbórea situada em alguns redutos, como nas margens do rio Acaraú, nos limites com a Meruoca e com o distrito de Caioca, na porção norte da cidade e em alguns pontos de áreas adensadas associadas aos parques urbanos.

A classe de vegetação rasteira recebeu peso -2, a maior ponderação da classificação, visto que contribui para a maior velocidade dos ventos gerando maiores condições de arrefecimento para o ambiente urbano. Tal classe ocupa uma área de 15,28 quilômetros, o que representa 28% do percentual total coberto (Gráfico 11).

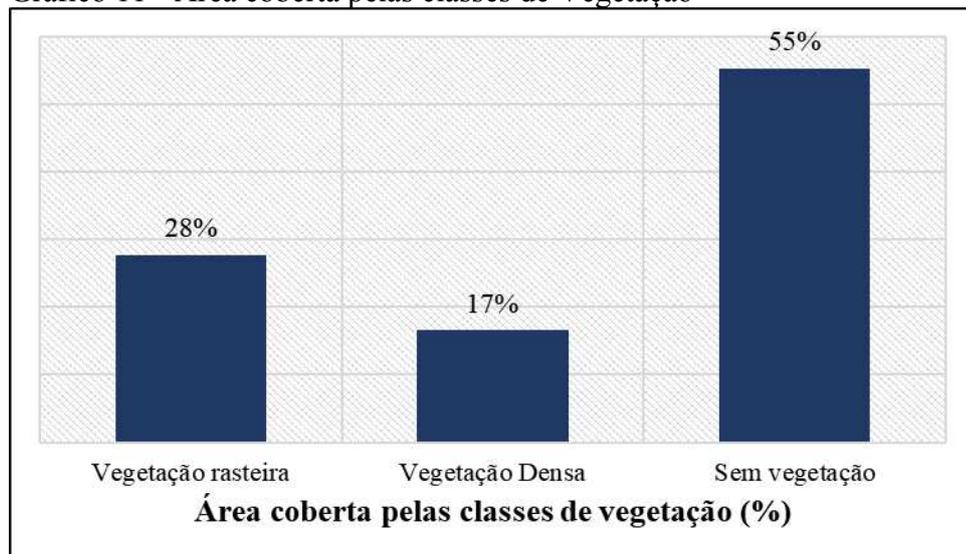
Figura 44 – Mapa de vegetação da cidade de Sobral



Fonte: Elaborado pela autora.

A classe de vegetação densa recebeu peso -1, visto que apresenta menor capacidade de arrefecimento do ambiente urbano, se considerarmos a dinâmica da ventilação onde a mesma age como uma barreira a velocidade dos ventos. Essa classe esteve presente em 9,10 quilômetros da área da cidade, denotando um percentual de área coberta equivalente a 17%. Destaque também para as áreas desprovidas de cobertura vegetal que apresentam uma área total de 30,44 quilômetros, equivalendo a 55% do percentual de área coberta.

Gráfico 11 - Área coberta pelas classes de Vegetação



Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.1.9 Análise do mapa de Declividade

A declividade consiste em um elemento da paisagem que interfere na dinâmica da ventilação. “Os ventos descendentes advindos das encostas, ventos frios em consequência do balanço negativo de radiação, exercem efeito positivo nas áreas localizadas na base dos declives” (Lima Júnior, 2018, p. 131).

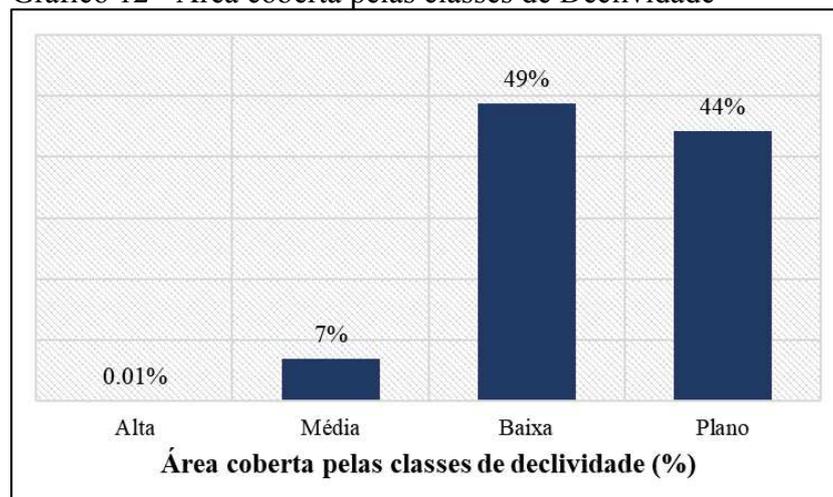
Nesse sentido, as áreas com declives importantes favorecem a dinâmica da ventilação local, a partir da canalização dos ventos e interferência na subida e descida do ar. Para Ribeiro (2013, p. 100) “o ar mais frio, geralmente, se desloca pelas encostas e exerce influência apenas no local onde circula e pode contribuir com a redução da temperatura do ar”. De acordo com Ferreira, Pimentel e Vianna (2019) a declividade interfere na velocidade dos ventos, onde quanto maior os níveis de declives mais elevado se apresenta o potencial dinâmico, sobretudo, quando esses estão associados a existência de vegetação.

A literatura aponta que regiões com declives a partir de 40% apresentam maiores benefícios ao clima urbano, visto que interferem na dinâmica dos ventos localmente a partir da atuação do relevo. Para Sobral, a construção do mapa de declividade utilizou o intervalo definido pela Embrapa que categoriza as declividades em quatro classes, a saber, plano, baixa declividade, média declividade e alta declividade. As classes foram ponderadas de acordo com a capacidade de contribuição para o aumento do potencial dinâmico, com exceção da classe plano, que recebeu peso nulo (Figura 45).

Ao observar a espacialização das classes de declividade nota-se que mais da metade da cidade é composta de declividades médias e baixas, sendo perceptível também a grande espacialização da classe de declividade plano. Essas características se devem ao relevo típico da depressão sertaneja, onde visualiza-se relevos predominantemente planos e levemente ondulados, somados ao relevo da planície fluvial que também se associa a feições mais rebaixadas. As porções de maior declive, sobretudo às do noroeste da cidade, estão associadas ao relevo do Maciço Residual da Serra da Meruoca.

Desse modo, as classes de maior peso na classificação foram as de média (8 - 45%) e alta declividade (>45%), por apresentarem dados mais relevantes para entender o potencial térmico da cidade. As duas classes apresentaram uma área de 3.79 km<sup>2</sup> e 0.01 km<sup>2</sup>, respectivamente, denotando uma porcentagem de área coberta igual a 7% e 0,01% (Gráfico 12).

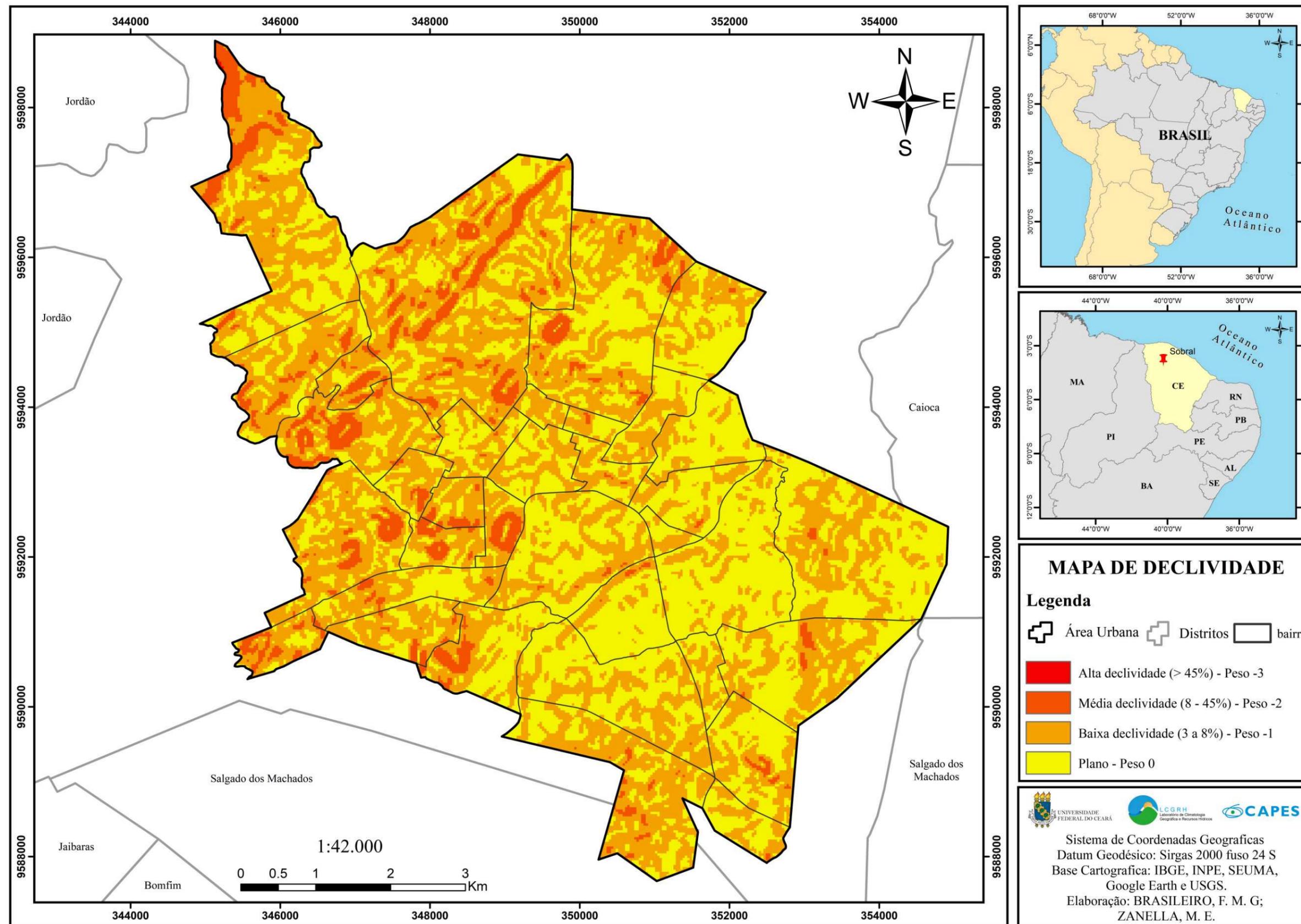
Gráfico 12 - Área coberta pelas classes de Declividade



Fonte: Elaborado pela autora.

As classes de baixa declividade e plano, como relatado, apresentaram maior representatividade, sendo visualizadas em 26,88 km<sup>2</sup> e em 24,37 km<sup>2</sup> da área total da cidade, isto representa, respectivamente, 49% e 44% de percentual de cobertura na paisagem urbana.

Figura 45 – Mapa de declividade da cidade de Sobral



Fonte: Elaborado pela autora.

### **5.1.10 Análise do mapa de Proximidades**

O ambiente urbanizado é caracterizado pelo predomínio do aspecto construtivo, então alguns elementos podem beneficiar a dinâmica da ventilação devido a sua proximidade. O primeiro deles são os corpos d'água, visto que espelhos d'água são capazes de gerar brisas que favorece a diminuição da temperatura localmente. Segundo Queirós e Rocha (2021), em trabalho realizado para uma cidade localizada no sertão central cearense, as áreas próximas a cursos d'água estão associadas ao aumento da umidade relativa do ar e a diminuição da temperatura do ar. Para Oliveira, Assis e Ferreira (2011) a existência de corpos d'água sugerem a formação de microclimas dentro da cidade, contribuindo para a formação de ilhas de frescor, sendo necessário avaliar o tipo de uso e ocupação do entorno desses ambientes.

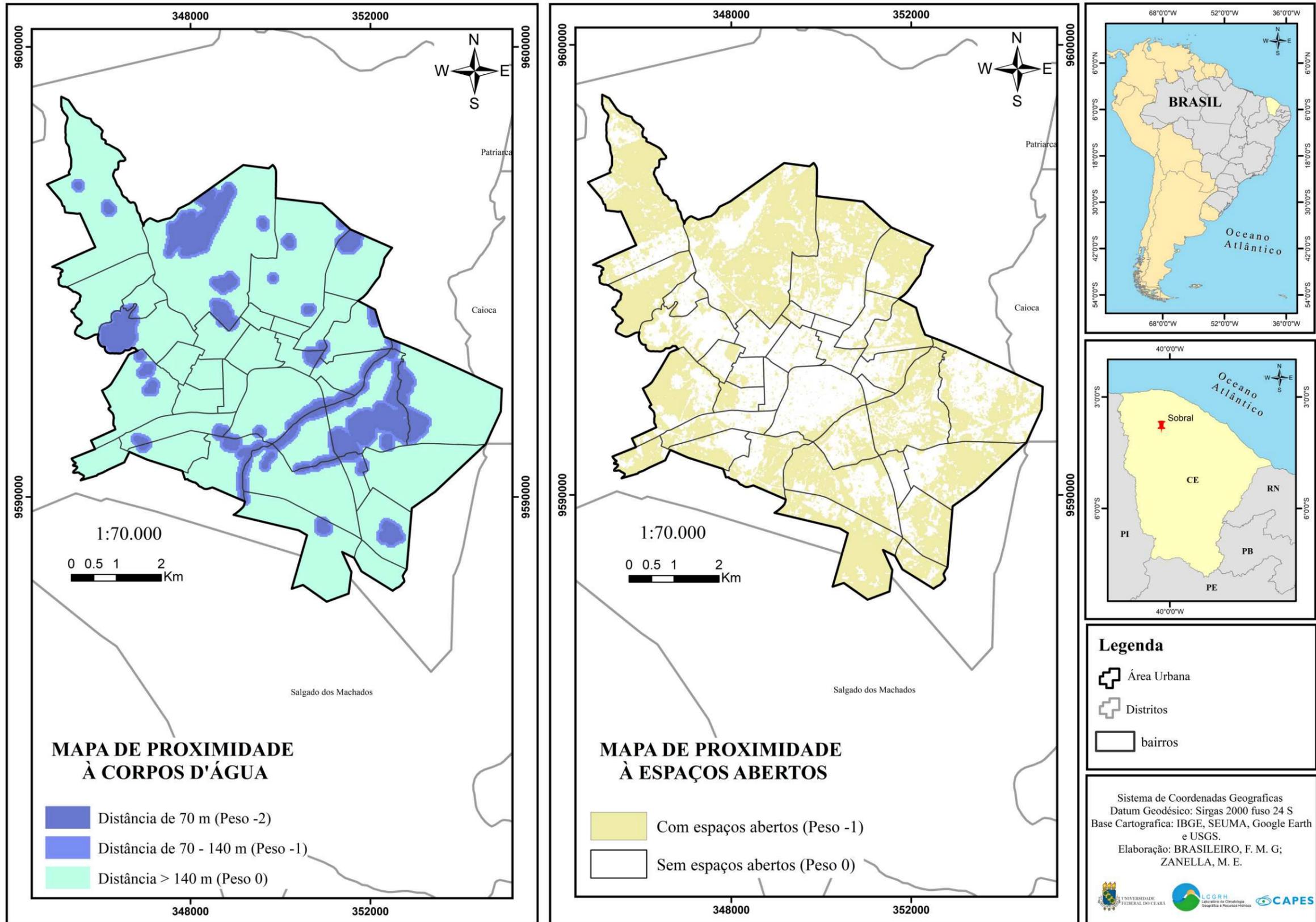
Ribeiro (2013) aponta que os impactos dos corpos d'água são mais fortes nas regiões distantes até 70 metros, entretanto, esses efeitos podem atingir até os 140 metros. Desse modo, para Sobral categorizamos a paisagem em distâncias de 0 a 70 metros, de 70 a 140 metros e distâncias maiores que 140 metros (Figura 46). As áreas mais próximas dos corpos hídricos receberam maior ponderação e as mais distantes receberam peso nulo.

A disponibilização de espaços abertos na paisagem urbana também contribui para o arrefecimento da cidade, sobretudo se estiverem associados a áreas verdes e corpos hídricos. Contudo, diferentemente dos demais elementos, a interferência dos espaços abertos é limitada às áreas circundantes, logo não consegue abarcar grandes porções da cidade, somente espaços imediatos (Figura 45). Para Hannes (2016) espaços abertos consistem nos espaços livres de um volume edificado e apresentam várias tipologias, “como ruas e calçadas, parques e praças, quintais residenciais, áreas livres de lazer em condomínios, recuos de construções, pátios internos, estacionamentos descobertos, terrenos baldios, áreas verdes e outros” (Hannes, 2016, p. 123).

Para o contexto de Sobral observou-se muitos espaços abertos, como já referido a cidade não apresenta uma malha urbana consolidada, coexistindo muitos espaços vazios, além desse elemento algumas áreas associadas a parques urbanos, áreas de preservação permanente, ocorrência de vegetação etc., se destacam na paisagem.

Após a análise individual desses elementos elaborou-se o mapa de proximidades, que consiste na soma das subcamadas proximidades à espaços abertos e proximidades à corpos d'água, com as devidas ponderações (Figura 47).

Figura 46 – Mapa das subcamadas corpos d'água e espaços abertos

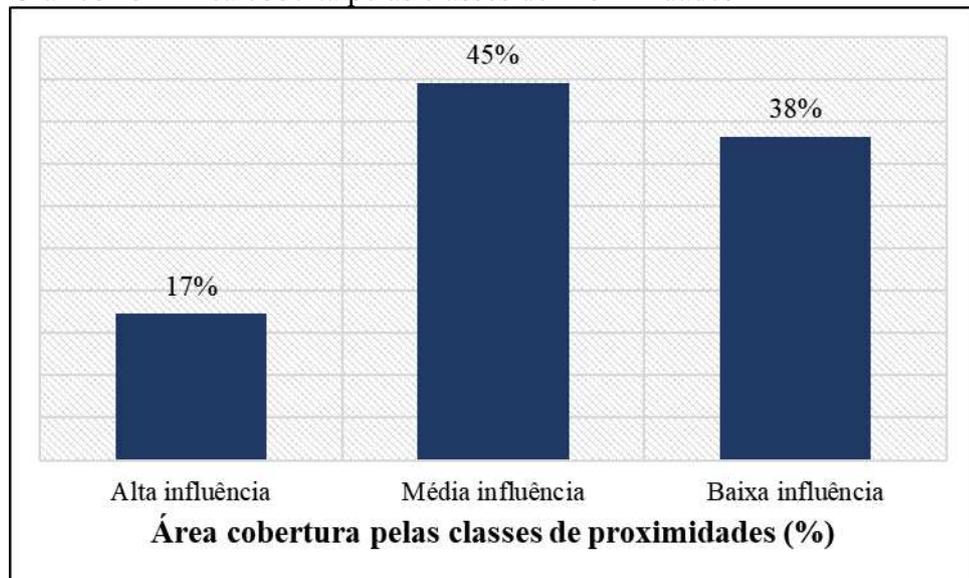


Fonte: Elaborado pela autora.

Ao analisar o mapa de proximidades, observa-se que o centro urbano mais adensado não recebe influências significativas dos dois elementos, corpos hídricos e espaços abertos, e apesar de termos alguns espelhos d'água na paisagem urbana da cidade estes abarcam poucas áreas isoladas ou vazios urbanos. O rio Acaraú talvez seja o corpo hídrico de maior influência para o ambiente urbano de Sobral, agindo como um corredor de ventos.

Para a cidade categorizamos as feições analisadas em três grupos, a saber, alta influência, média influência e baixa influência. As áreas de alta influência consistiam nas regiões mais próximas aos corpos d'água e com a presença de espaços abertos, logo apresentam condições de maior arrefecimento a partir dos benefícios gerados na ventilação, na umidade do ar e na temperatura do ar local. Estas foram visualizadas em 9,5 km<sup>2</sup> da cidade, o que denota um percentual de cobertura igual a 17%. Esta classe recebeu maior ponderação na análise multicritério (Gráfico 13).

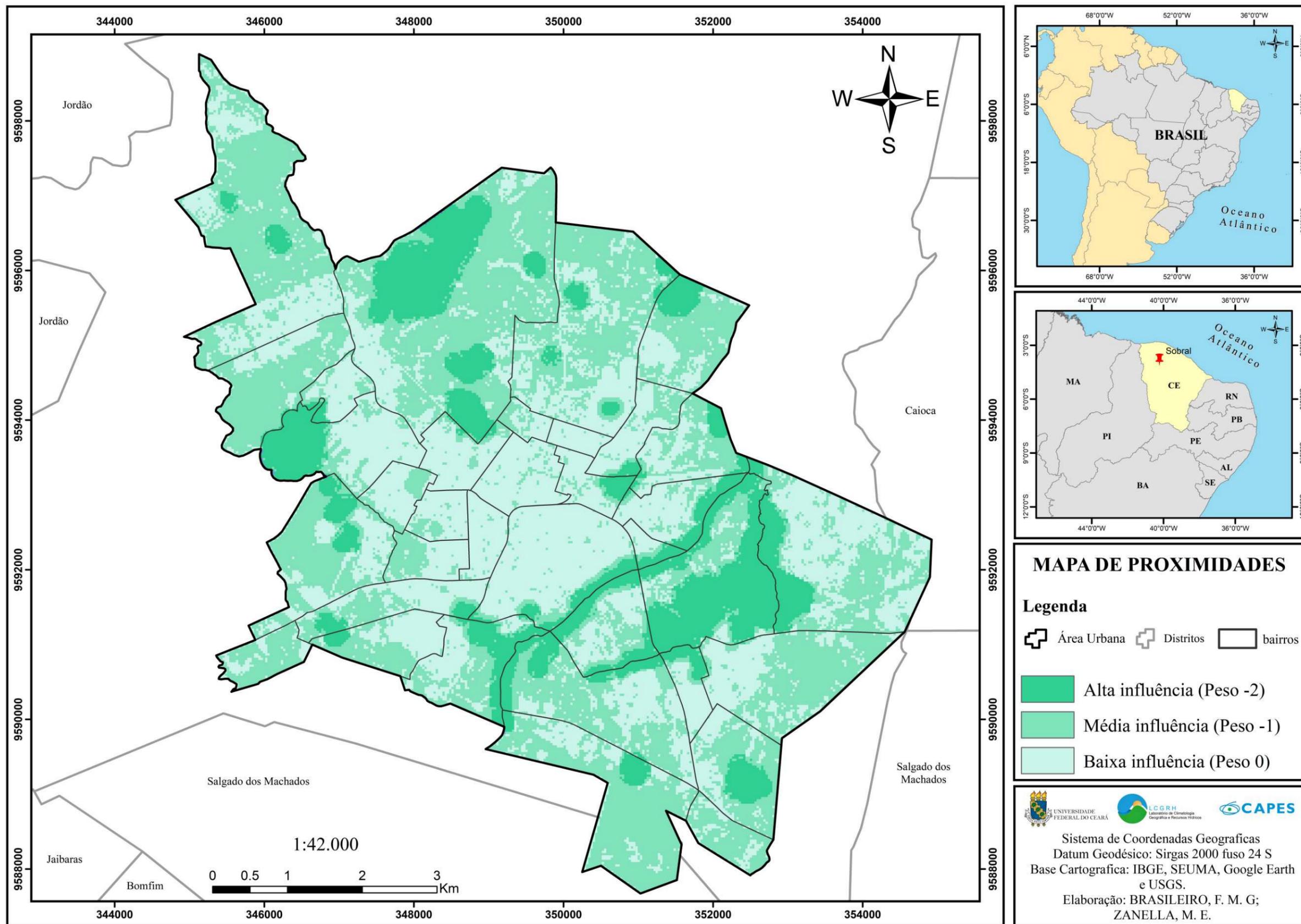
Gráfico 13 - Área coberta pelas classes de Proximidades



Fonte: Elaborado pela autora.

A classe mais representativa consistiu no intervalo de média influência que compreende as regiões detentoras de espaços abertos e distantes a 140 metros dos corpos d'água, nota-se que essa classe é mais presente na área central adensada em comparação a classe de alta influência, porém em pontos isolados. Tais feições apresentaram uma área de 24,57 km<sup>2</sup> e uma porcentagem de 45% de cobertura. As áreas de baixa influência obtiveram peso nulo na classificação, visto que não tem influência direta dos elementos da paisagem analisados. Essas ocupam uma área de 21,05 km<sup>2</sup> e um percentual de cobertura do solo igual a 38%, sendo localizadas, sobretudo, nas maiores densidades construtivas.

Figura 47 – Mapa de proximidades da cidade de Sobral



Fonte: Elaborado pela autora.

## 5.2 Mapa de Carga Térmica

O mapa de carga térmica, como evidenciado nas discussões anteriores, consiste em uma síntese que apresenta as características de diferentes elementos da paisagem e suas contribuições para o aumento e/ou diminuição da carga térmica urbana. As variáveis utilizadas para a produção desse mapa foram: altimetria, volume edificado, uso do solo relativo aos ganhos antropogênicos, temperatura de superfície terrestre e espaços verdes. As variáveis foram organizadas de modo a destacar o elemento que contribuía positivamente com o aumento da carga térmica, com exceção da camada espaços verdes, que foi ponderada negativamente, visto que age favorecendo a diminuição da temperatura do ar.

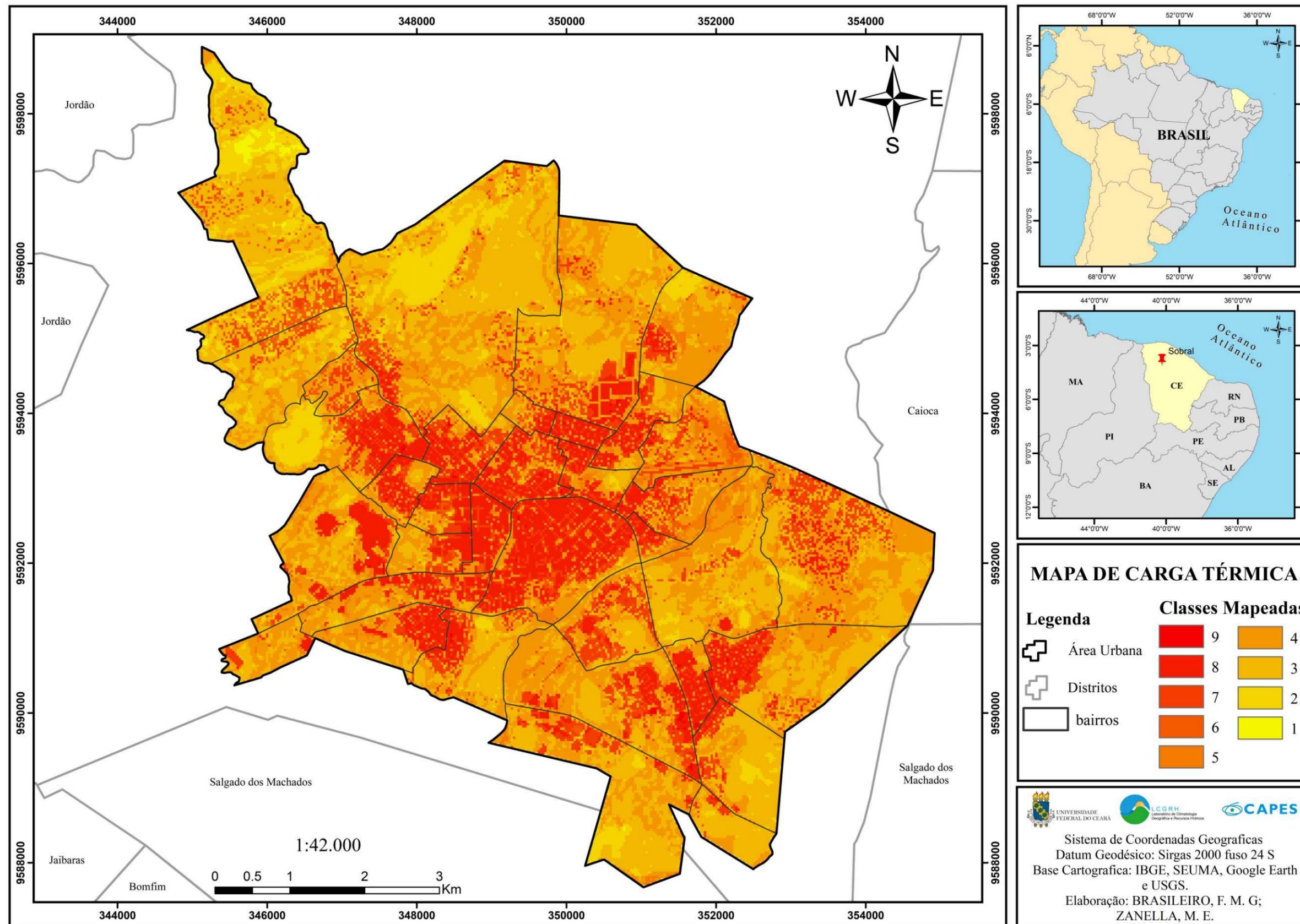
Com a geração do mapa de carga térmica, a cidade de Sobral foi dividida em nove classes que evidenciaram as variações térmicas do ambiente urbano em análise (Figura 48). As áreas compreendidas com os valores mais próximos de 1, representaram as áreas de menor carga térmica, por outro lado, as áreas com valores mais próximos de 9, consistiram nos ambientes com maior carga térmica da cidade, ou seja, os ambientes mais propensos ao armazenamento de calor.

Ao analisar a espacialização das classes mapeadas no mapa temático evidenciou-se que as maiores contribuições de aumento de temperatura se dão no contexto da área adensada do centro cidade e bairros adjacentes. Sem dúvidas, as áreas construídas se destacam como as maiores contribuintes para o aumento da carga térmica na cidade de Sobral. As áreas de menor potencial térmico estão justamente nas regiões menos adensadas e associadas a presença de corpos hídricos, espaços abertos e com cobertura de vegetação.

O gráfico 14 apresenta as porcentagens de ocupação de cada classe na paisagem urbana de Sobral. Nota-se que a classe 3, foi a mais presente na cidade, compreendendo uma área de 19,10 km<sup>2</sup>. Esta classe juntamente com as feições da classe 1 e 2 consistem em áreas que contribuem para o arrefecimento da cidade, visto sua baixa carga térmica. Grosso modo, são áreas menos adensadas, com proporções consideráveis de espaços abertos e verdes, associados a áreas com maiores altitudes. Algumas áreas de expansão estão inseridas nessas classes.

A classe 4, a segunda maior em representatividade espacial, ocupando uma área de 15,88 km<sup>2</sup> de extensão e um percentual de área coberta igual a 28,8%, apresentou um potencial térmico médio, pois estavam dispostas nas proximidades das áreas de maior carga térmica, associadas ao maior adensamento urbano. Nesse mesmo contexto se insere as classes 5 e 6, que apresentaram taxa de ocupação de 15,88 km<sup>2</sup> e 1,62 km<sup>2</sup>, respectivamente.

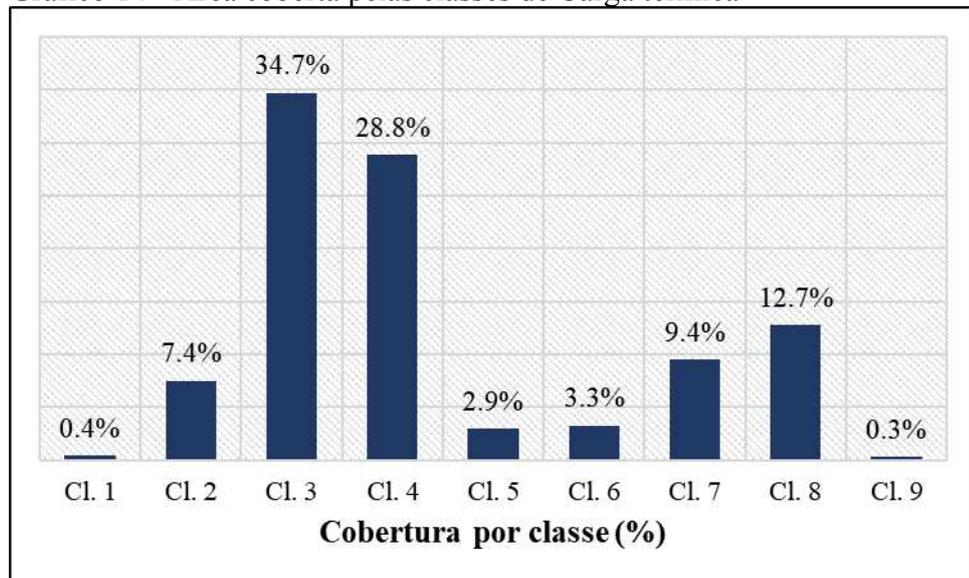
Figura 48 – Mapa de Carga Térmica da cidade de Sobral



Fonte: Elaborado pela autora.

As classes 7 a 9 foram as feições que apresentaram maior ganho térmico, portanto representam os elementos de maior potencial de aquecimento urbano. Nota-se que essas feições apresentaram baixa ocupação, correspondendo a uma área de 12,35 km<sup>2</sup>. Todavia, o predomínio de sua espacialização em algumas zonas da cidade é um fator de destaque que deve ser observado. Verifica-se que essas classes estão presentes nas zonas de elevado adensamento urbano, evidenciando a maior disposição de calor nesses ambientes e a elevada contribuição para a formação de fenômenos climáticos, tal qual as ilhas de calor.

Gráfico 14 - Área coberta pelas classes de Carga térmica



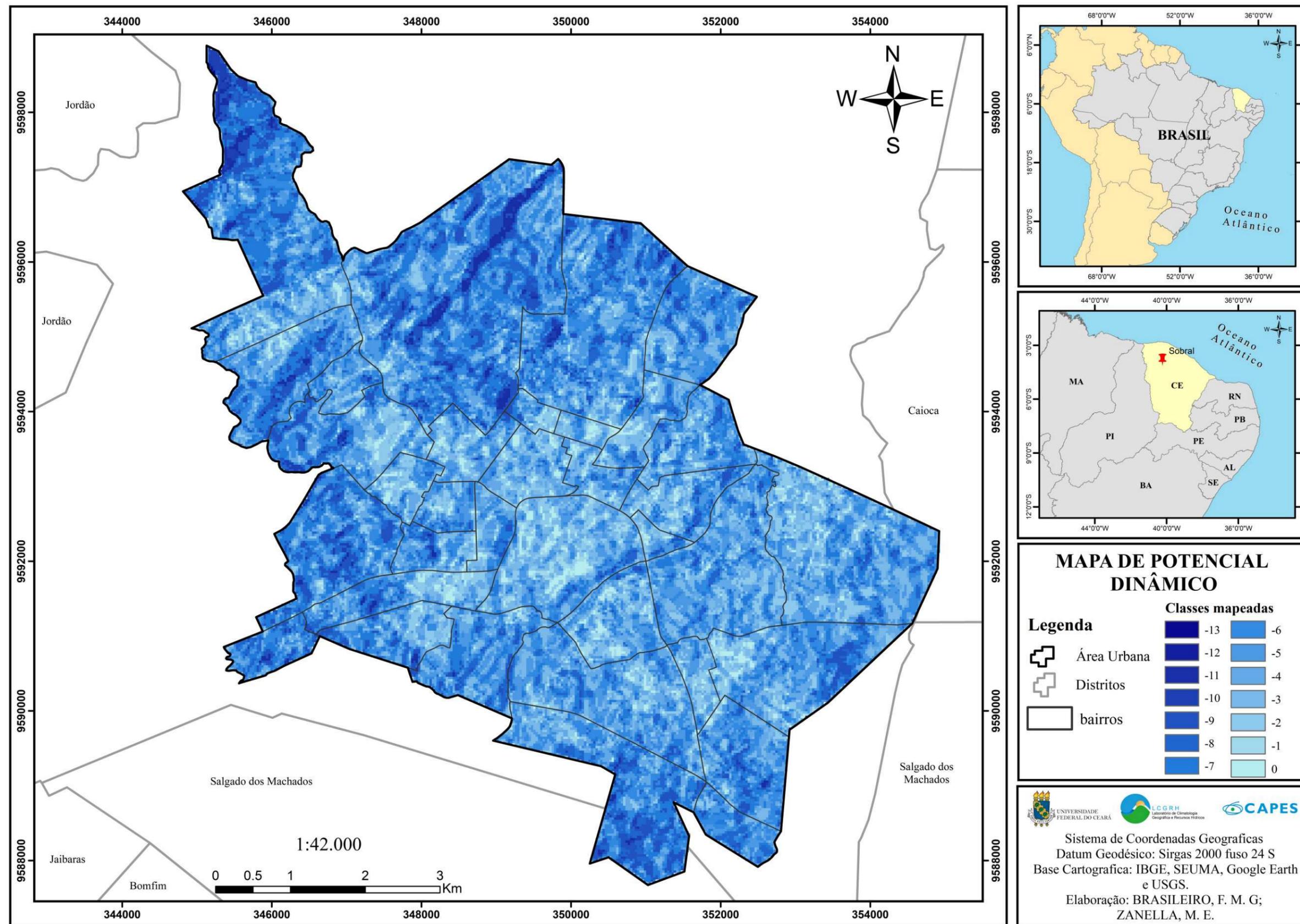
Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.3 Mapa de Potencial dinâmico

O mapa de potencial dinâmico consiste no cruzamento de informações da paisagem urbana que contribuem de forma positiva ou negativa com a dinâmica da ventilação na cidade (Figura 49). As camadas usadas para elaboração desse mapa foram: cobertura do solo, orientação das vertentes, vegetação, declividade e proximidade à espaços abertos e corpos d'água. Tais elementos foram ponderados de acordo com sua capacidade de contribuição positiva na ventilação intraurbana.

Sabe-se que a existência de condições propícias à ventilação favorece a mitigação de fenômenos associados ao âmbito térmico das cidades. A literatura aponta que os ambientes que possuem entradas consideráveis de ventos, a partir da disposição regional e local, tem apresentado um melhor conforto térmico e a diminuição da intensidade das ilhas de calor, visto que esses contribuem para o arrefecimento urbano.

Figura 49 – Mapa de Potencial Dinâmico da cidade de Sobral



Fonte: Elaborado pela autora.

O mapa de potencial dinâmico de Sobral evidenciou que há uma relação inversamente proporcional se comparado ao mapa de carga térmica, onde as áreas com maior potencial dinâmico são áreas que apresentam baixa carga térmica e pouca densidade construtiva. As áreas com maiores declividades, com vertentes associadas a entrada de ventos e a proximidade a espaços abertos e corpos d'água se destacaram como as áreas de maior potencial de ventilação da cidade, logo apresentaram maiores condições de arrefecimento. Grande parte dessas áreas estão situadas na porção norte e noroeste da cidade, áreas que apresentam baixa densidade de ocupação. A porção da cidade referente ao rio Acaraú também apresenta condições positivas de potencial dinâmico, mas nota-se que este potencial não supera outras áreas da cidade, pois as condições de ventilação se apresentam canalizadas por áreas de baixo potencial dinâmico.

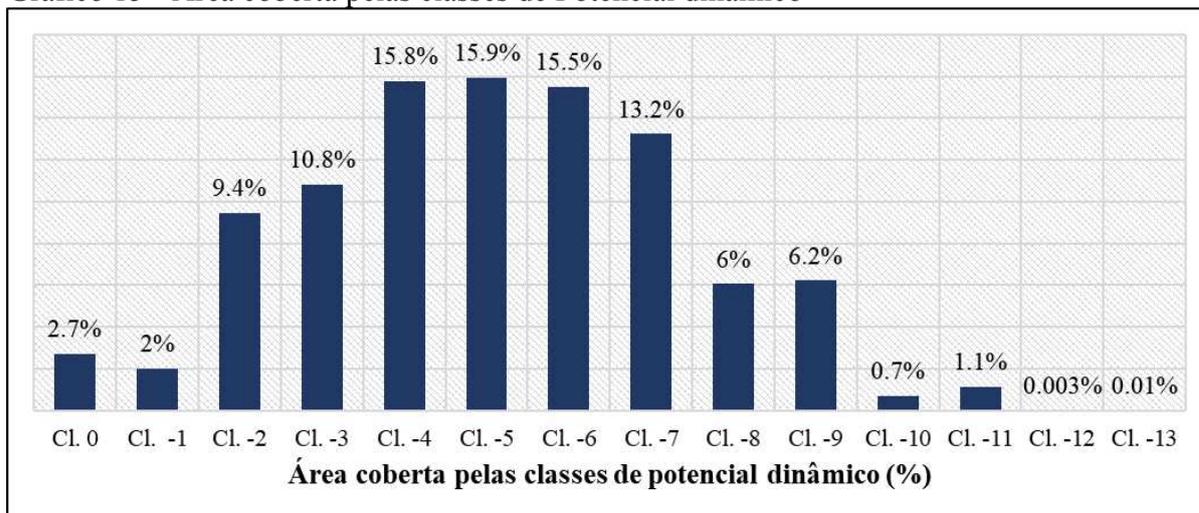
Os mapas de cobertura do solo e de vegetação a partir da compreensão da permeabilidade dos ventos perante as rugosidades da paisagem urbana, evidenciaram que a área construída e edificada promove o efeito de barreira à ventilação natural. Logo, as áreas que apresentaram o menor potencial dinâmico estão situadas nas porções da cidade onde visualiza-se uma grande densidade de construções e de edificações.

Essas feições podem ser visualizadas nas 13 classes geradas no mapa de potencial dinâmico. Onde, os valores mais próximos de -1 e 0 consistem nos que apresentam menor potencial de ventilação e as classes mais próximas de -13, apresentam maior potencial ao arrefecimento a partir dos ventos. Grosso modo, nota-se que as classes com maior potencial de ventilação predominam na paisagem de Sobral, onde as classes de -6 a -13, que representam alto potencial, somaram uma área de ocupação igual a 23,80 km<sup>2</sup>, o que denota uma porcentagem de 13,2% de área coberta. As classes entre -3 e -5, que apresentam um potencial intermediário de ventilação, estão presentes em uma área total de 23,41 km<sup>2</sup>, representando um percentual de 42,5% do total de área recoberta pelas classes de potencial dinâmico. Desse modo, nota-se que mais de 50% da área da cidade está recoberta por feições que favorecem a dinâmica de ventilação, logo podem contribuir para o arrefecimento da cidade (Gráfico 15).

Das classes mapeadas os intervalos entre -2 a 0 foram os que apresentaram menor potencial dinâmico. Estas feições podem ser visualizadas em 7,81 km<sup>2</sup> da área total da cidade, isto representa uma porcentagem de área coberta igual a 14,2%. Apesar de ser um intervalo baixo considerando a área total da cidade, destaca-se que Sobral, uma cidade semiárida de médio porte, apresenta uma malha urbana não consolidada com a presença de muitos espaços vazios e uma grande concentração populacional nas regiões centrais e circunvizinhanças, e

são justamente essas áreas mais adensadas que apresentam consideráveis baixas na dinâmica da ventilação natural. Então, mesmo que a cidade apresente de modo geral boas condições de arrefecimento, as áreas que são mais propensas a fenômenos climáticos como o desconforto térmico e as ilhas de calor são as áreas mais afetadas pelo aumento da carga térmica e pela redução do potencial dinâmico.

Gráfico 15 - Área coberta pelas classes de Potencial dinâmico



Fonte: Elaborado pela autora.

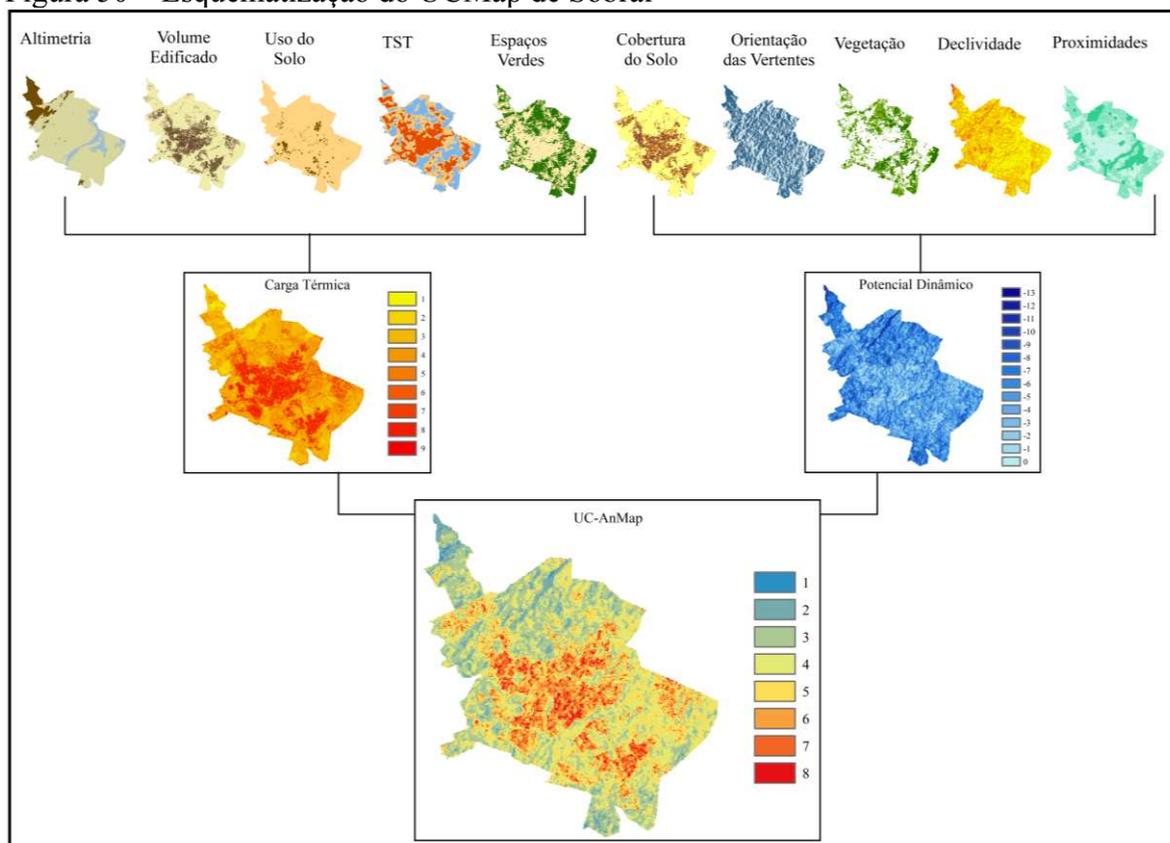
#### 5. 4 Mapa de Análises Climáticas

O Mapeamento Climático Urbano, a partir do UC-AnMap, constitui-se em uma ferramenta analítica que se utiliza de diferentes informações da paisagem a fim de determinar o balanço de energia do ambiente urbano (Ribeiro, 2013). Como discutido no capítulo referente a metodologia, foram produzidos mapas temáticos acerca dos aspectos do sítio, do clima e da urbanização, posteriormente esses foram categorizados de acordo com sua função no balanço de energia da cidade, para, por fim, gerar dois mapas sínteses que representam a carga térmica e o potencial dinâmico. Após estas etapas, essas duas camadas geradas são somadas a partir da análise multicritério, obtendo-se um mapa final de análises climáticas que será base para elaboração de um mapa de recomendações ao planejamento (Figura 50).

Com base no mapeamento identificou-se que a cidade de Sobral apresenta 8 classes climáticas, que correspondem a zonas com potencialidades ao armazenamento de calor e/ou ao arrefecimento urbano. O referencial bibliográfico que trata da produção de mapas climáticos urbanos aponta que essas classes podem ser nomeadas como climatopos, visto que são unidades de resposta climática homogênea. Os climatopos consistem em áreas

com certo grau de homogeneidade, quando consideramos os aspectos físicos, a morfologia urbana, a posição topográfica, as condições naturais de ventilação etc., gerando interações particulares com a atmosfera próxima a superfície (Melo; Ganho, 2013; Ferreira; Assis; Katzschner, 2017).

Figura 50 – Esquematisação do UCMMap de Sobral

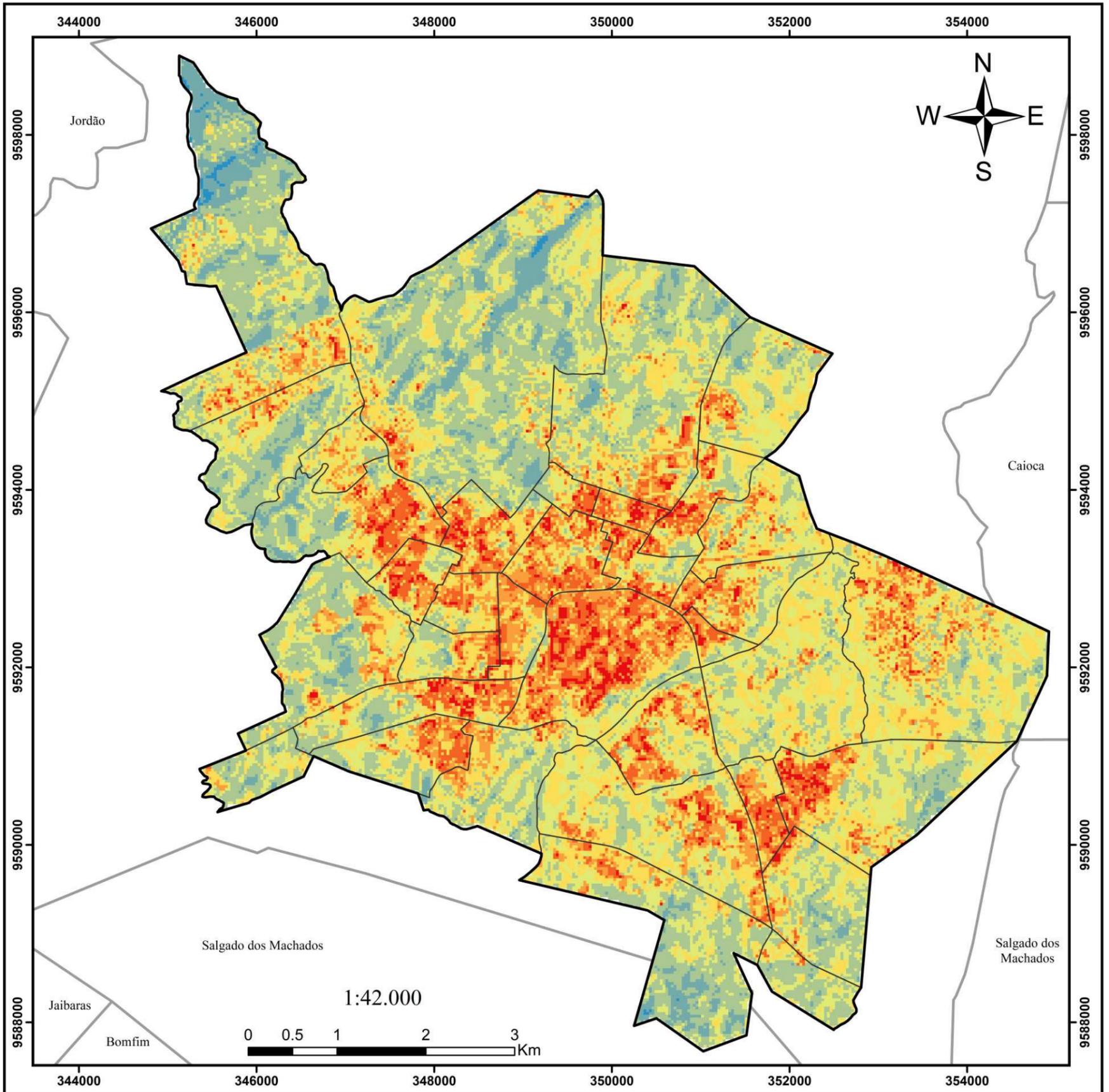


Fonte: Elaborado pela autora.

Desse modo, a paisagem sobralense é composta de 8 climatopos (Figura 51), que apresentam características singulares e diferentes efeitos no conforto térmico e na dinâmica da ventilação no recinto da cidade. Tais aspectos denotam também diferentes tratamentos na avaliação e na mitigação de possíveis efeitos negativos, associados a temperaturas do ar mais elevadas.

No quadro 3 é possível observar que os climatopos mais próximos de 1 consistem em áreas que apresentam baixas temperaturas e maior capacidade de arrefecimento da cidade. Considerando os aspectos urbanos é notável que tais classes são inerentes a áreas pouco ocupadas ou relacionadas a recursos naturais, como espelhos d'água ou vegetação, ou estão localizadas em áreas com declives e relevos que favorecem a dinâmica da ventilação.

Figura 51 – Mapa de Análises Climáticas (UC-AnMap) da cidade de Sobral



MAPA DE ANÁLISES CLIMÁTICAS DE SOBRAL (UC-AnMap)				
Classes	Aspecto climático	Impacto no conforto	Caracterização	Avaliação
1	Resfriamento do ar	Amenização moderada	Áreas vegetadas; próximas a corpos d'água; influenciadas pela topografia	Elevada importância para amenização climática
2	Renovação e circulação do ar	Amenização leve	Matas, bosques, campos abertos e verdes	Importante na circulação dos ventos
3	Atividade climática baixa	Neutro	Áreas pouco adensadas, muitos espaços abertos e presença de vegetação	Não afeta o aumento da temperatura do ar e exerce influência sobre a dinâmica dos ventos locais
4	Atividade climática relevante	Elevação leve	Áreas ocupadas por edificações residenciais, presença de espaços abertos e baixa rugosidade	Apresenta baixa contribuição para o aumento da temperatura do ar
5	Carga térmica baixa	Moderado	Áreas com baixa rugosidade, densidade de ocupação moderada e com presença de poucos espaços verdes	Carga térmica moderada para elevação da temperatura do ar
6	Carga térmica relevante	Moderadamente forte	Áreas fortemente adensadas por edificações residenciais de baixa altura, com média rugosidade.	Elevada carga térmica, com prejuízos ao conforto térmico
7	Carga térmica alta	Elevação Forte	Áreas fortemente adensadas por edificações, com ganhos antropogênicos significativos, escassez de vegetação e espaços abertos e com rugosidade elevada	Carga térmica forte, com efeitos negativos ao clima urbano
8	Carga térmica muito alta	Muito Forte	Áreas com elevado adensamento, baixa permeabilidade do solo, pouca vegetação e com rugosidade muito alta	Carga térmica muito forte, com efeitos críticos para o clima urbano. Tais aspectos direcionam para a ocorrência do fenômeno ilhas de calor

Legenda		Classes reclassificadas	
	Área Urbana		1
	Distritos		2
	bairros		3
			4
			5
			6
			7
			8

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ	LCGRH Laboratório de Climatologia, Meteorologia e Recursos Hídricos	CAPES
Sistema de Coordenadas Geográficas Datum Geodésico: Sirgas 2000 fuso 24 S Base Cartográfica: IBGE, SEUMA, Google Earth e USGS.		
Elaboração: BRASILEIRO, F. M. G; ZANELLA, M. E.		

Fonte: Elaborado pela autora.

Há que saber que a existência de áreas correlatas ao climatopo 1 favorecem a amenização climática natural da cidade. Por outro lado, os climatopos mais próximos de 8, estão relacionados a áreas de maior temperatura e com maior potencial de aquecimento. Tais regiões são inerentes a áreas ocupadas por estruturas urbanas que alteram a dinâmica natural do ambiente e a atividades que favorecem o aumento das temperaturas. Esses climatopos acompanham a macha urbana de Sobral e são mais incisivos em áreas onde a densidade construtiva supera a ocorrência de elementos naturais, que naturalmente favoreceriam o arrefecimento do ambiente urbano.

Quadro 3 – Classificação e avaliação das classes do UC-AnMap

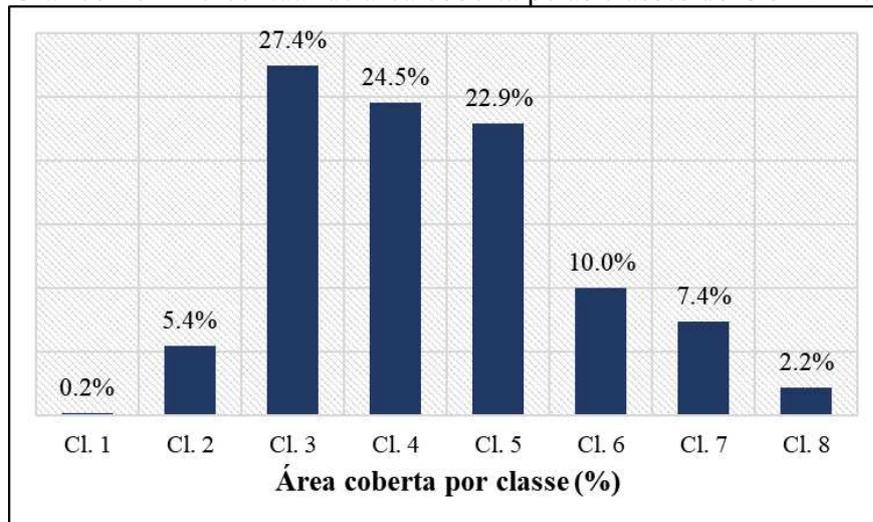
Classes	Aspecto climático	Impacto no conforto	Caracterização	Avaliação
1	Resfriamento do ar	Amenização moderada	Áreas vegetadas; próximas a corpos d'água; influenciadas pela topografia	Elevada importância para amenização climática
2	Renovação e circulação do ar	Amenização leve	Matas, bosques, campos abertos e verdes	Importante na circulação dos ventos
3	Atividade climática baixa	Neutro	Áreas pouco adensadas, muitos espaços abertos e presença de vegetação	Não afeta o aumento da temperatura do ar e exerce influência sobre a dinâmica dos ventos locais
4	Atividade climática relevante	Elevação leve	Áreas ocupadas por edificações residenciais, presença de espaços abertos e baixa rugosidade	Apresenta baixa contribuição para o aumento da temperatura do ar
5	Carga térmica baixa	Moderado	Áreas com baixa rugosidade, densidade de ocupação moderada e com presença de poucos espaços verdes	Carga térmica moderada para elevação da temperatura do ar
6	Carga térmica relevante	Moderadamente forte	Áreas fortemente adensadas por edificações residenciais de baixa altura, com média rugosidade.	Elevada carga térmica, com prejuízos ao conforto térmico
7	Carga térmica alta	Elevação Forte	Áreas fortemente adensadas por edificações, com ganhos antropogênicos significativos, escassez de vegetação e espaços abertos e com rugosidade elevada	Carga térmica forte, com efeitos negativos ao clima urbano
8	Carga térmica muito alta	Muito Forte	Áreas com elevado adensamento, baixa permeabilidade do solo, pouca vegetação e com rugosidade muito alta	Carga térmica muito forte, com efeitos críticos para o clima urbano. Tais aspectos direcionam para a ocorrência do fenômeno ilhas de calor

Fonte: Adaptado de Ribeiro, 2013.

De modo geral, ao avaliar a disposição espacial das classes do UC-AnMap nota-se que a cidade apresenta uma capacidade de arrefecimento positiva e um potencial baixo a moderado para elevação da temperatura. Isto se justifica pelo predomínio do climatopo 3, 4 e 5 na paisagem urbana de Sobral, onde essas feições representam 74,8% da área coberta total (Gráfico 16). Tal aspecto se justifica pela existência de extensas áreas com espaços vazios e regiões que apresentam baixa ou média ocupação urbana, além de áreas com presença de espaços verdes e baixa rugosidade. Soma-se a esse aspecto a ocorrência dos climatopos 1 e 2, que apesar de apresentarem uma baixa espacialização (cobertura de 5,6%), são áreas essenciais para a amenização térmica devido sua contribuição na dinâmica da ventilação local.

Ao analisar os climatopos 6, 7 e 8, que consistem nas feições mais preocupantes do ponto de vista térmico para a cidade, verificou-se que estas estão presentes em 19,6% da área total mapeada. Tal fato alerta para a identificação e mitigação destas áreas, sobretudo às relacionadas a classe 8, que apontam para a ocorrência do fenômeno das ilhas de calor. Essas feições estão presentes em áreas densamente construídas, pavimentadas e com baixo quantitativo de áreas verdes.

Gráfico 16 – Percentual de área coberta pelas classes do UC-AnMap



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao avaliar a ocorrência dos climatopos por bairro (Quadro 4), observa-se que as classes 3, 4, 5, 6 e 7, estão presentes em todos os bairros da cidade de Sobral. Em relação ao climatopo 1 este apresenta a menor frequência entre as áreas analisadas, sendo visualizado somente em 4 bairros da cidade, que são justamente as porções da paisagem que estão mais distantes do núcleo urbano. Já em relação ao climatopo 2 observa-se uma distribuição intermediária entre os bairros, onde destes 5 não apresentam feições relacionadas a esse climatopo. O climatopo 8 está presente em quase todos os bairros de Sobral, com exceção do bairro Juazeiro, visto que é uma das áreas da cidade com menores alterações do solo. Há que saber que alguns bairros apresentam feições de climatopos com áreas de ocupação muito baixa, desse modo, utilizaremos as feições e áreas mais significativas para a análise.

Quadro 4 – Área ocupada (km<sup>2</sup>) pelos climatopos por bairro

Bairros	Classes de Climatopos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Juazeiro	-	0.02	0.27	0.15	0.09	0.01	0.002	-
Nova Caiçara	-	0.0009	0.07	0.15	0.18	0.07	0.01	0.001
Renato Parente	0.06	0.86	1.94	1.00	0.72	0.27	0.10	0.02
Cidade Dr. José Euclides F. Gomes	-	0.16	0.46	0.31	0.27	0.21	0.23	0.07

Edmundo Monte Coelho	-	0.09	0.93	0.42	0.39	0.15	0.06	0.009
Coração de Jesus	-	0.001	0.06	0.08	0.13	0.11	0.08	0.03
Sinhá Sabóia	-	-	0.02	0.04	0.11	0.12	0.13	0.02
Parque Silvana	-	0.001	0.04	0.05	0.05	0.02	0.05	0.01
Novo Recanto	-	0.04	0.40	0.53	0.39	0.05	0.04	0.007
Jocely Dantas	-	0.001	0.13	0.23	0.24	0.15	0.11	0.02
Pedrinhas	-	0.0009	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.01
Sumaré	-	0.03	0.43	0.40	0.36	0.13	0.04	0.004
Padre Palhano	-	0.02	0.21	0.18	0.23	0.12	0.14	0.01
Várzea Grande	-	0.01	0.53	1.07	0.98	0.06	0.03	0.001
Dom José	-	0.02	0.23	0.19	0.25	0.15	0.17	0.06
Distrito Industrial	0.003	0.29	1.10	0.56	0.44	0.11	0.06	0.006
Dom Expedito	-	0.001	0.14	0.30	0.32	0.20	0.17	0.04
Padre Ibiapina	-	0.01	0.12	0.12	0.16	0.07	0.06	0.01
Vila União	-	-	0.05	0.10	0.09	0.09	0.12	0.04
Nossa S. de Fátima	-	0.13	0.71	0.49	0.25	0.05	0.03	0.005
Alto da Brasília	-	0.001	0.11	0.13	0.21	0.10	0.12	0.04
Expectativa	-	-	0.001	0.004	0.055	0.07	0.07	0.03
Dr. Juvêncio de Andrade	0.0006	0.17	1.40	1.08	0.80	0.25	0.14	0.03
Jeronimo de Medeiros	-	0.002	0.16	0.35	0.41	0.13	0.06	0.009
Cidade Dr. Gerardo C.	-	0.006	0.42	0.80	0.87	0.31	0.18	0.04
Centro	-	0.007	0.12	0.22	0.46	0.65	0.61	0.28
Cidade Pedro Mendes Carneiro	0.02	0.90	3.08	1.75	0.92	0.16	0.06	0.02
Cohab I	-	0.05	0.52	0.43	0.26	0.06	0.03	0.01
Cohab II	-	0.05	0.50	0.68	0.60	0.20	0.21	0.09
Jatobá	-	0.01	0.31	0.16	0.08	0.009	0.009	0.0009
Das Nações	-	0.02	0.50	1.08	1.44	0.34	0.20	0.04
Campos dos Velhos	-	-	0.02	0.06	0.21	0.27	0.25	0.05
Alto do Cristo	-	-	0.02	0.03	0.15	0.16	0.09	0.01
Junco	-	0.006	0.05	0.08	0.20	0.18	0.15	0.06
Domingos Olímpio	-	0.001	0.04	0.05	0.17	0.11	0.07	0.009

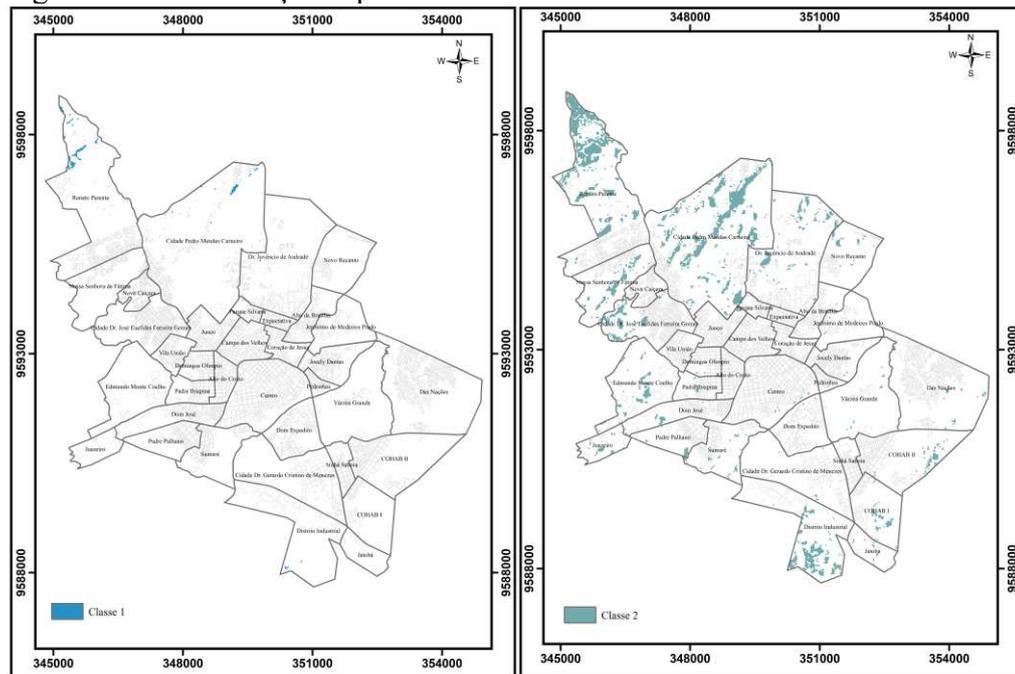
Fonte: Elaborado pela autora.

Após a avaliação geral dos climatopos convém destacar os aspectos de cada classe e sua área de ocorrência. A classe 1 representa o primeiro climatopo evidenciado na paisagem urbana. Esta classe tem como função climática proporcionar o resfriamento do ar, a partir da disposição de áreas vegetadas, próximas a corpos hídricos e influenciadas pela topografia. A existência dessas áreas no recinto da cidade favorece a amenização moderada do conforto térmico, apresentando, portanto, elevada importância para a amenização climática.

O climatopo evidenciado na classe 1 foi visualizado em uma área de 0,10 km<sup>2</sup>, denotando um percentual de cobertura igual a 0,2%. Como se observa essas feições apresentaram baixa representatividade na paisagem de sobral (Gráfico 16), devido aos baixos declives predominantes na cidade e a forte expansão urbana evidenciada nas últimas décadas. Desse modo, essa classe foi identificada, sobretudo, nas áreas sem adensamento urbano e em áreas de expansão. Estas feições foram encontradas no extremo leste do bairro Cidade Pedro Mendes Carneiro, na porção norte do bairro Renato Parente, no extremo sul do bairro Distrito Industrial e em pontos isolados do bairro Dr. Juvêncio de Andrade (Figura 52).

O climatopo 2 tem como função climática favorecer a renovação e circulação do ar, proporcionando uma amenização leve no conforto térmico ambiental. Essa área está associada a existência de matas, bosques e campos abertos e verdes, apresentando importância singular na circulação dos ventos que adentram a cidade. Em Sobral, essa classe apresentou uma ocupação de 3 km<sup>2</sup>, representando um percentual de 5,4% de cobertura. Tais feições podem ser visualizadas em quase toda a totalidade dos bairros Cidade Pedro Mendes Carneiro, Renato Parente, Distrito Industrial, Dr. Juvêncio de Andrade, Nossa Senhora de Fátima e Cidade Dr. José Euclides. E em pequenas porções dos bairros Edmundo Monte Coelho, Juazeiro, Sumaré, Novo Recanto, Padre Palhano, Várzea Grande, Dom José, Cohab I, Cohab II, Jatobá, Junco e Domingos Olímpio. Alguns pontos isolados ao oeste e ao sudeste da cidade apresentam esse climatopo com menor representatividade (Figura 52).

Figura 52 – Distribuição espacial das classes 1 e 2



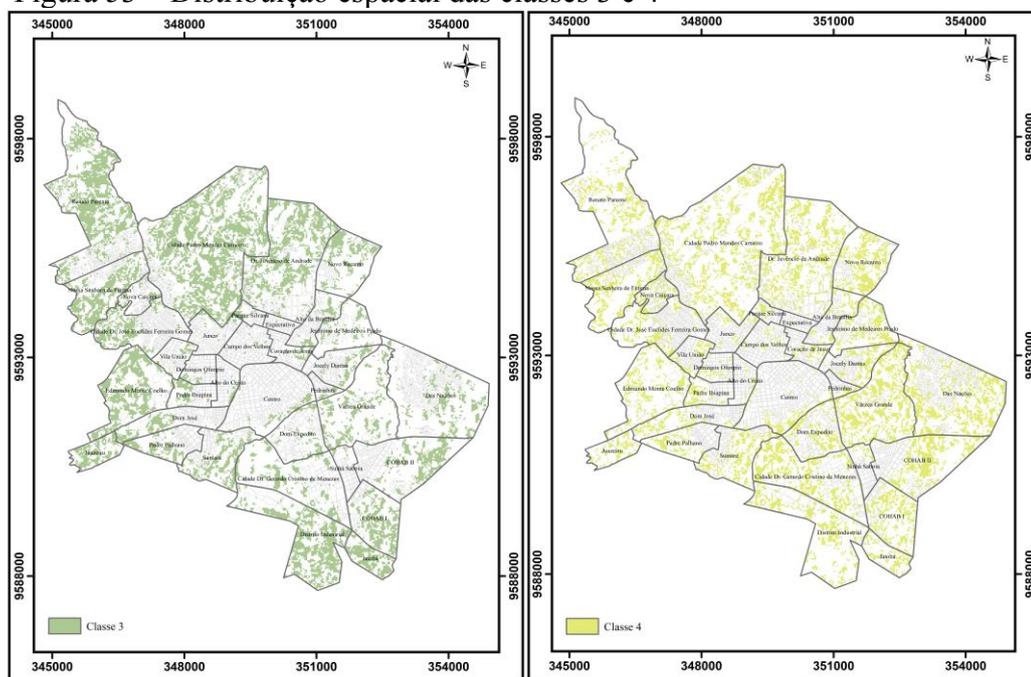
Fonte: Elaborado pela autora.

O climatopo 3 caracteriza-se pela baixa atividade climática e impacto neutro no conforto do ambiente urbano. Sua ocorrência está relacionada com áreas pouco adensadas, com abundância de espaços abertos e com presença de cobertura vegetal. Tais áreas não contribuem fortemente para o aumento da temperatura do ar, mas exercem influência relevante sobre a dinâmica dos ventos locais. Essas feições ocuparam uma área de 15,1 km<sup>2</sup>, o que representa um percentual de área coberta igual a 27,4%.

Essa classe pode ser visualizada em todos os bairros da cidade, com destaque para os bairros que não apresentam densidade construtiva, logo, as porções norte, oeste e sul são as regiões com maior ocupação desse climatopo. Os bairros que apresentam maior espacialização dessas feições são: Renato Parente, Distrito Industrial, Cidade Pedro Mendes Carneiro e Dr. Juvêncio de Andrade (Figura 53).

O climatopo 4 caracteriza-se pela relevante atividade climática, visto que são classes que imprimem uma leve elevação do potencial térmico da cidade, entretanto são feições que apresentam baixa contribuição para o aumento da temperatura do ar próxima a superfície. Devido a morfologia e localização geográfica, essas áreas apresentam médio potencial para a dinâmica da ventilação natural. Há que saber, que esse climatopo está relacionado a porções da paisagem urbana composta por edificações residenciais, presença de espaços abertos e baixa rugosidade. Essas feições podem ser visualizadas em todo o território de Sobral, sendo mais frequentes nos bairros Renato Parente, Varzea Grande, Dr. Juvêncio de Andrade, Cidade Pedro Mendes Carneiro e Das Nações, e menos recorrentes na região central da cidade. Apresentam uma área ocupada de 13,5 km<sup>2</sup> e taxa percentual de cobertura igual a 24,5% (Figura 53).

Figura 53 – Distribuição espacial das classes 3 e 4



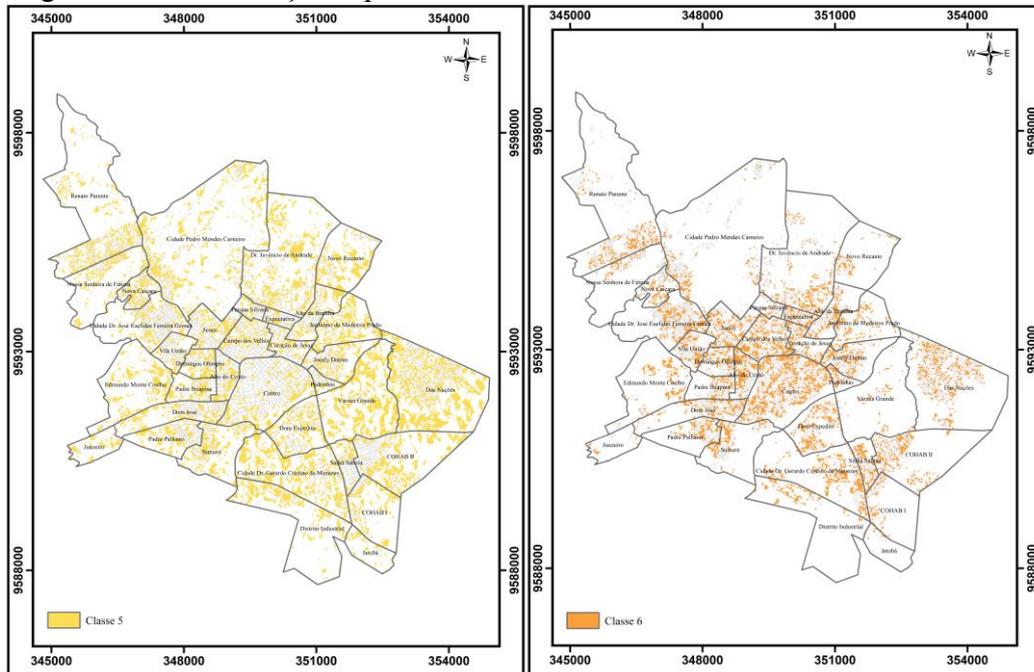
Fonte: Elaborado pela autora.

O climatopo 5 apresenta baixa carga térmica e um impacto moderado no conforto térmico do ambiente próximo a superfície. Tal classe é composta de áreas com baixa

rugosidade, densidade de ocupação moderada e com presença de poucos espaços verdes. Observa-se que essa classe favorece a ventilação natural, tendo em vista sua baixa rugosidade, entretanto, devido o aumento da densidade construtiva, esta contribui de forma moderada para a elevação das temperaturas. A área ocupada por essa classe é de 12,6 km<sup>2</sup> e o percentual de área coberta consiste em 22,9 %. Assim como o climatopo 4, essas feições estão presentes em toda a paisagem da cidade de Sobral, sendo mais frequentes nos bairros Das nações, Cidade Pedro Mendes Carneiro, Varzea Grande e Cidade Dr. Gerardo Cristino (Figura 54).

O climatopo 6 caracteriza-se por áreas fortemente adensadas por edificações residenciais de baixa e média altura, com relevante rugosidade, por esse motivo apresentam carga térmica alta e impacto moderadamente forte no conforto do ambiente urbano. Devido a essas características e o balanço de energia imprimido na paisagem, esses feições provocam elevados prejuízos ao conforto térmico. Tal classe pode ser visualizada no bairro do centro e áreas circunvizinhas, com destaque para os principais aglomerados suburbanos. A área ocupada por essa classe consiste em 5,5 km<sup>2</sup>, que corresponde a um percentual de 10% de cobertura (Figura 54).

Figura 54 – Distribuição espacial das classes 5 e 6

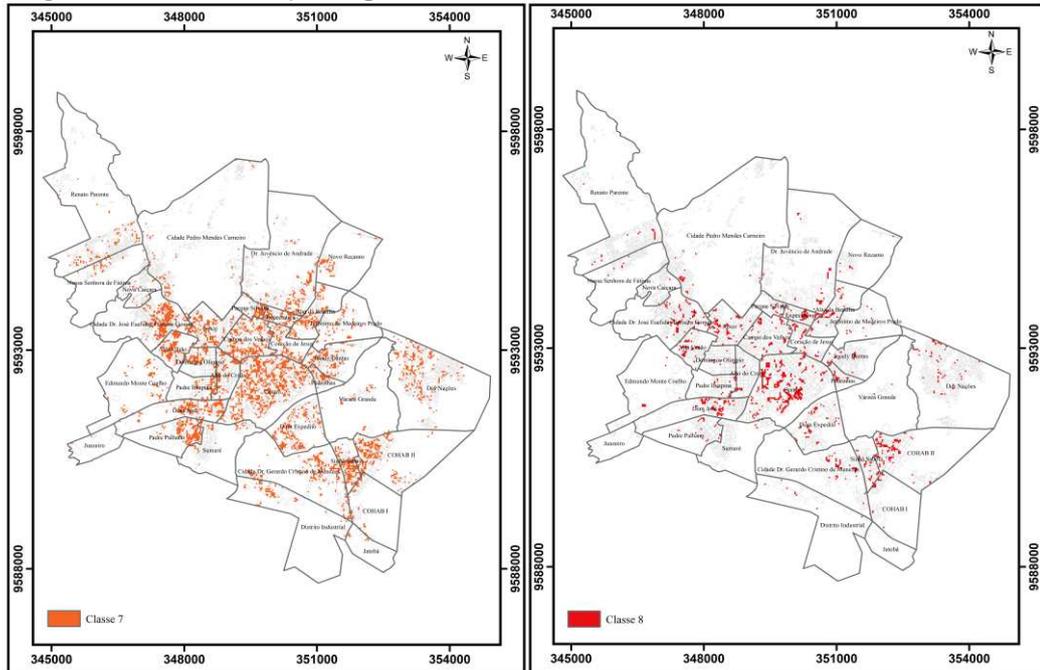


Fonte: Elaborado pela autora.

O climatopo 7 está presente em áreas fortemente adensadas por edificações, com ganhos antropogênicos significativos, escassez de cobertura vegetal e de espaços abertos e com rugosidade elevada. Essas características da morfologia urbana permitem a composição

de uma carga térmica alta e o aumento do desconforto térmico ambiente, provocando efeitos negativos no clima urbano. Tais feições estão presentes em todo o eixo de ocupação da cidade de Sobral, sendo mais frequentes nos bairros Centro, Campo dos Velhos, Das Nações, Cohab II e Cidade Dr. José Euclides Ferreira Gomes (Figura 55). A área ocupada por esta classe compreende 4.1 km<sup>2</sup>, o que equivale a 7,4% de cobertura.

Figura 55 – Distribuição espacial das classes 7 e 8



Fonte: Elaborado pela autora.

O climatopo 8 é caracterizado pelo predomínio de uma carga térmica muito alta, com impactos fortes no conforto térmico, gerando efeitos críticos para o clima urbano. Essas áreas estão associadas a regiões com elevado adensamento construtivo, baixa permeabilidade do solo, pouca cobertura vegetal, baixa presença de espaços abertos e alta rugosidade. Segundo Fernandes (2021) este climatopo representa fortemente a materialização do urbano e do processo de urbanização. Tais aspectos permitem inferir que as áreas de ocorrência desses climatopos são zonas propensas a formação de ilhas de calor atmosféricas e superficiais, haja vista que são áreas associadas a elevado potencial térmico de aquecimento. Somado a esse aspecto essas porções da paisagem estão correlacionadas a baixa permeabilidade da ventilação local, o que favorece a formação de fenômenos climáticos, devido a baixa capacidade de regulação natural do ambiente. Nesse sentido, o mapeamento dessas zonas é crucial para a mitigação dos efeitos adversos no clima urbano local. A área ocupada por essas feições em Sobral é de 1,2 km<sup>2</sup>, representando uma área coberta de 2,2%.

Em relação a localização desse climatopo, observa-se que as áreas mais significativas na visualização dessas feições se deram na porção leste da Cidade Dr. José Euclides, nos bairros Vila União, Junco, Dom José, Centro, Campo dos Velhos, Expectativa, Dom Expedito, Sinhá Sabóia e nas porções oeste da COHAB II e Leste do bairro Cidade Gerardo Cristino de Menezes (Figura 55). Estes bairros estão, majoritariamente, associados a gênese da cidade ou mesmo a áreas de expansão do centro urbano histórico. Alguns aglomerados periféricos se destacam pela ocorrência dessa feição, sobretudo regiões situadas a margem direita do Rio Acaraú.

Desse modo, considerando a classificação gerada pelo mapa de análises climáticas, nota-se o predomínio de climatopos que estão associados a uma maior capacidade de arrefecimento, embora algumas dessas classes (4 e 5) apresentem também um baixo a moderado impacto térmico no ambiente. Considerando o porte da cidade e as feições existentes na paisagem, tais aspectos já eram esperados. Porém, há que saber, que apesar de ser uma característica positiva para a cidade, necessita-se analisar a localização geográfica dessas feições, haja vista que as mesmas predominam em áreas pouco adensadas com perspectiva de expansão ou em vazios urbanos. Quando analisamos as porções de maior carga térmica, nota-se que as classes que favorecem a ventilação apresenta uma espacialização reduzida ou inexistente, sendo um cenário perfeito para o favorecimento à formação de fenômenos climáticos.

Ademais, ao considerar o percentual de áreas propensas ao aumento da temperatura do ar, representadas pelas classes 6 a 8, observa-se que são feições muito significativas. Tais climatopos totalizam 19,6% do total de cobertura do ambiente urbano, sendo que desta o climatopo 8 já representa 2,2% de área coberta, inferindo condições para a formação das ilhas de calor.

Tal aspecto revela a importância desse estudo para a cidade de Sobral, haja vista que a identificação das áreas mais aquecidas contribuirá com a formação de políticas públicas voltadas ao clima da cidade. Somado a isto, percebe-se que Sobral devido seu porte médio e sua influência regional tem favorecido a implementação de estruturas que serão cada vez mais comum na paisagem, como a verticalização, as grandes indústrias, etc., podendo expandir as áreas com condições térmicas preocupantes. Somado a isso, a expansão urbana residencial é um fato concreto que precisa ser organizado considerando estudos ambientais e climáticos, orientados para a sustentabilidade e conforto térmico ambiental.

## 6 DEFINIÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS DE SOBRAL

As Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones – LCZ*) consistem em um modelo de classificação das paisagens que busca superar a convencional diferenciação do urbano versus o rural, amplamente empregado na climatologia urbana. Para tal, a classificação considera a determinação de áreas homogêneas que apresentam semelhanças entre as estruturas e coberturas das superfícies da cidade e os tipos de usos e atividades humanas associadas a esses ambientes (Stewart, 2011; Stewart; Oke, 2012). Tal método permite observar as diferenciações intraurbanas no clima da cidade, favorecendo a implementação de estratégias de mitigação dos efeitos térmicos adversos (Werneck, 2022).

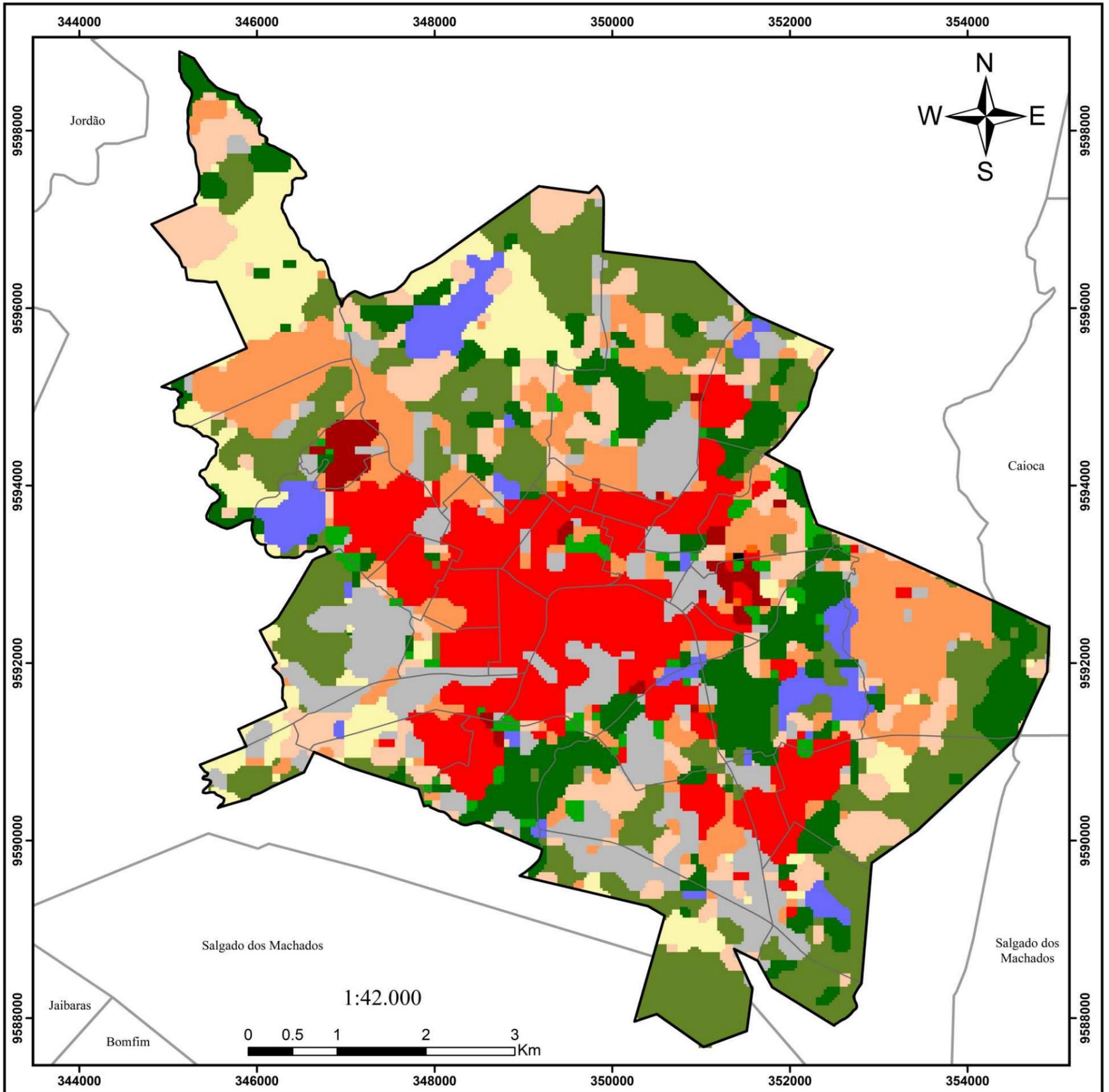
A aplicação do método LCZ apresenta como principal facilitação a possibilidade de adaptação às diferentes realidades. O caráter genérico permite enquadrar as diversas paisagens urbanas, independentemente do porte apresentado pela cidade em estudo (Cardoso; Amorim, 2017). Isto tem facilitado a difusão da metodologia entre os estudiosos do clima e de ciências correlatas, culminando em estudos importantes no contexto mundial e a nível nacional (Borges *et al.*, 2022; Dorigon; Amorim, 2021).

No que concerne à realidade da cidade de Sobral, após a aplicação do método para identificação das LCZs foi possível identificar 12 zonas, destas, 6 zonas se referem aos tipos construtivos disponíveis na paisagem urbana da cidade. A saber, LCZ 2 - compacta de média elevação; LCZ 3 - compacta de baixa elevação; LCZ 5<sub>4</sub> – aberta de média elevação com feições de alta elevação; LCZ 6 - aberta de baixa elevação; LCZ 8<sub>10</sub> – grandes construções de baixa elevação com ocorrência de áreas industriais; LCZ 9 - esparsa com construções pequenas ou médias (Figura 56).

Em relação a essa categoria, convém destacar que as zonas LCZ 4 e 10 foram atribuídas como subclasses, visto que as mesmas não apresentavam um quantitativo espacial significativo de áreas dentro da cidade para individualizá-las. Conforme Cardoso e Amorim (2017) devido as diferenças físicas e culturais das paisagens o processo de classificação nem sempre encontrará correspondências diretas com as LCZs modelos, sendo necessário a geração de subclasses e a adaptação conforme a necessidade de cada ambiente.

Considerando a classificação de Stewart e Oke (2012), não identificamos na paisagem urbana de Sobral as LCZs 1 e 7. Em relação a LCZ 1, observou-se que a cidade não apresenta feições consideráveis para a delimitação de áreas compactas densamente verticalizadas, embora apresente construções pontais com mais de 10 pavimentos em diferentes pontos da cidade, principalmente em áreas mais afastadas do centro urbano.

Figura 56 – Zonas Climáticas Locais (Local Climate Zone – LCZ) da cidade de Sobral/CE



<p><b>ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS (Local Climate Zone - LCZ) Sobral/CE</b></p> <p><b>Legenda</b></p> <p>  Área Urbana   Distritos   bairros         </p>		<p>  LCZ 2 - Compacta de média elevação   LCZ 3 - Compacta de baixa elevação   LCZ 5/4 - Aberta de média elevação/Aberta de alta elevação   LCZ 6 - Aberta de baixa elevação   LCZ 8/10 - Grandes construções de baixa elevação/Áreas industriais   LCZ 9 - Esparsa com construções pequenas ou médias   LCZ A - Vegetação arbórea densa   LCZ B - Vegetação arbórea esparsa   LCZ C/D - Vegetação arbustiva/Vegetação rasteira   LCZ E - Rocha exposta ou pavimentação   LCZ F - Solo exposto ou areia   LCZ G - Água         </p>
<p>  UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ   LCGRH - Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos   CAPES         </p> <p>           Sistema de Coordenadas Geográficas            Datum Geodésico: Sirgas 2000 fuso 24 S            Base Cartográfica: IBGE, SEUMA, Google Earth e LCZ Generator.            Elaboração: BRASILEIRO, F. M. G;            ZANELLA, M. E.         </p>		

Fonte: Elaborado pela autora

Isso se justifica pelo porte médio da cidade, visto que em Sobral predomina a disposição de construções horizontais e a verticalização intermediária, diferentemente do que se observa nos grandes centros urbanos consolidados. No que tange a LCZ 7, observou-se que essas feições se assemelhavam aos aglomerados subnormais, definidos pelo IBGE. Ao avaliar a paisagem de Sobral não encontramos áreas que apresentassem as características inerentes a esta zona, fator que evidencia, novamente, o porte da cidade, haja vista que nas grandes metrópoles é comum encontrar extensas áreas densamente ocupadas, mas com pouca infraestrutura urbana. Contudo, nesse aspecto convém avaliar também as características de planejamento urbano implementadas na cidade e o nível de pressão urbana que o sítio está submetido.

Comparando com outros estudos realizados no contexto estadual nota-se algumas semelhanças e divergências, considerando que cada cidade imprime uma paisagem única e cada pesquisador irá classificar considerando sua subjetividade. Nesse contexto, Castro (2022) ao classificar a cidade de Eusébio/CE em LCZs, identificou dificuldades em mapear os tipos construídos verticalizados, tendo em vista que estas feições não predominavam na paisagem, devido a cidade apresentar porte pequeno. As LCZs mais frequentes foram as de baixa e média elevação, assim como em Sobral. Entretanto, quando avaliamos a LCZ 7 para as duas realidades, nota-se que Eusébio apresenta uma área considerável dessa feição, visto que o município está incluído dentro da Região Metropolitana de Fortaleza e apresenta uma expansão urbana acelerada, recente e que não está, necessariamente, associada a implementação de infraestrutura urbana. Isto também evidencia a preocupação da administração pública de Sobral em fornecer infraestrutura urbana à cidade.

Do mesmo modo, Sousa Filho (2023) em sua classificação da paisagem urbana de Quixadá, uma importante cidade média do sertão central cearense, observou a predominância de estruturas de baixa e média elevação, localizadas sobretudo nas áreas centrais de ocupação mais antigas e a ocorrência de bairros mais vegetados associados a áreas de expansão da cidade. Considerando a LCZ 8, nota-se que apesar de identificada na paisagem de Quixadá, a mesma não é tão significativa quanto a observada na paisagem de Sobral, que inclusive apresenta a existência de indústria pesada. Tal fato, demonstra o desenvolvimento industrial que vem sendo implementado na cidade sobralense e o alocamento de serviços e estruturas correlatas.

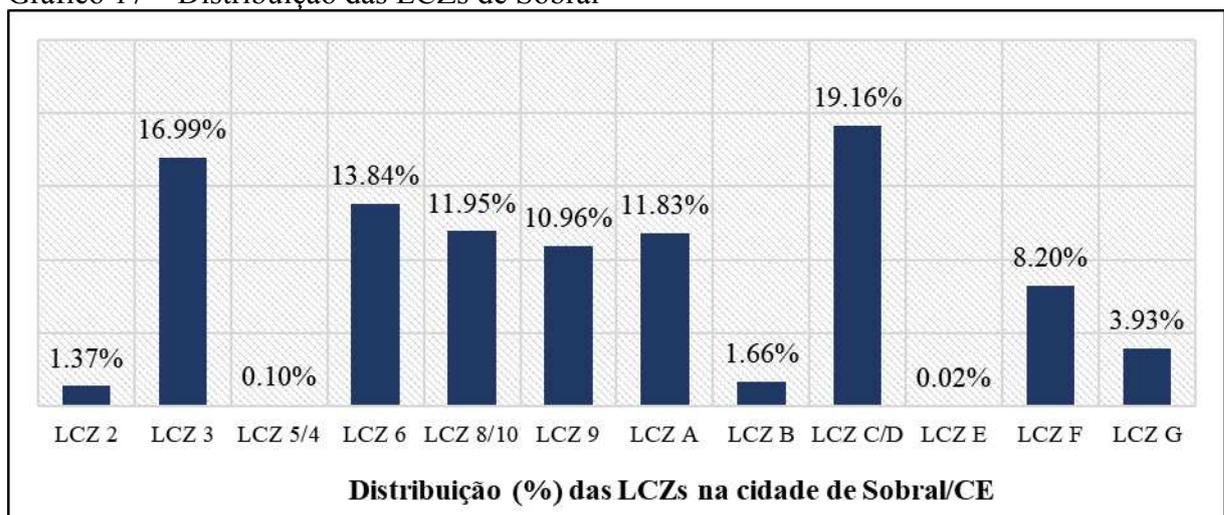
Em relação aos tipos de cobertura da terra em Sobral, identificou-se 6 zonas, a saber, LCZ A - vegetação arbórea densa; LCZ B - vegetação arbórea esparsa; LCZ C<sub>d</sub> - vegetação arbustiva com ocorrência de vegetação rasteira; LCZ E - rocha exposta ou

pavimentação; LCZ F - solo exposto ou areia; e LCZ G – água (Figura 56). Nessas zonas, buscou-se avaliar, sobretudo, as características climáticas e sua influência na determinação das feições de vegetação, haja vista que a cidade de Sobral está sob influência de um clima tropical semiárido e com uma cobertura de vegetação característica da Caatinga, o que denota afirmar que durante a aplicação da classificação as diferenciações na cobertura da terra poderiam ser confundidas ou mal interpretadas, devido as variações sazonais comum ao ambiente climático da região. Desse modo, optou-se por unir as LCZs C e D, pois eram as mais sensíveis na visualização das imagens de satélite, ademais do ponto de vista climático estas feições apresentam impactos térmicos semelhantes.

### 6.1 Caracterização das Zonas Climáticas Locais

De modo geral, a espacialização das zonas climáticas locais destacou que a cidade de Sobral apresenta uma variabilidade de feições urbanas, com o predomínio espacial da LCZ 3, porém com uma boa representatividade das LCZs 6, 8<sub>10</sub> e 9, evidenciando que a paisagem urbana é composta prioritariamente por feições de baixa elevação e muito adensadas, seguidas de áreas de expansão que apresentam pouco adensamento e baixa elevação. Na paisagem da cidade é muito característico a existência de grandes galpões, associados ao comércio e a atividade industrial, juntamente com algumas áreas associadas a indústria pesada (Gráfico 17).

Gráfico 17 – Distribuição das LCZs de Sobral



Fonte: Elaborado pela autora.

As classes de cobertura evidenciaram o predomínio da LCZ C<sub>d</sub> representativa da vegetação arbustiva e rasteira, isso se deve aos aspectos físicos/naturais da cidade, onde predomina a vegetação de Caatinga que apresenta como principal característica um porte vegetacional baixo (Reis *et al.*, 2021). Essas feições apresentaram um percentual de 19,99% de área coberta. As áreas de maior porte de vegetação, LCZs A e B, estão situadas nas margens dos corpos hídricos, áreas mais elevadas e regiões sem intervenções para a expansão urbana. Estas feições representam uma área coberta de 11,83% e 1,66%, respectivamente. Em relação a LCZ E, nota-se que a cidade de Sobral apresenta baixa representatividade, visto que as vias, devido a sua extensão espacial e localização entre as demais zonas, foram inseridas dentro de outras LCZs e as áreas com rochas expostas não foram encontradas na paisagem urbana da cidade (Tabela 3).

Tabela 3 – Área das LCZs de Sobral

Tipologias	Área Coberta (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)
LCZ 2	0.75 km <sup>2</sup>	1.37%
LCZ 3	9.35 km <sup>2</sup>	16.99%
LCZ 5 <sub>4</sub>	0.05 km <sup>2</sup>	0.10%
LCZ 6	7.62 km <sup>2</sup>	13.84%
LCZ 8 <sub>10</sub>	6.58 km <sup>2</sup>	11.95%
LCZ 9	6.04 km <sup>2</sup>	10.96%
LCZ A	6.51 km <sup>2</sup>	11.83%
LCZ B	0.91 km <sup>2</sup>	1.66%
LCZ C <sub>d</sub>	10.55 km <sup>2</sup>	19.16%
LCZ E	0.01 km <sup>2</sup>	0.02%
LCZ F	4.52 km <sup>2</sup>	8.20%
LCZ G	2.17 km <sup>2</sup>	3.93%

Fonte: Elaborado pela autora

Considerando a LCZ F, observa que a mesma apresenta uma área ocupada de 4,52 km<sup>2</sup>, denotando um percentual de 8,20%. Estas feições são visualizadas, sobretudo, em regiões associadas a construção de alguma infraestrutura urbana, seja condomínios ou residências de baixa e média elevação e em áreas associadas a agricultura. Convém destacar que esta LCZ apresentou sensibilidade na classificação devido a variações sazonais climáticas e florísticas locais. A LCZ G apresentou uma área coberta de 3,93%, sendo caracterizada pela presença do Rio Acaraú e por açudes e pequenas lagoas em pontos distintos da cidade.

Dos tipos construídos identificados, a LCZ 3, caracterizada pelo elevado adensamento urbano e a baixa elevação, foi a classe urbana mais expressiva na classificação,

estando presente em uma área de 9.35 km<sup>2</sup>, representando um percentual de cobertura igual a 16,99%. Estas áreas estão localizadas, sobretudo, em regiões de ocupações mais antigas. A LCZ 6 apresentou uma boa representatividade com uma cobertura espacial de 13,84%, estando associadas as áreas de expansão da cidade de Sobral. Do mesmo modo, a LCZ 9 se apresenta como áreas de expansão da cidade, porém estão associadas a porções da paisagem menos urbanizadas, como fazendas e pequenos povoados, assim como áreas associadas a construções de condomínios mais distantes do núcleo urbano. Esta classe representou 10,96% de área coberta. A LCZ 8<sub>10</sub> obteve uma cobertura espacial igual a 11,95%, nota-se que devido a cidade de Sobral apresentar um desenvolvimento regional significativo muitas empresas e indústrias tem se instalado continuamente na paisagem urbana, o que justifica a cobertura espacial tão expressiva dessa LCZ. As LCZs 2 e 5<sub>4</sub>, apresentaram baixa representatividade espacial, com 1,37% e 0,10%, respectivamente, visto que o predomínio espacial consiste em feições de baixa elevação, como observado na distribuição espacial da LCZ 3 (Tabela 3).

O quadro 5, apresenta a espacialização das feições por bairro, onde evidencia que os tipos construídos LCZs 3, 6, 8<sub>10</sub> e 9 foram, de fato, os mais frequentes. A LCZ 3 foi visualizada em quase todos os bairros da cidade, exceto em 7, a saber, Jatobá, Nossa Senhora de Fátima, Distrito Industrial, Edmundo Monte Coelho, Renato Parente, Nova Caiçara e Juazeiro. Estes bairros são ocupações mais recentes, distantes do centro urbano histórico e estão associados a novos loteamentos ou a atividade industrial. A LCZ 6 foi umas das feições mais identificadas, não sendo visualizada, apenas, em dois bairros, no Alto do Cristo e no Jatobá, os dois bairros se referem, respectivamente, a área de extensão do centro urbano e áreas com características mais rurais, ou seja, de baixa ocupação urbana. Do mesmo modo, a LCZ 8<sub>10</sub> está presente em praticamente toda a cidade, com exceção dos bairros Domingos Olímpio e Parque Silvana, pois predominam nessas áreas feições associadas a LCZ 3. Em relação a LCZ 9, suas feições não foram encontradas nos bairros Domingos Olímpio, Alto do Cristo, Campos dos Velhos, Expectativa e Alto da Brasília, que são bairros com maior densidade de construções e maior impermeabilização do solo.

Quadro 5 – Área ocupada (km<sup>2</sup>) pelas LCZs por bairro

Bairros	Zonas Climáticas Locais ( <i>Local Climate Zones – LCZ</i> )											
	2	3	5 <sub>4</sub>	6	8 <sub>10</sub>	9	A	B	C <sub>a</sub>	E	F	G
Juazeiro	-	-	-	0.04	0.11	0.05	-	-	0.18	-	0.19	-
Nova Caiçara	0.32	-	-	0.06	0.06	-	0.02	0.01	0.01	-	-	0.004
Renato Parente	0.01	-	-	1.42	0.12	0.87	0.47	0.008	0.61	-	1.62	-
Cidade Dr. José Euclides F. Gomes	0.02	0.69	-	0.15	0.13	0.04	0.07	0.06	0.09		0.06	0.41

Edmundo M. Coelho	-	-	-	0.03	0.97	0.06	0.02	0.03	0.76	-	0.19	0.01
Coração de Jesus	-	0.24	-	0.08	0.11	-	0.02	0.02	-	-	-	0.02
Sinhá Sabóia	-	0.26	-	0.005	0.13	0.001	0.03	-	0.01	-	-	0.01
Parque Silvana	-	0.10	0.01	0.06	-	0.04	-	-	0.02	-	-	-
Novo Recanto	0.001	0.25	-	0.09	0.09	0.18	0.30	0.01	0.38	-	0.06	0.09
Jocely Dantas	0.19	0.14	0.008	0.06	0.19	0.11	0.07	0.06	0.006	0.001	0.04	0.0009
Pedrinhas	-	0.11	-	0.05	0.02	0.01	0.02	-	-	-	-	0.006
Sumaré	0.02	0.39	-	0.04	0.16	0.06	0.57	0.10	0.01	-	0.005	0.03
Padre Palhano	-	0.33	-	0.05	0.06	0.21	0.02	0.007	0.10	-	0.13	0.001
Várzea Grande	-	0.11	0.005	0.15	0.07	0.21	1.29	0.08	0.22	-	0.01	0.51
Dom José	0.04	0.67	-	0.15	0.72	0.31	0.005	0.05	0.05	-	0.30	0.04
Distrito Industrial	-	-	-	0.02	0.61	0.20	0.07	-	1.43	-	0.29	0.03
Dom Expedito	0.008	0.27	0.01	0.15	0.35	0.08	0.09	0.05	0.10	-	-	0.05
Padre Ibiapina	-	0.28	-	0.03	0.08	0.06	0.01	0.02	0.02	-	0.04	-
Vila União	-	0.37	-	0.06	0.01	0.04	0.01	0.006	0.008	-	-	-
Nossa S. de Fátima	0.009	-	-	0.45	0.06	0.08	0.10	-	0.68	-	0.31	0.0009
Alto da Brasília	-	0.41	-	0.03	0.10	-	0.14	0.0005	0.03	-	-	-
Expectativa	-	0.23	-	0.01	0.001	-	-	-	-	-	-	-
Dr. Juvêncio de Andrade	0.01	0.05	-	0.89	0.72	0.55	0.52	0.04	1.08	-	0.01	-
Jeronimo de Medeiros	0.07	0.13	0.01	0.34	0.02	0.25	0.12	0.12	0.04	0.009	-	-
Cidade Dr. Gerardo C.	-	0.30	-	0.37	0.72	0.45	0.42	0.04	0.30	-	0.01	0.01
Centro	0.02	1.62	-	0.05	0.43	0.02	0.11	0.05	-	-	-	0.02
Cidade Pedro M. Carneiro	0.009	0.04	-	0.73	0.32	1.26	0.65	0.01	2.15	-	1.09	0.66
Cohab I	-	0.11	-	0.02	0.15	0.13	0.25	-	0.55	-	0.04	0.13
Cohab II	-	0.48	-	0.10	0.008	0.49	0.22	0.01	0.86	-	0.17	-
Jatobá	-	-	-	-	0.07	0.01	0.08	-	0.43	-	-	-
Das Nações	-	0.02	-	1.90	0.08	0.32	0.69	0.008	0.58	-	0.03	0.07
Campos dos Velhos	0.03	0.61	-	0.07	0.06	-	-	0.08	-	-	-	-
Alto do Cristo	-	0.45	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-	-
Junco	-	0.56	-	0.12	0.04	0.01	0.01	-	0.008	-	-	-
Domingos Olímpio	-	0.35	-	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao observar a espacialização por bairro das LCZs A, B e C<sub>d</sub>, nota-se que a cidade apresenta uma área vegetada relevante para o contexto climático, entretanto alguns bairros se destacaram pela ausência destas feições, a saber, Domingos Olímpio, Alto do Cristo e Expectativa, nestes bairros temos o predomínio da LCZ 3 e são áreas associadas a expansão do centro urbano.

Em relação as características de cada LCZ, os tópicos a seguir apresentam as informações referentes a cada feição encontrada na paisagem de Sobral e busca demonstrar sua área de ocorrência. Tais informações não foram individualizadas em fichas descritivas em formato *png*, como mencionado por Stewart e Oke (2012), porém apresenta todas as informações solicitadas para descrição de uma Zona Climática Local (Local Climate Zone - LCZ).

### 6.1.1 LCZ 2 - compacta de média elevação

A LCZ 2 (compacta de média elevação) consiste em áreas da cidade que apresentam uma densa mistura de edifícios intermediários, com 3 a 9 pavimentos. Do ponto de vista da morfologia são prédios relativamente homogêneos que não apresentam muitas variações quanto a sua estrutura. A cobertura do solo é prioritariamente impermeável, com pavimentação asfáltica. A presença de vegetação é escassa ou inexistente e os materiais predominantes na paisagem consistem em: pedras, tijolos, telhas e concretos (Figura 57).

Figura 57 – Representação da LCZ 2 em Sobral/CE



Fonte: Google Earth. (1) Representação gráfica da LCZ. (2) Feição da LCZ 2, visão vertical e oblíqua.

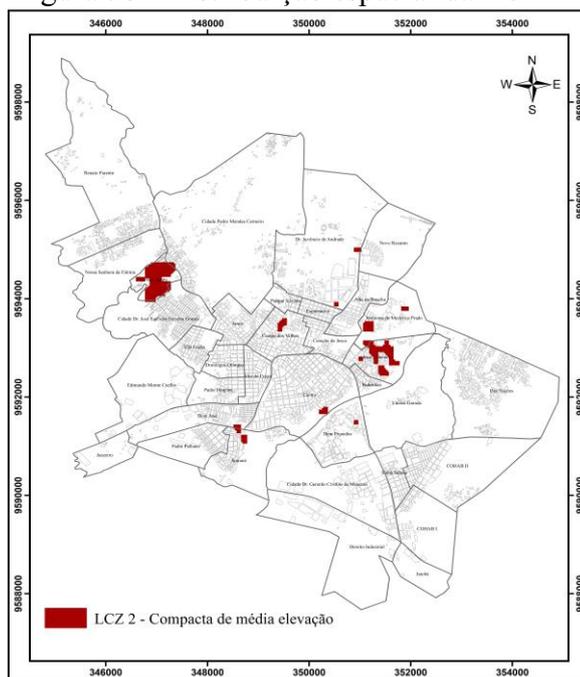
Essa LCZ tem como função a alocação de pessoas para a moradia, com a predominância de residenciais, e em alguns pontos isolados da cidade, cumprem a função comercial, sobretudo, nas áreas mais próximas do centro. Associa-se a essas áreas, presença de *sky view factor* com maior obstrução, baixo albedo e fluxo antropogênico intermediário.

Essas feições podem ser observadas na cidade de Sobral em alguns pontos da área central e em regiões de expansão mais afastadas do centro histórico. Convém delinear que tais feições ainda se apresentam de forma tímida na cidade em estudo, tendo sua maior representatividade associada ao bairro Nova Caiçara, que apresenta uma feição de dimensões

consideráveis e que está diretamente relacionada às características apresentadas pelo bloco diagrama e metadados disponibilizados pela metodologia LCZ.

Além dessa área, podemos observar a LCZ 2 nos bairros Renato Parente, Cidade Dr. José Euclides Ferreira Gomes, Novo recanto, Jocely Dantas, Sumaré, Dom José, Dom Expedito, Nossa Senhora de Fátima, Dr. Juvêncio de Andrade, Jeronimo de Medeiros, Centro, Cidade Pedro Menezes e Campos do Velhos (Figura 58).

Figura 58 - Distribuição espacial da LCZ 2



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação às características térmicas dessa LCZ, devido à baixa cobertura vegetal, a alta impermeabilização do solo e os efeitos da rugosidade na dinâmica dos ventos locais, essa zona é propícia à existência de temperaturas do ar mais elevadas (Cardoso; Amorim, 2018).

### 6.1.2 LCZ 3 - compacta de baixa elevação

A LCZ 3 (compacta de baixa elevação) consiste em uma densa mistura de edifícios baixos, com pavimentos que variam de 1 a 3 andares. A cobertura vegetal é baixa, com a ocorrência de árvores pontuais, e em algumas áreas de maior compactação construtiva verifica-se a inexistência de cobertura vegetal. A cobertura do solo é pavimentada de material asfáltico ou calçamento de pedras e as construções apresentam alta compactação, com pé

direito majoritariamente baixo. Os materiais predominantes na paisagem consistem em pedras, tijolos, telhas e concreto (Figura 59).

Essa LCZ apresenta a função residencial e comercial sem definição de uma área específica para cada função, com exceção do centro que predomina o comércio. A mistura entre áreas comerciais e residenciais é mais comum nos bairros da periferia, onde é possível visualizar essas funções em um mesmo edifício, no chamado comércio de bairro. As zonas compostas pela LZO 3 apresentam em sua maioria alto tráfego de pessoas e veículos, gerando contribuições significativas ao aquecimento antropogênico da cidade.

Figura 59 – Representação da LCZ 3 em Sobral/CE



Fonte: Google Earth. (1) Representação gráfica da LCZ. (2) Feição da LCZ 3, visão vertical e oblíqua.

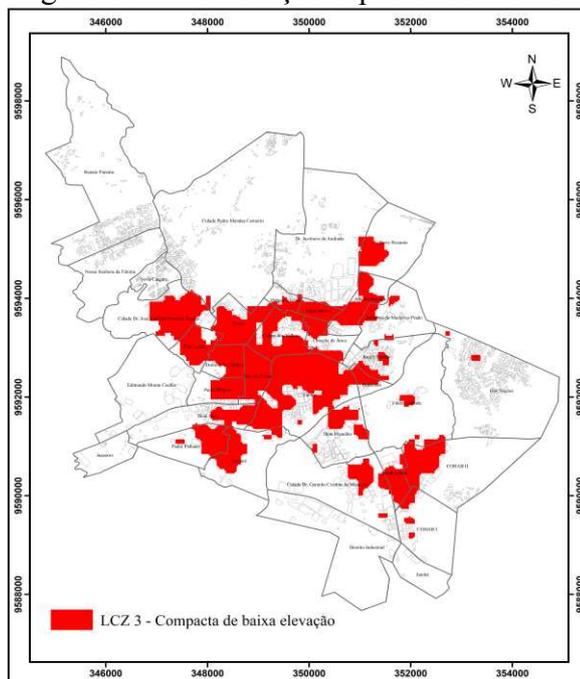
Essas áreas são seccionadas por grandes avenidas e vias arteriais que estão relacionadas a fluxo antropogênico intenso. Ao mesmo tempo, ao analisar os espaços intrabairros observa-se que as vias são de dimensões reduzidas, em sua maioria pavimentadas e com fluxo intenso. Considerando as regiões centrais que apresentam essa LCZ, observa-se que são vias mais abertas e com maior quantitativo de verde, diferentemente do que se observa nos bairros situados na periferia da cidade.

Como referido, essa classe está presente em praticamente todos os bairros da cidade, a saber, Cidade Dr. José Euclides Ferreira Gomes, Coração de Jesus, Sinhá Sabóia, Parque Silvana, Novo Recanto, Jocely Dantas, Pedrinhas, Sumaré, Padre Palhano, Várzea Grande, Dom José, Dom Expedito, Padre Ibiapina, Vila União, Alto da Brasília, Expectativa, Dr. Juvêncio de Andrade, Jeronimo de Medeiros, Cidade Dr. Gerardo Cristino, Centro, Cidade Pedro Menezes, Cohab I, Cohab II, Das Nações, Campos dos Velhos, Alto do Cristo, Junco e Domingos Olímpio (Figura 60).

De base das características dessa zona e considerando o alto índice de compactação construtivo, os tipos de construção, os fluxos e a baixa cobertura vegetal, observa-se que estas áreas são regiões onde a temperatura do ar se apresenta mais elevada em

comparação com regiões mais abertas e com maior presença do verde. Associa-se a essa LCZ a ocorrência de um baixo albedo.

Figura 60 - Distribuição espacial da LCZ 3



Fonte: Elaborado pela autora.

### 6.1.3 LCZ 5<sub>4</sub> – aberta de média e alta elevação

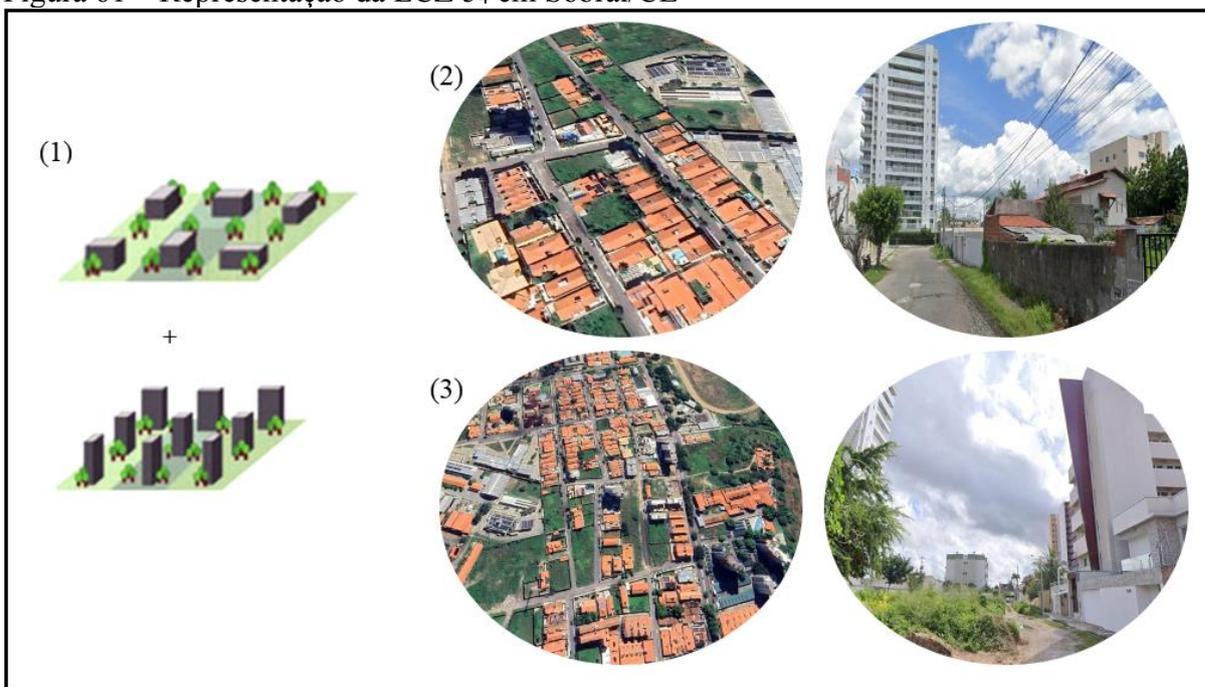
A LCZ 5<sub>4</sub> (aberta de média elevação) consiste em um arranjo aberto de edifícios intermediários, com pavimentos que apresentam de 3 a 9 andares. Essa zona se apresenta na paisagem de Sobral correlacionada com a LCZ 4 (aberta de alta elevação) caracterizada pelo arranjo aberto de edifícios altos com dezenas de andares, tais feições não configuram uma zona específica, pois estão dispostos de forma pontual na paisagem da cidade (Figura 61).

Essas zonas são áreas que apresentam abundância de cobertura vegetal e extensa fração de solo permeável, com a predominância de gramíneas e árvores de baixo porte com distribuição dispersa. Os materiais construtivos visualizados foram telhas, concreto, aço, pedra e vidro. No que se refere a função dessas zonas nota-se que os prédios com maior quantidade de andares estão associados à residência e os de menor quantitativo de pavimentos à função administrativa ou de serviços.

Esta zona pode ser visualizada em poucas áreas da cidade, a saber, nos bairros Parque Silvana, Jocely Dantas, Várzea Grande, Dom Expedito e Jerônimo de Medeiros (Figura 62). Como mencionado, a cidade de Sobral apresenta predominantemente feições de

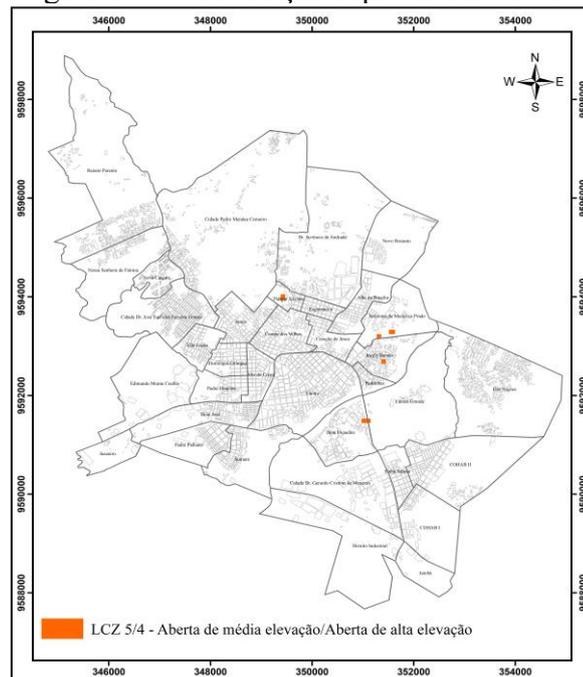
baixa elevação, fato justificado pela espacialização da LCZ 3, porém como a macha urbana da cidade vem crescendo e as características associadas ao fenômeno do urbano tem-se apresentando de forma mais contundente na paisagem, observa-se que as áreas com feições de maior gabarito tem-se expandido, ainda que de forma tímida. Convém destacar que a verticalização intermediária supera a existência de grandes edifícios com mais de 10 pavimentos. Esse padrão de expansão contribuiu para a pouca espacialização da zona, haja vista, que tanto feições de média quanto de alta elevação não formaram extensas zonas individualizadas na paisagem de Sobral. Tal fato, inclusive, foi uma dificuldade encontrada durante a aplicação da metodologia para os tipos construídos verticalizados, visto que a cidade apresenta feições verticalizadas, porém muitas destas estão em pontos isolados cercados por feições de baixa elevação.

Figura 61 – Representação da LCZ 5<sub>4</sub> em Sobral/CE



Fonte: Google Earth. (1) Representação gráfica da LCZ. (2) e (3) Feições da LCZ 5<sub>4</sub>, visão vertical e oblíqua.

Considerando as características térmicas da LCZ 5<sub>4</sub>, nota-se, em comparação com os tipos construídos mencionados anteriormente, que essa LCZ apresenta maior albedo, revelando sua capacidade de refletir grande parte da radiação recebida e menor capacidade de absorção. Apesar de suas feições agirem como barreiras a ventilação natural, a grande disposição de vegetação e baixa impermeabilidade contribuem para a amenização climática local.

Figura 62 - Distribuição espacial da LCZ 5<sub>4</sub>

Fonte: Elaborado pela autora.

#### 6.1.4 LCZ 6 - aberta de baixa elevação

A LCZ 6 (aberta de baixa elevação) apresenta um arranjo aberto de edifícios baixos, com 1 a 3 andares. Essa LCZ apresenta abundância de cobertura vegetal, com ocorrência de plantas baixas e árvores dispersas, com solo, predominantemente, permeável. Essa classe se refere as mesmas feições construtivas visualizadas na LCZ 3, porém não apresentam compactação de suas estruturas e maior disposição de cobertura vegetal, logo imprimem um balanço de energia diferente das demais LCZs. Os materiais encontrados nas feições são compostos por madeira, tijolo, pedra, azulejo e concreto e a função associada a LCZ consiste no uso residencial. (Figura 63).

Figura 63 – Representação da LCZ 6 em Sobral/CE

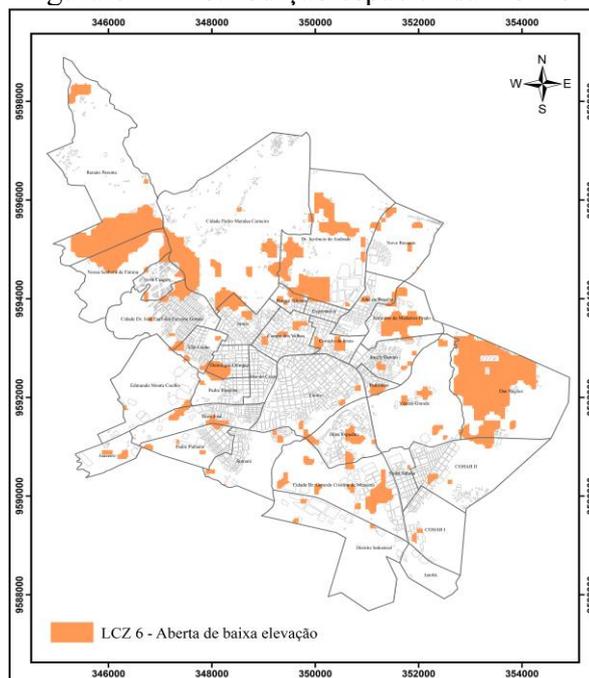


Fonte: Google Earth. (1) Representação gráfica da LCZ. (2) Feição da LCZ 6, visão vertical e oblíqua.

Considerando os aspectos térmicos, observa-se que essa LCZ apresenta a mesma dinâmica de albedo visualizada na LCZ 5<sub>4</sub>, onde reflete uma menor capacidade de absorção de calor por suas estruturas, se comparadas com as feições contrutivas de alta compactação. Comparando com as demais classes mapeadas anteriormente, esta LCZ apresenta um índice de *sky view factor* com baixa obstrução, visto que se caracteriza por feições de baixo gabarito e reduzida densidade construtiva.

Ao analisar a espacialização dessa zona em Sobral, percebe-se que a mesma pode ser visualizada, sobretudo, nas áreas de expansão mais recentes, mas também pode ser encontrada nos bairros de maior ocupação, associadas a antigos vazios urbanos que estão sendo ocupados devido a expansão da macha urbana da cidade. Como referido anteriormente, os únicos bairros que não apresentaram essa LCZ foram o Alto do Cristo e o Jatobá. Essas feições foram mais frequentes nas porções oeste/noroeste e leste/sudeste da cidade (Figura 64).

Figura 64 - Distribuição espacial da LCZ 6



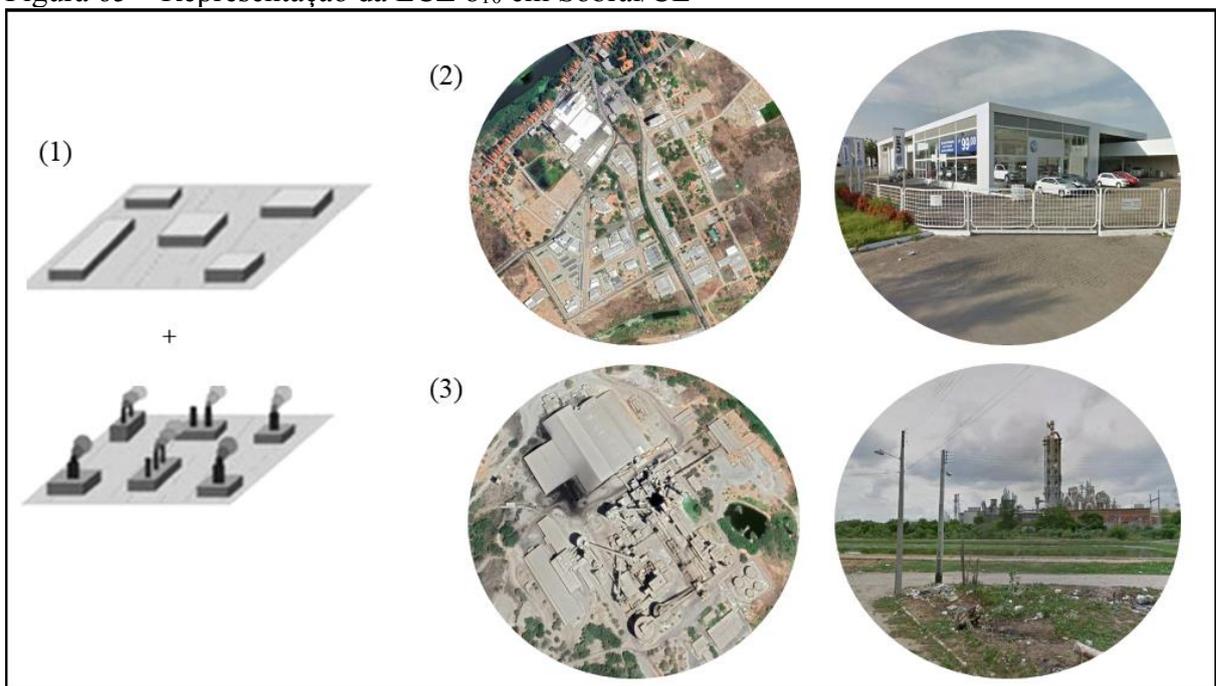
Fonte: Elaborado pela autora.

### 6.1.5 LCZ 8<sub>10</sub> – grandes construções de baixa elevação e áreas industriais

A LCZ 8<sub>10</sub> apresenta um arranjo espacial aberto com a presença de extensos edifícios baixos, de 1 a 3 andares. Em Sobral a LCZ 8 encontra-se correlacionada a LCZ 10, caracterizada pela indústria pesada, por exemplo: indústria de cimento. Considerando a cidade

em estudo e seu processo de industrialização optou-se por unir as feições supracitadas visto que os grandes galpões também estão relacionados ao desenvolvimento industrial, logo apresentam semelhanças quanto ao balanço térmico e ganhos antropogênicos. Além desse aspecto, observa-se que a LCZ 10 apresenta poucos exemplares na paisagem urbana, pois não existem extensas áreas isoladas associadas a tal atividade. No que tange aos grandes galpões, estes estão relacionados as indústrias de bens intermediários e de bens de consumo. Alguns equipamentos se referem ao comércio e a oferta de serviços públicos e privados (Figura 65).

Figura 65 – Representação da LCZ 8<sub>10</sub> em Sobral/CE



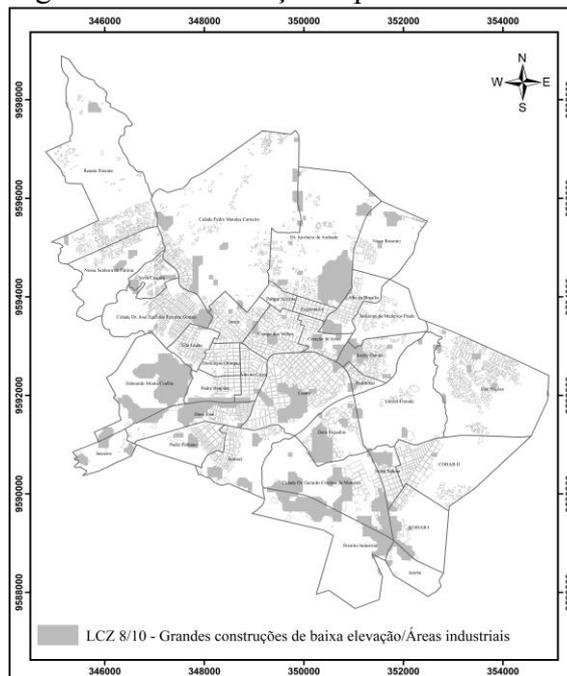
Fonte: Google Earth. (1) Representação gráfica da LCZ. (2) e (3) Feições da LCZ 8<sub>10</sub>, visão vertical e oblíqua.

A cobertura do solo está relacionada a alta taxa de pavimentação e a baixa ou inexistente presença de cobertura vegetal. Os materiais mais expressivos na paisagem consistem no aço, concreto, metal e pedra. Em relação as questões térmicas as feições da LCZ 8<sub>10</sub>, estão associadas ao alto fluxo antropogênico, tanto pelas atividades desenvolvidas quanto pela a dinâmica gerada em torno desses serviços, como o fluxo de pessoas e veículos.

Ao observar a distribuição espacial da LCZ 8<sub>10</sub> nota-se que suas feições abrangem quase a totalidade da cidade, tendo suas maiores representações nos bairros Edmundo Monte Coelho, Dr. Juvêncio de Andrade, Dom José, Distrito Industrial e Cidade Dr. Gerardo Cristino de Menezes. Os dois primeiros bairros citados, tem como principais feições associadas, respectivamente, a fábrica Votorantim Cimentos SA e a fábrica Greendene Calçados. O distrito industrial e os bairros circundantes também se destacam na espacialização de grandes

galpões, em sua maioria associados as principais vias de acesso da cidade. No centro observa-se uma mancha de LCZ 8<sub>10</sub> que se associa a galpões de lojas varejistas e a prédios de serviços públicos (Figura 66).

Figura 66 - Distribuição espacial da LCZ 8<sub>10</sub>



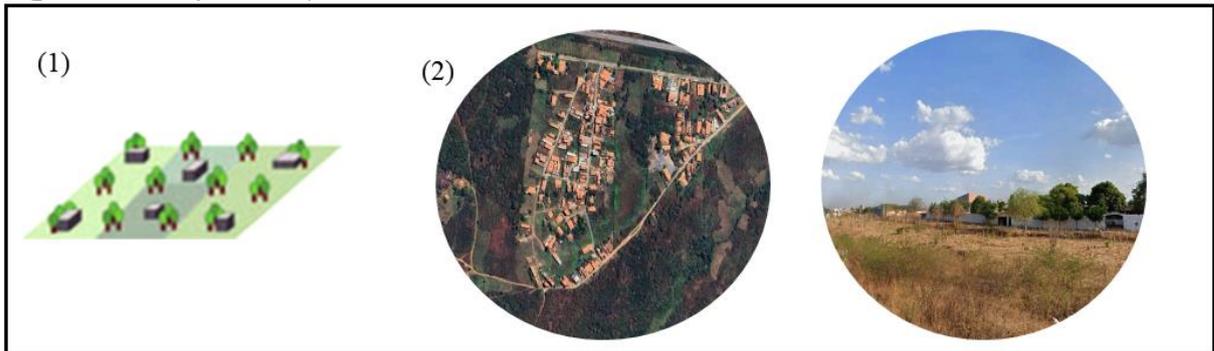
Fonte: Elaborado pela autora.

### 6.1.6 LCZ 9 - *esparsa com construções pequenas ou médias*

A LCZ 9 consiste em zonas que apresentam um arranjo esparsa de edifícios pequenos ou médios em ambiente natural. Observa-se que são áreas que tem abundância de cobertura vegetal (plantas baixas, árvores dispersas e gramíneas) e solo permeável. Tais áreas estão associadas a porções da cidade que estão se expandindo ou zonas que por estarem mais afastadas do centro urbano mantém características de distritos com baixa densidade construtiva e modo de vida mais rural ou com função de segunda residência. Soma-se a essas áreas, residenciais em construção que apresentam pequenas intervenções ainda não consolidadas (Figura 67).

Essas feições podem ser observadas, sobretudo, nas porções mais distantes do centro urbano histórico, tendo sua maior espacialização nos bairros Cidade Pedro Mendes Carneiro, Renato Parente, Cohab II e Dr. Juvêncio de Andrade. Estas regiões da cidade estão entre as mais visadas para a construção de novos residenciais, visto que são áreas com grandes vazios urbanos e que apresentam diversos atrativos naturais (Figura 68).

Figura 67 – Representação da LCZ 9 em Sobral/CE

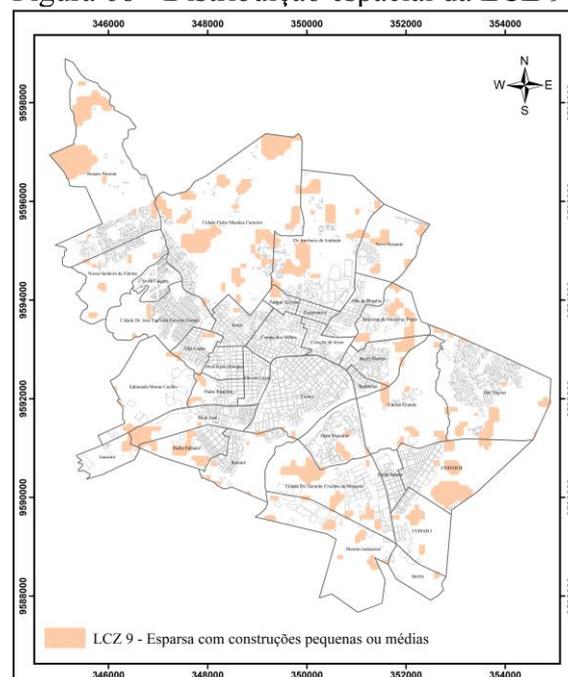


Fonte: Google Earth. (1) Representação gráfica da LCZ. (2) Feição da LCZ 9, visão vertical e oblíqua.

Nesse aspecto, podemos citar o bairro Renato Parente que oferece o atrativo de um clima serrano associado a influência das brisas da Serra da Meruoca, ou mesmo, o bairro Cidade Pedro Mendes Carneiro que abriga um importante espelho d'água em seu território, oferecendo tanto a abundância de verde como disponibilidade hídrica. Soma-se também o aspecto climático, haja vista a influência das brisas geradas pelo açude Cachoeiro na geração de temperaturas mais amenas.

Entretanto, ao avaliar o predomínio de tais feições nota-se que os residenciais ainda se apresentam de forma pontual e em processo de construção, sendo ainda áreas muito relacionadas a fazendas e pequenos povoados.

Figura 68 - Distribuição espacial da LCZ 9



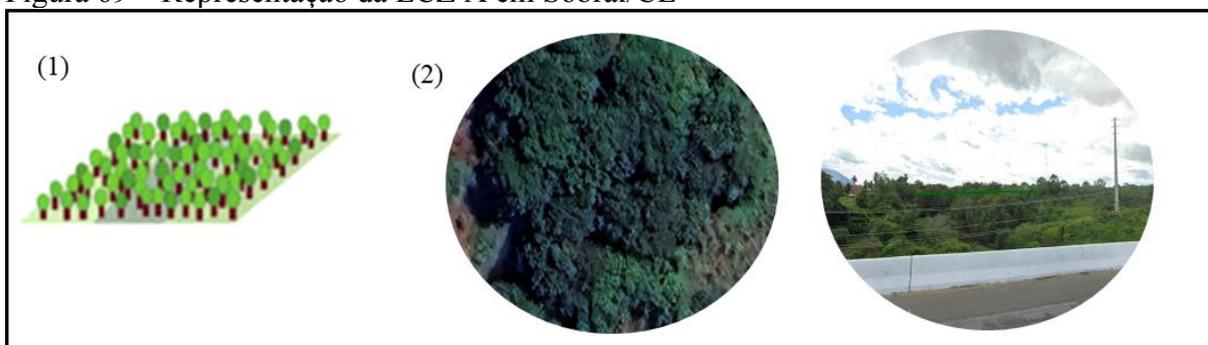
Fonte: Elaborado pela autora.

Do ponto de vista térmico, essa LCZ não apresenta questões consideráveis quanto ao *sky view factor* e ao albedo, visto a predominância de feições de baixo gabarito, somadas as extensas áreas com coberturas vegetais e baixa densidade de construções. Como são regiões associadas, sobretudo, ao aspecto residencial com fluxo baixo de pessoas, serviços e trânsito, essa LCZ não contribui fortemente para questões térmicas no contexto da cidade.

### 6.1.7 LCZ A - vegetação arbórea densa

A LCZ A caracteriza-se por seu aspecto densamente arborizado, com presença de árvores decíduas e/ou perenes. A cobertura do solo é preferencialmente permeável e apresenta como função disponibilidade de floresta natural ou parque urbano. Para o contexto da cidade de Sobral, devido suas características climáticas e florísticas, essa LCZ apresenta menor espacialização se comparada a feições vegetacionais de menor porte, além desse aspecto observa-se que o processo de expansão da cidade associada ao desmatamento e ao desenvolvimento da atividade agrícola em porções mais distantes do centro urbanizado, têm favorecido a diminuição de feições que apresentam maior arborização (Figura 69).

Figura 69 – Representação da LCZ A em Sobral/CE

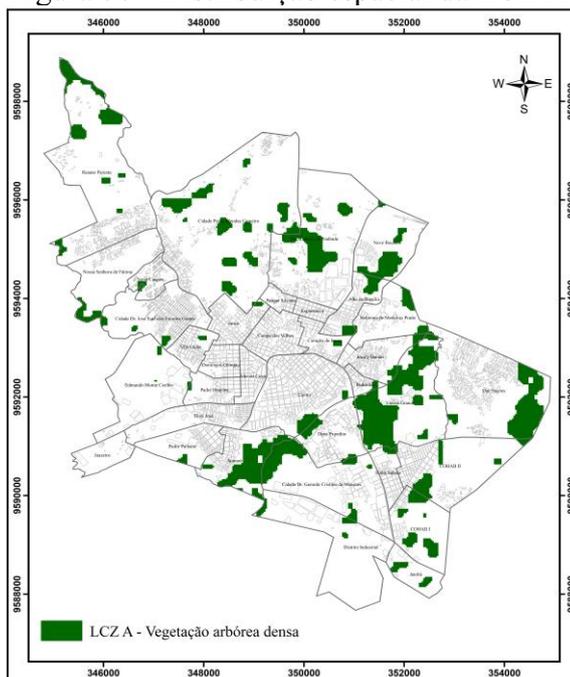


Fonte: Google Earth. (1) Representação gráfica da LCZ. (2) Feição da LCZ A, visão vertical e oblíqua.

Ao avaliar a disposição espacial da LCZ A nota-se que estas são mais frequentes em regiões onde há maior disponibilidade hídrica, ou seja, nas áreas próximas a rios e lagos permanentes. Além dessas áreas nota-se que alguns bairros de menor ocupação urbana e com menores taxas de intervenção agrícola, apresentam machas preservadas associadas a essa LCZ. As áreas mais emblemáticas dessa feição localizam-se nas proximidades do Rio Acaraú, sobretudo na margem direita, com urbanização mais recente. Nessa porção da cidade temos a mata ciliar que percorre esse recurso hídrico, sendo, portanto, uma área de preservação permanente. As porções com maiores áreas associadas à LCZ A são os bairros Várzea grande,

Dr. Juvêncio de Andrade, Cidade Pedro Mendes Carneiro, Das Nações, Novo Recanto, Renato Parente e o limite entre os bairros Sumaré e Cidade Dr. Gerardo Cristino de Menezes. Outras porções à noroeste apresentam pequenas manchas de LCZ A (Figura 70). Dentro da porção de maior densidade construtiva, visualiza-se pequenas áreas associadas a parques urbanos, porém nas áreas de maior expressividade da LCZ 3 não se visualiza feições associados a vegetação de grande porte.

Figura 70 - Distribuição espacial da LCZ A



Fonte: Elaborado pela autora.

Do ponto de vista térmico, essa LCZ é responsável por proporcionar condições propícias a baixas temperaturas do ar e de superfície, contribuindo para a formação de ilhas de frescor diurnas (Cruz, 2021). Há que saber que a vegetação atua em dois mecanismos essenciais para a redução das temperaturas na cidade, o sombreamento e o processo de evapotranspiração (Shinzato, 2009). Além desses aspectos, a presença de vegetação densa favorece a interceptação da radiação emitida pelas superfícies urbanas e pela atmosfera, favorecendo o menor aquecimento do ar abaixo do dossel, em detrimento de áreas sem cobertura vegetal (Ferreira, 2019).

#### **6.1.8 LCZ B - vegetação arbórea esparsa**

A LCZ B consiste em feições que apresentam vegetação arbórea esparsa, com presença de árvores decíduas e/ou perenes. Assim como a LCZ A, apresenta uma cobertura do

solo permeável e com presença gramíneas. Em relação a sua função, essa zona representa áreas de floresta natural, remanescentes florestais ou praças e parques urbanos (Figura 71).

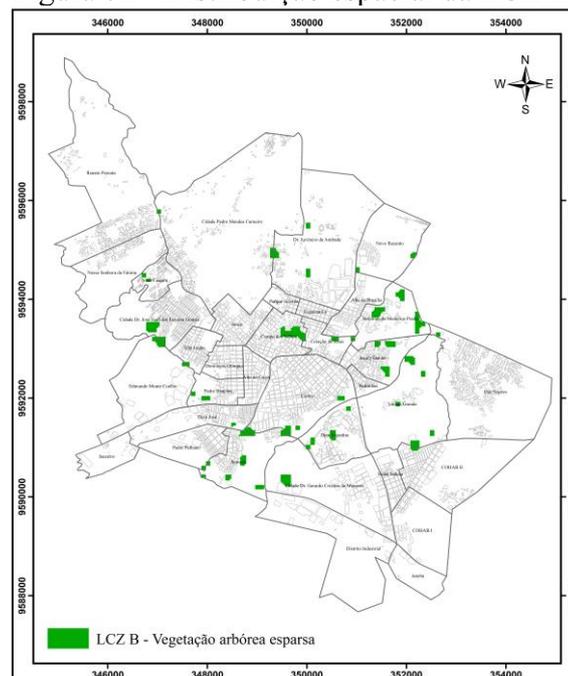
Figura 71 – Representação da LCZ B em Sobral/CE



Fonte: Google Earth. (1) Representação gráfica da LCZ. (2) Feição da LCZ B, visão vertical e oblíqua.

Considerando a espacialização dessa LCZ observa-se que a mesma pode ser visualizada em pontos isolados da cidade, sobretudo nas áreas próximas a ocorrência da LCZ A. Alguns pontos estão relacionados a parques no contexto urbano, como o Parque da Cidade, localizado no bairro Campos do Velhos. Outras feições estão associadas a arborização de vias realizada pelo governo local ou mesmo estão associadas à espaços vazios. Os bairros de maior destaque dessa LCZ foram o Jerônimo de Medeiros, Sumaré, Várzea Grande, Dom José, Dom Expedito, Centro e Campos dos Velhos (Figura 72).

Figura 72 - Distribuição espacial da LCZ B



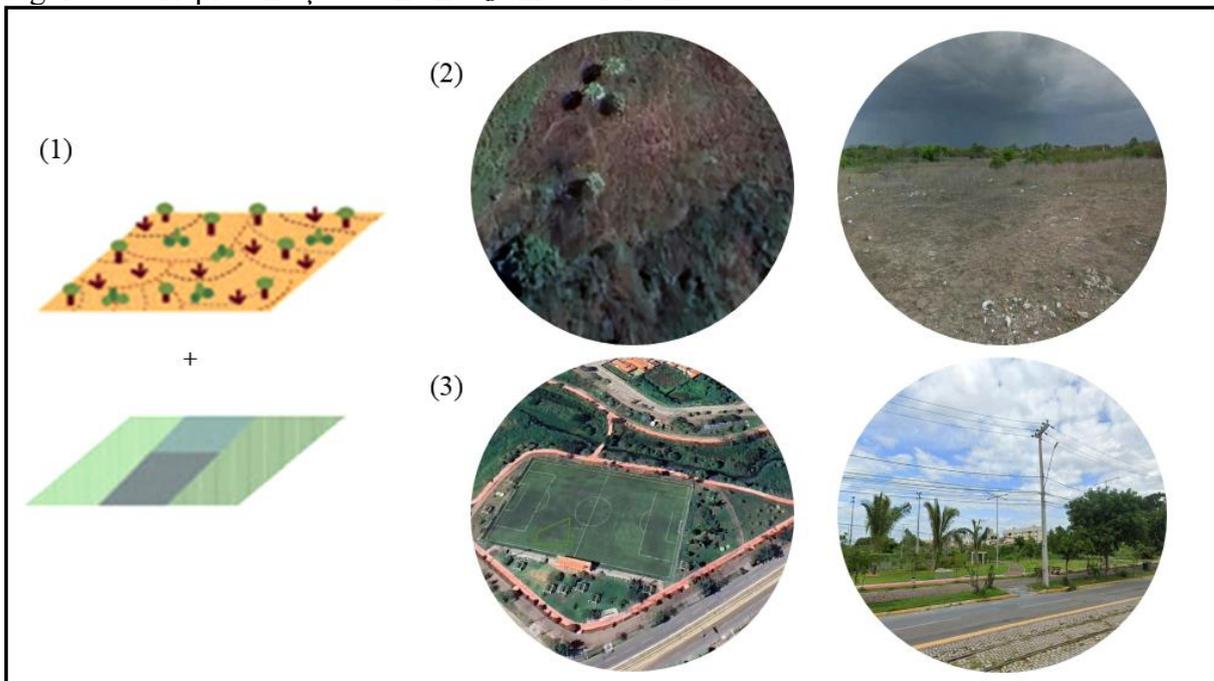
Fonte: Elaborado pela autora.

Do ponto de vista térmico essa LCZ também contribui de forma positiva para a amenização térmica ambiental, entretanto, comparando com a LCZ A, a mesma não apresentará uma capacidade tão efetiva em relação aos efeitos bioclimáticos, como por exemplo, a faixa de sombreamento será relativamente menor se comparada a feições com maior dossel. Nesse sentido, também se observa que a maioria dessas feições estão cercadas por uma grande densidade construtiva, o que pode neutralizar os efeitos gerados por essas zonas climáticas.

### 6.1.9 LCZ $C_d$ - vegetação arbustiva e rasteira

A LCZ  $C_d$  apresenta um arranjo espacial aberto com a predominância de arbustos, árvores baixas e lenhosas. Em algumas porções a paisagem natural encontra-se descaracterizada com a presença de grama ou plantas/culturas herbáceas. A cobertura do solo é permeável, com a ocorrência de solo exposto devido a modificações para a construção de estruturas urbanas ou para o desenvolvimento de práticas agrícolas. A zona apresenta como função urbana o desenvolvimento de plantios, a implementação de parque urbano ou reservadas a áreas de matagal natural (Figura 73).

Figura 73 – Representação da LCZ  $C_d$  em Sobral/CE

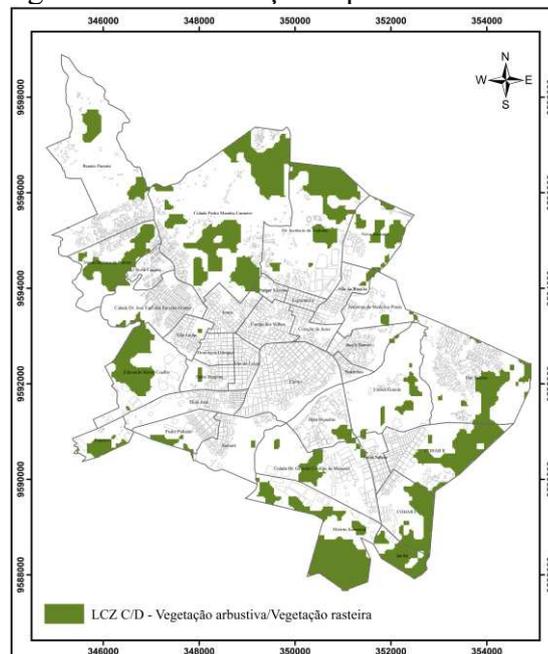


Fonte: Google Earth. (1) Representação gráfica da LCZ. (2) e (3) Feições da LCZ  $C_d$ , visão vertical e oblíqua.

Nessa zona, diferentemente das LCZs A e B, as contribuições para a amenização térmica é relativamente baixa, haja vista que as feições associadas ao solo exposto e a vegetação rasteira incipiente tendem a contribuir com temperaturas do ar e de superfície mais elevadas, sobretudo durante o período seco, onde essa feições tendem a assumir novas características comuns ao aspecto da vegetação de Caatinga (Burgos; Romero, 2010). Por outro lado, em porções da cidade onde as formações arbustivas e rasteiras apresentam aspecto vívido e, de fato, apresentam uma boa cobertura do solo, especialmente em parques urbanos, podemos inferir contribuições térmicas para baixas temperaturas, sobretudo durante o período chuvoso.

As feições relacionadas a LCZ C<sub>d</sub> foram mais frequentes nos bairros de menor densidade construtiva e mais afastados do centro urbano, haja vista que são os que apresentam maiores manchas de vegetação natural, a saber, Cidade Pedro Mendes Carneiro, Dr. Juvêncio de Andrade, Cohab I, Cohab II, Campos dos Velhos, Nossa Senhora de Fátima, Distrito Industrial e Edmundo Monte Coelho (Figura 74).

Figura 74 - Distribuição espacial da LCZ C<sub>d</sub>



Fonte: Elaborado pela autora.

#### **6.1.10 LCZ E - rocha exposta ou pavimentação**

A LCZ E caracteriza-se pelo predomínio da paisagem natural descaracterizada, com cobertura do solo pavimentada e com baixa ou inexistente presença de cobertura vegetal. Considerando que a cidade não apresenta afloramentos rochosos, as feições foram compostas

de vias de transporte terrestre e aérea (Figura 75). Todavia, durante o mapeamento, mesmo com a indicação das áreas associadas as vias terrestres, estas não foram evidenciadas no mapeamento final, haja vista que foram englobadas nas demais LCZs.

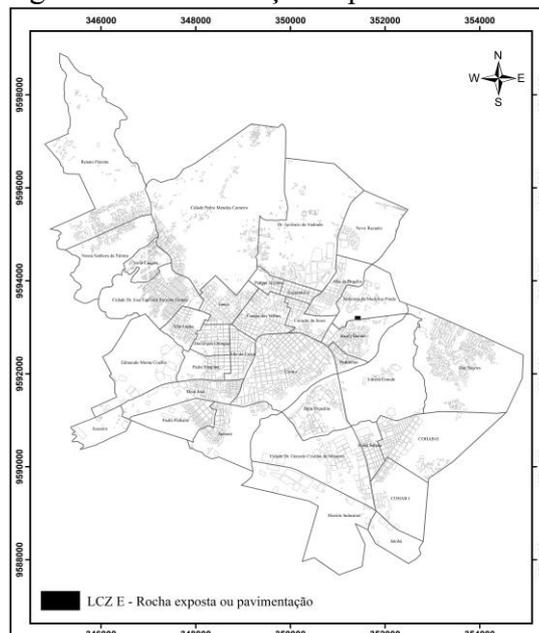
Figura 75 – Representação da LCZ E em Sobral/CE



Fonte: Google Earth. (1) Representação gráfica da LCZ. (2) Feição da LCZ E, visão vertical e oblíqua.

Nesse sentido, a ocorrência da LCZ E ficou restrita a pista de pouso situada nos limites dos bairros Jocely Dantas e Jerônimo de Medeiros (Figura 76). Considerando a espacialização da LCZ E, a mesma se apresentou de maneira irrelevante para o contexto climático da cidade, sendo considerada somente para a avaliação a nível de microclima para os bairros supracitados. Há que saber que as principais vias da cidade acompanham os tipos construídos de maior espacialização, justificando a sua junção durante a criação das demais LCZs.

Figura 76 - Distribuição espacial da LCZ E



Fonte: Elaborado pela autora.

### 6.1.11 LCZ F - solo exposto ou areia

A LCZ F apresenta paisagem descaracterizada com presença de solo exposto ou áreas com solo inconsolidado. São porções da cidade que apresentam baixa ou inexistente cobertura vegetal e estão localizadas, sobretudo, nos limites da mancha urbana densamente construída (Figura 77).

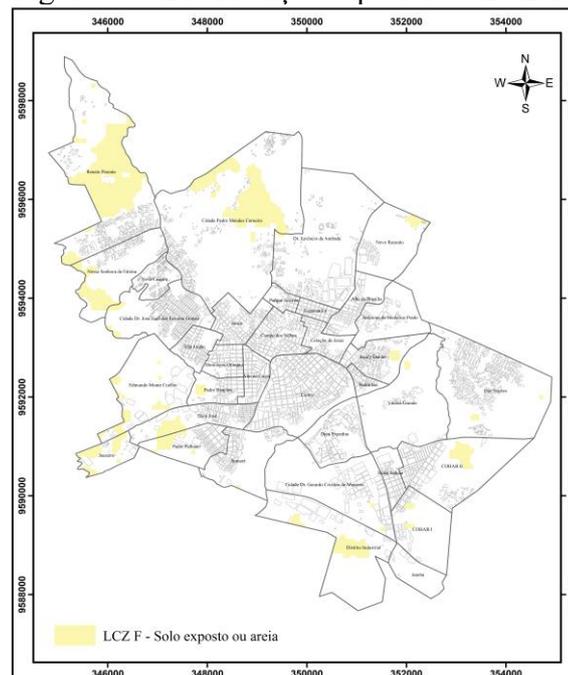
Figura 77 – Representação da LCZ F em Sobral/CE



Fonte: Google Earth. (1) Representação gráfica da LCZ. (2) Feição da LCZ F, visão vertical e oblíqua.

As áreas que apresentam maior espacialização dessa LCZ são representadas pelos bairros Renato Parente, Cidade Pedro Mendes Carneiro, Dom José, Nossa Senhora de Fátima, Distrito Industrial, Juazeiro e Cohab II (Figura 78).

Figura 78 - Distribuição espacial da LCZ F



Fonte: Elaborado pela autora.

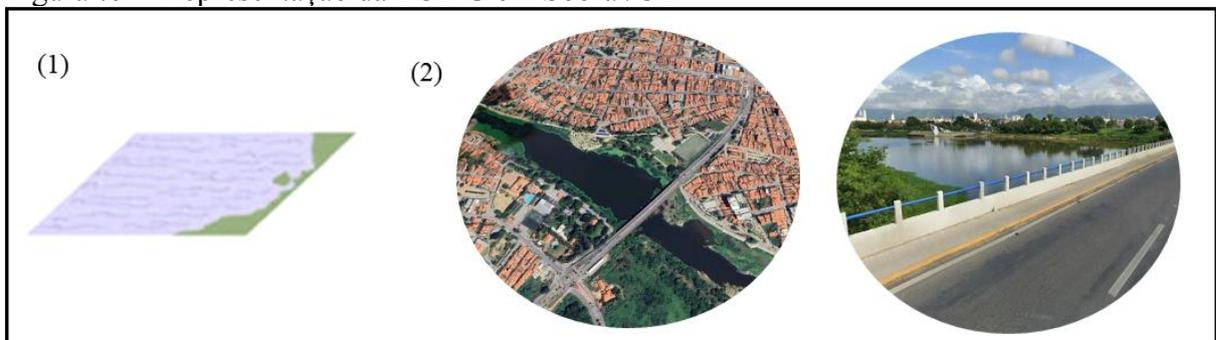
De modo geral, estas zonas apresentam como função primordial o desenvolvimento de atividades agrícolas. Nota-se que em Sobral, mesmo com o porte médio da cidade e uma urbanização cada vez mais latente, a existência de algumas feições associadas a agricultura, sobretudo nas porções nordeste e sudeste da cidade. Entretanto, o que prevaleceu foi a existência de solo exposto associado a zonas de expansão, visto, que durante o mapeamento diversas porções da paisagem estavam com modificações de sua cobertura vegetal e solo exposto, onde indicavam marcas na superfície relacionadas a estágios iniciais da construção de equipamentos urbanos voltados a moradia.

Considerando os aspectos térmicos dessa LCZ, observa-se que são zonas que contribuem para temperaturas mais elevadas no contexto urbano. Tais áreas são afetadas pela ação da radiação direta que a partir da condução do fluxo do calor sensível, promove maior aquecimento do solo e do ar (Silva *et al.*, 2011). Essas zonas são equiparadas do ponto de vista térmico com áreas impermeabilizadas.

#### 6.1.12 LCZ G – água

A LCZ G refere-se a existência de corpos d’água grandes e abertos, como mares e lagos, ou corpos pequenos, como rios, reservatórios e lagoas na paisagem da cidade. Tais feições contribuem de forma contudente com a amenização climática do seu entorno imediato e áreas adjacentes e se somados a cobertura vegetal e espaços abertos apresentam maiores potencialidades. As brisas geradas por esses espelhos d’água são capazes de formar microclimas com temperaturas que destonam de áreas densamente edificadas (Figura 79).

Figura 79 – Representação da LCZ G em Sobral/CE

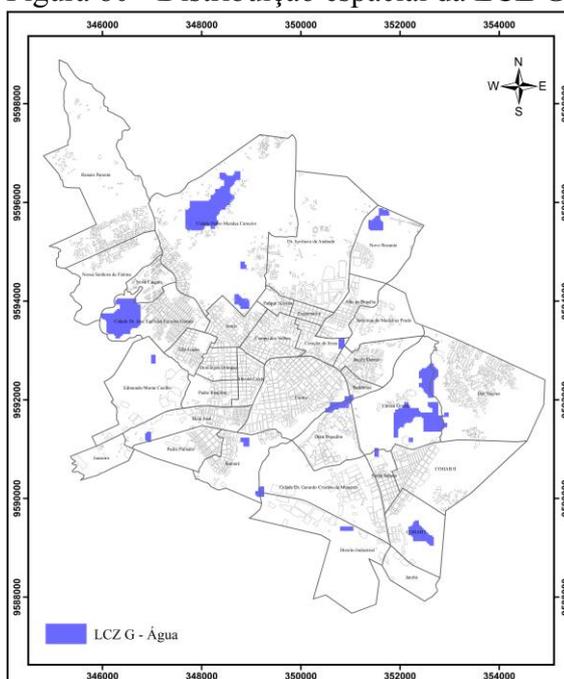


Fonte: Google Earth. (1) Representação gráfica da LCZ. (2) Feição da LCZ G, visão vertical e oblíqua.

Em Sobral, as zonas mais emblemáticas na visualização dessas feições são representadas pelos bairros Cidade Dr. José Euclides Ferreira Gomes (Açude Mucambinho),

Várzea Grande (Lagoa da Várzea Grande), Cidade Pedro Mendes Carneiro (Açude Cachoeiro e Açude do Javan) e Coração de Jesus (Lagoa da Fazenda). Algumas porções ao sul e nos bairros limítrofes ao Rio Acaraú também se destacam na espacialização dessa LCZ (Figura 80).

Figura 80 - Distribuição espacial da LCZ G



Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que os bairros densamente edificados não apresentam feições associadas a LCZ G, a saber, Alto do Cristo, Campos dos velhos, Domingos Olímpio, Expectativa, entre outros. Esses bairros apresentaram de modo geral baixa ou inexistente cobertura dos elementos que contribuem para a mitigação das temperaturas do ar, representadas pelas feições das LCZs A, B e G. O bairro Centro apesar de apresentar baixa cobertura das feições supracitadas, necessita de uma análise mais acurada visto que sua localização à margem esquerda do Rio Acaraú coloca a sua disposição os efeitos bioclimáticos da área de preservação permanente e das brisas advindas do rio.

## 7 DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS DA CIDADE E SUA RELAÇÃO COM AS CLASSES DO UC-ANMAP E DAS LCZS

A aplicação das metodologias UCMaP e LCZ evidenciou que a cidade de Sobral apresenta climatopos e zonas climáticas que apresentam padrões singulares quanto a distribuição da temperatura do ar. Essas metodologias, a priori, se apresentam de forma similares, haja vista que se propõem a caracterização do recinto urbano considerando o clima em escala local e os efeitos diretos de sua urbanização. Para esse estudo evidenciou-se que esses métodos são complementares, considerando que o UC-AnMap apresenta um dado com maior nível de detalhamento e permite trabalhar com variáveis dentro do modelo que interferem diretamente na distribuição da temperatura do ar e de superfície, com a indicação das áreas propensas a ocorrência de ilhas de calor. As LCZs, por sua vez, também apresentam a distribuição de áreas com semelhanças em suas temperaturas, porém assume um caráter mais regional, comparado ao UC-AnMap, e sua maior contribuição nas análises engendradas na tese perpassa pela caracterização da urbanização da cidade e seus efeitos sobre o clima local. Desse modo, a aplicação das duas metodologias permitiu uma maior acurácia do mapeamento e a identificação das condições do clima urbano para a cidade em estudo.

Todavia, mesmo que as metodologias de mapeamento tenham permitindo uma caracterização robusta do clima da cidade, estas não suprem a necessidade do levantamento em campo dos dados meteorológicos. Conforme Sant'Anna Neto (2013, p.87) a visualização das particularidades do clima urbano exige “a utilização de técnicas mais diretas, como os registros móveis dos elementos meteorológicos, ou a instalação de estações automáticas em locais apropriados”.

Nesse sentido, a fim de compreender o comportamento da temperatura do ar em Sobral, realizou-se atividades de campo para a aplicação de transectos móveis, visto que durante a pesquisa foi constatado que não havia disponibilidade de estações meteorológicas para a cidade. As campanhas de campo tiveram por objetivo avaliar o comportamento da temperatura do ar em diferentes zonas da cidade e em variados tipos de tempo, período seco e chuvoso. O trajeto percorrido buscou abarcar áreas representativas da cidade, tendo por base os mapas de classificação da paisagem urbana e considerando, também, as dificuldades de deslocamento e limitações da equipe de campo.

Os dados levantados em campo passaram por um tratamento estatístico inicial a partir do uso dos *softwares* Excel e IBM SPSS, tanto na fase de organização quanto na geração dos *outputs* relacionados a distribuição dos dados e as estatísticas descritivas da

amostra. Para a espacialização das temperaturas e a análise de correlação com as classificações, utilizou-se o *software* ArcGis 10.4.

Grosso modo, a análise dos dados de campo revelou um padrão de distribuição das temperaturas do ar muito semelhante aos resultados inferidos no mapa climático urbano e nas LCZs. Nota-se que o centro urbano se destaca na concentração das maiores temperaturas da cidade, juntamente com alguns bairros periféricos mais adensados. Em relação as baixas temperaturas, observa-se que estas estão dispostas nas áreas vegetadas, menos adensadas e que sofrem influência de algum elemento natural que favorece o arrefecimento.

### 7.1 Análise estatística dos dados coletados no período seco

A estatística descritiva dos dados do período seco revelou que as duas coletas obtiveram dados muito semelhantes, haja vista que foram realizadas sob as mesmas condições ambientais e climáticas. Os dados obtidos para episódios de inverno/primavera, que corresponde ao período seco da região semiárida cearense, apresentaram uma amplitude térmica muito baixa, ou seja, as diferenças encontradas entre os valores máximos e mínimos foram pequenas. Este fato se comprova também pela análise do desvio padrão e da variância, que destacam a baixa variação dos dados em relação à média de temperatura observada na amostra.

Para a coleta 1 que foi realizada no dia 12/11 às 21 horas, sob condições estáveis de tempo, a temperatura mínima e máxima observada, respectivamente, foi de 27.4°C e 28.5°C, representando uma amplitude térmica de 1,1°C. A média de temperatura do ar observada para a coleta 1 foi de 27,9°C. Como referido a amostra apresentou baixa variação dos dados, isto se comprova pelo dado de variância que foi de 0,07 e pelo desvio padrão que foi de 0,27. (Quadro 6).

Quadro 6 – Estatística descritiva dos dados coletados no período seco

Descriptives			
		Statistic	Std. Error
Coleta 1	Mean	27,9198	0,02933
	Median	28,0000	
	Variance	0,078	
	Std. Deviation	0,27977	
	Minimum	27,40	
	Maximum	28,50	
	Range	1,10	
Coleta 2	Mean	27,8824	0,03092
	Median	27,9000	
	Variance	0,087	

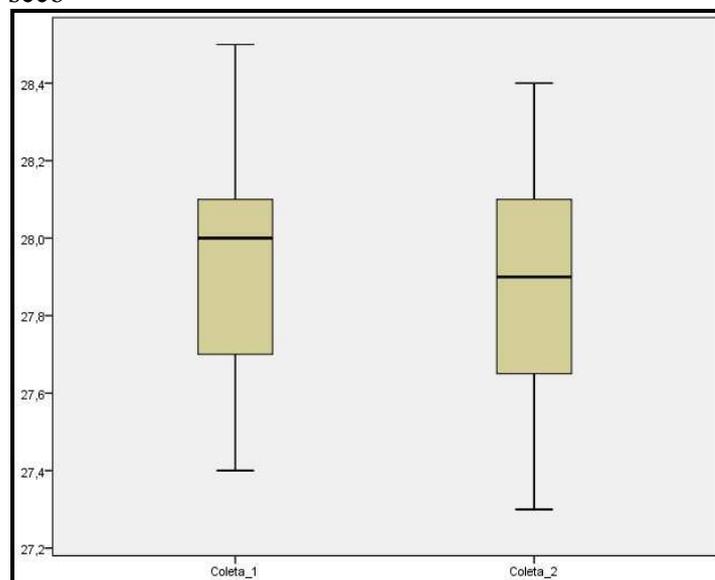
	Std. Deviation	0,29499	
	Minimum	27,30	
	Maximum	28,40	
	Range	1,10	

Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

A coleta 2 efetuada no dia 13/11 e executada sob condições atmosféricas semelhantes ao dia anterior, constatou temperaturas similares a coleta 1, onde a mínima e a máxima foi de 27.3°C e 28.4°C, respectivamente. Comparando as duas coletas, nota-se que os dados da coleta 2 obtiveram maior variação, mesmo que em baixa escala, isso se comprova pela variância de 0,08 e o desvio padrão de 0,29. Entretanto, quando comparamos os demais dados, observa-se que as duas coletas apresentaram a mesma amplitude térmica de 1.1°C e uma média de temperatura do ar de 27.9°C.

A análise do gráfico bloxplot evidenciou que a maioria dos dados coletados na amostra 1 se apresentaram abaixo da média geral observada. Para a coleta 2, os dados se apresentaram de forma proporcional, tendo uma leve elevação para valores abaixo da média (Gráfico 18).

Gráfico 18 – Bloxplot da temperatura do ar no período SECO



Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

O gráfico bloxplot evidenciou ainda que houve uma inversão dos valores máximos e mínimos para os dois dias de coleta, ou seja, no dia 1, a temperatura máxima observada foi mais elevada e a mínima foi mais baixa, se comparada com o dia 2, neste se observou uma relação inversa.

Em relação aos valores extremos máximos e mínimos e sua localização, observa-se que para a coleta 1, os pontos de maior temperatura foram o 35, 36, 37, 10 e 45, sendo o primeiro ponto o de maior valor e os demais apresentaram decréscimo de temperatura. Em relação aos pontos com menor temperatura para essa coleta, temos o 91, 90, 89, 88 e o 87, esses pontos se referem aos extremos, mas se considerarmos isoladamente o 87, veremos que outras áreas estão associadas a mesma temperatura observada nesse ponto (Quadro 7).

Quadro 7 – Valores extremos de temperatura do ar (°C) para o período seco

Extreme Values				
			Case Number	Value
Coleta 1	Highest	1	35	28,50
		2	36	28,50
		3	37	28,50
		4	10	28,30
		5	45	28,30
	Lowest	1	91	27,40
		2	90	27,40
		3	89	27,40
		4	88	27,40
		5	87	27,40 <sup>a</sup>
Coleta 2	Highest	1	9	28,40
		2	10	28,40
		3	35	28,40
		4	36	28,40
		5	37	28,40 <sup>b</sup>
	Lowest	1	88	27,30
		2	87	27,30
		3	86	27,30
		4	80	27,30
		5	79	27,30
a. Only a partial list of cases with the value 27,40 are shown in the table of lower extremes.				
b. Only a partial list of cases with the value 28,40 are shown in the table of upper extremes.				

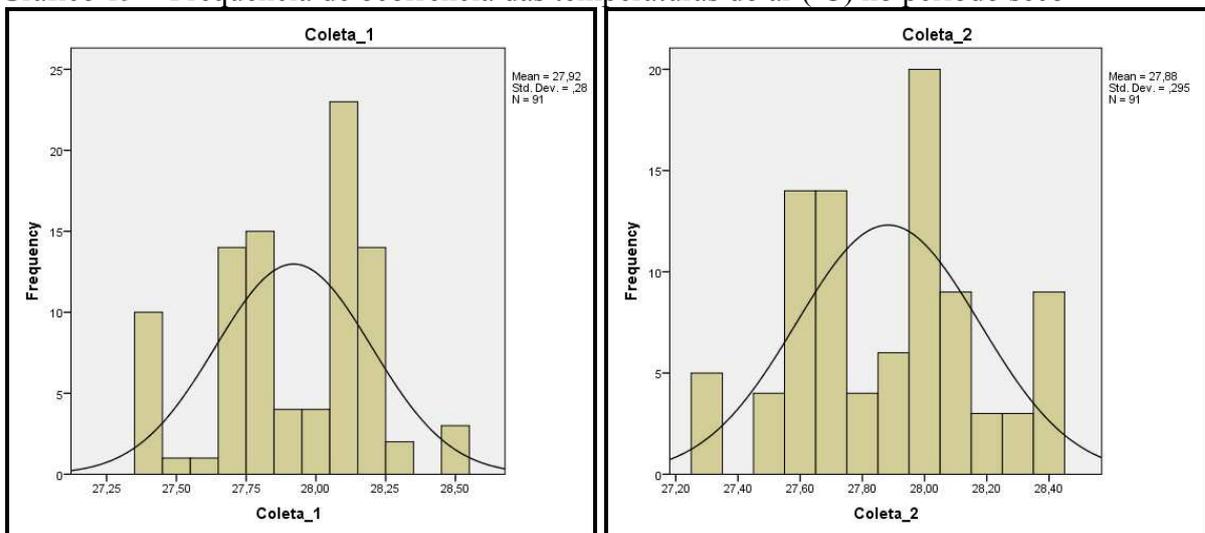
Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

No que se refere a coleta 2, nota-se que as temperaturas mais elevadas foram observadas nos pontos 9, 10, 35, 36 e 37, sendo que neste último outros pontos também apresentam a mesma temperatura do ar. As temperaturas mais amenas foram observadas nos pontos 88, 87, 86, 80 e 79. Nota-se que essas informações são cruciais para entender os pontos que estavam mais aquecidos e os menos aquecidos, sendo que estas discussões se darão nos próximos tópicos do trabalho.

Ao analisar a frequência de valores dos pontos da coleta 1, observa-se que as temperaturas do ar mais frequentes foram as que apresentaram 28,1°C (encontrada em 23

pontos), 27,8°C (encontrada em 15 pontos), 27,7°C (encontrada em 14 pontos), 28,3 °C (encontrada em 14 pontos) e 27,4 °C (encontrada em 10 pontos). Para a coleta do dia 2, as temperaturas mais frequentes foram as de 28°C (encontrada em 20 pontos), 27,7°C (encontrada em 14 pontos) e 27,6 (encontrada em 14 pontos). Por meio dos histogramas e considerando que a média observada para as amostras se encontram superior aos valores do desvio padrão podemos afirmar ainda que o banco de dados apresenta normalidade na distribuição dos dados (Gráfico 19 e Quadro 8).

Gráfico 19 – Frequência de ocorrência das temperaturas do ar (°C) no período seco



Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

Quadro 8 – Descrição da frequência das temperaturas do ar (°C) no período seco

Coleta 1				Coleta 2			
		Frequency	Percent			Frequency	Percent
Valid	27,40	10	11,0	Valid	27,30	5	5,5
	27,50	1	1,1		27,50	4	4,4
	27,60	1	1,1		27,60	14	15,4
	27,70	14	15,4		27,70	14	15,4
	27,80	15	16,5		27,80	4	4,4
	27,90	4	4,4		27,90	6	6,6
	28,00	4	4,4		28,00	20	22,0
	28,10	23	25,3		28,10	9	9,9
	28,20	14	15,4		28,20	3	3,3
	28,30	2	2,2		28,30	3	3,3
	28,50	3	3,3		28,40	9	9,9
	Total	91	100,0		Total	91	100,0

Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

## 7.2 Análise estatística dos dados coletados no período chuvoso

O segundo campo da pesquisa foi realizado durante o verão/outono, representando o período chuvoso da região em estudo. Em comparação com os dados coletados no período

seco, observa-se que a amostra apresentou maior variabilidade em relação a média geral da coleta, isto se apresenta a partir dos maiores valores de desvio padrão e variância. Em relação as temperaturas, observa-se que para o período chuvoso os gradientes mínimos e máximos foram maiores, resultando em amplitudes térmicas mais elevadas. Nota-se também que as médias de temperatura foram consideravelmente mais baixas. Tais aspectos se devem a maior instabilidade da atmosfera nesse período do ano e a ocorrência de eventos que favorecem a diminuição da temperatura do ar.

A coleta 1, realizada no dia 20 de maio de 2022, às 18h, apresentou dados de temperatura do ar que variaram entre 26.5°C e 28.7°C, revelando uma amplitude térmica igual a 2,2°C. A média de temperatura dessa amostra foi igual a 27.5°C. A alta variabilidade dos dados pode ser confirmada a partir dos valores de variância que foi igual 0,2 e do desvio padrão que foi de 0,5. A coleta 2, realizada no mesmo dia às 21h, revelou a maior amplitude térmica de todas as coletas, tendo como temperaturas, mínima e máxima, valores que variaram entre 25.3°C e 28.8°C. A temperatura média desse transecto foi de 26.7°C e a amplitude térmica foi de 3.5°C (Quadro 9). A distribuição dos dados térmicos entre os pontos revelou um padrão de baixas temperaturas ao longo do trajeto, alta variabilidade dos dados e maior amplitude térmica, se comparadas ao período seco.

Quadro 9 – Estatística descritiva dos dados coletados no período chuvoso (coletas 1 e 2)

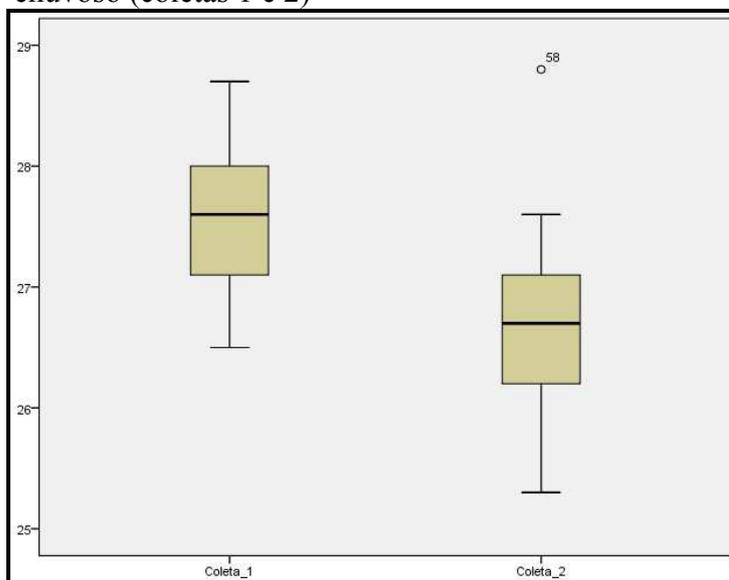
<b>Descriptives</b>			
		Statistic	Std. Error
Coleta 1	Mean	27,5571	0,05729
	Median	27,6000	
	Variance	0,299	
	Std. Deviation	0,54653	
	Minimum	26,50	
	Maximum	28,70	
	Range	2,20	
Coleta 2	Mean	26,7033	0,05982
	Median	26,7000	
	Variance	0,326	
	Std. Deviation	0,57066	
	Minimum	25,30	
	Maximum	28,80	
	Range	3,50	

Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

A análise do bloxplot revelou que os valores da amostra total se encontram em sua maioria próximos aos valores médios observados para as duas coletas. Nota-se que a coleta 1 realizada às 18 h apresentou valores de temperaturas mais elevados, se comparados a coleta 2.

Todavia, na amostra 2, encontramos maior amplitude térmica, justificada pela expansão dos extremos de baixa temperatura. No gráfico 20 é possível observar que a coleta 2 apresentou um ponto *outlier*, que se refere a um dado que se diferencia bruscamente do padrão geral da amostra, estes dados necessitam de uma análise mais acurada para definir se representa um erro de coleta ou se consiste em uma situação de exceção identificada durante o campo. Este *outlier* equivale ao ponto 58, que apresentou uma temperatura de 28,8°C, diferentemente do padrão observado para os pontos circundantes. Tendo em vista a identificação de somente um ponto controverso, optou-se por avaliar geograficamente a sua ocorrência para identificar os motivos de tal padrão.

Gráfico 20 – Bloxplot da temperatura do ar no período chuvoso (coletas 1 e 2)



Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

Em relação aos valores máximos e mínimos observados nas coletas, verificou-se para a coleta 1 que os pontos 36, 46, 35, 11 e 37 apresentaram os extremos de maior temperatura, e os pontos 23, 22, 21, 20 e 91 se consolidaram como os pontos de menor temperatura. Observa-se com base no quadro 10, que parte desses pontos formam zonas de baixa ou alta temperatura do ar. Do mesmo modo, para a coleta 2, os pontos de maior temperatura foram os 58, 45, 46, 47 e 50, e os de menor temperatura foram o 91, 2, 90, 89 e o 5. Convém delinear que comparando as duas coletas, somente o ponto 46 e o ponto 91 permaneceram com alta e baixa temperatura, respectivamente, nos dois horários das amostras.

Quadro 10 – Valores extremos de temperatura do ar (°C) para o período chuvoso (coletas 1 e 2)

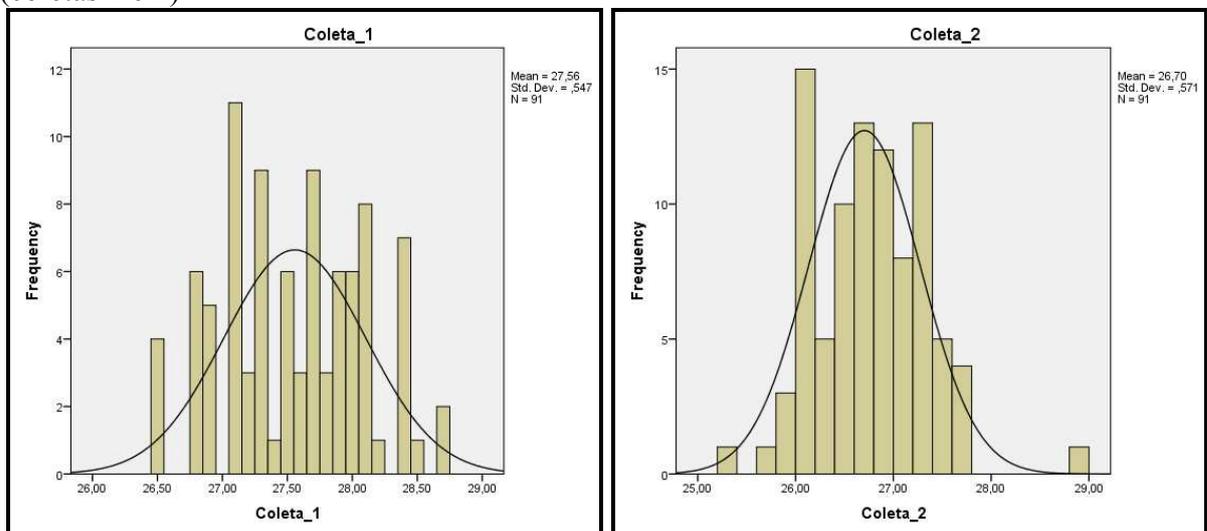
Extreme Values				
		Case Number	Value	
Coleta 1	Highest	1	36	28,70
		2	46	28,70
		3	35	28,50
		4	11	28,40
		5	37	28,40 <sup>a</sup>
	Lowest	1	23	26,50
		2	22	26,50
		3	21	26,50
		4	20	26,50
		5	91	26,80 <sup>b</sup>
Coleta 2	Highest	1	58	28,80
		2	45	27,60
		3	46	27,60
		4	47	27,60
		5	50	27,60
	Lowest	1	91	25,30
		2	2	25,70
		3	90	25,80
		4	89	25,80
		5	5	25,80

a. Only a partial list of cases with the value 28,40 are shown in the table of upper extremes.  
 b. Only a partial list of cases with the value 26,80 are shown in the table of lower extremes.

Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

O histograma apresentado pelo gráfico 21 demonstra a normalidade na distribuição dos dados e revela quais foram os valores de temperatura mais frequentes. Para as coletas 1 e 2, verifica-se a baixa predominância de valores recorrentes de temperatura.

Gráfico 21 – Frequência de ocorrência das temperaturas do ar (°C) no período chuvoso (coletas 1 e 2)



Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

Observa-se que devido à alta variabilidade dos dados decorrente das condições atmosféricas predominantes, poucos valores irão se repetir de forma acentuada. Para a coleta 1 destaca-se somente a temperatura de 27,1°C, pois esta esteve presente em 11 pontos da cidade. Já para a coleta 2, destaca-se a temperatura de 27,3°C que esteve associada a 10 pontos na paisagem urbana de Sobral (Quadro 11).

Quadro 11 – Descrição da frequência das temperaturas do ar (°C) no período chuvoso (coletas 1 e 2)

Coleta 1				Coleta 2			
		Frequency	Percent			Frequency	Percent
Valid	26,50	4	4,4	Valid	25,30	1	1,1
	26,80	6	6,6		25,70	1	1,1
	26,90	5	5,5		25,80	3	3,3
	27,10	11	12,1		26,00	9	9,9
	27,20	3	3,3		26,10	6	6,6
	27,30	9	9,9		26,20	5	5,5
	27,40	1	1,1		26,40	3	3,3
	27,50	6	6,6		26,50	7	7,7
	27,60	3	3,3		26,60	8	8,8
	27,70	9	9,9		26,70	5	5,5
	27,80	3	3,3		26,80	6	6,6
	27,90	6	6,6		26,90	6	6,6
	28,00	6	6,6		27,00	8	8,8
	28,10	8	8,8		27,20	3	3,3
	28,20	1	1,1		27,30	10	11,0
	28,40	7	7,7		27,40	5	5,5
	28,50	1	1,1		27,60	4	4,4
	28,70	2	2,2		28,80	1	1,1
Total	91	100,0	Total	91	100,0		

Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

As coletas 3 e 4, realizadas no dia 21 de maio de 2022 às 18h e 21h, respectivamente, foram as mais representativas do período chuvoso, tendo em vista que ocorreram chuvas consideráveis nesse dia. As temperaturas durante a coleta 3, às 18h variaram entre 25,3°C e 28,1°C, evidenciando uma amplitude térmica de 2,8°C. A temperatura média observada para o percurso foi de 26,9°C. Ao comparar os dados dessa coleta com os dados da coleta do dia anterior no mesmo horário, nota-se a diminuição dos valores das temperaturas mínimas, máximas e médias e o aumento da amplitude térmica (Quadro 12).

Quadro 12 – Estatística descritiva dos dados coletados no período chuvoso (coletas 3 e 4)

Descriptives			
		Statistic	Std. Error
Coleta 3	Mean	26,9659	0,06858
	Median	27,3000	

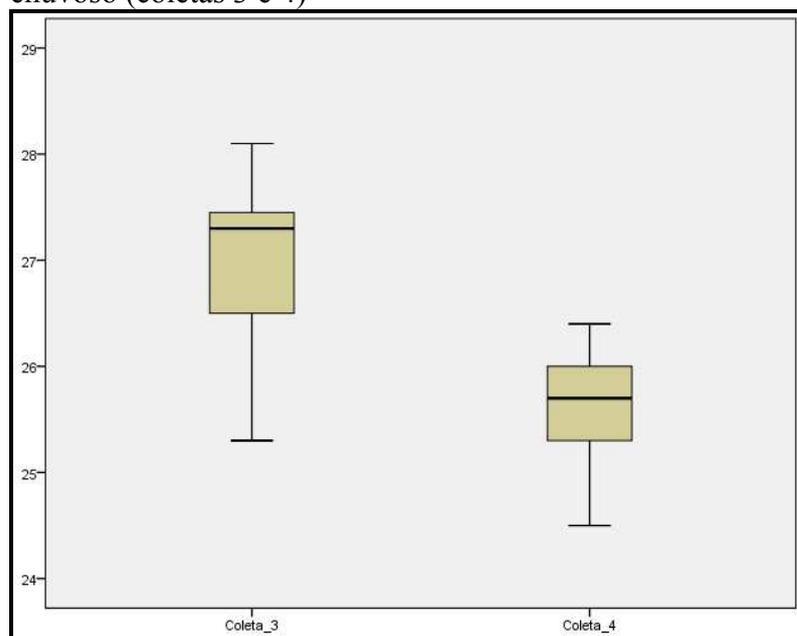
	Variance	0,428	
	Std. Deviation	0,65425	
	Minimum	25,30	
	Maximum	28,10	
	Range	2,80	
Coleta 4	Mean	25,6143	0,04863
	Median	25,7000	
	Variance	0,215	
	Std. Deviation	0,46394	
	Minimum	24,50	
	Maximum	26,40	
	Range	1,90	

Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

Ao avaliar a coleta 4 nota-se que os valores de temperatura encontrados variaram entre 24.5°C e 26.4°C, correspondendo a uma amplitude térmica de 1.9°C, o menor valor encontrado nas coletas do período chuvoso. Em relação a temperatura média, observou-se o valor de 25.6°C, também a mais baixa temperatura média das amostras analisadas. Ao comparar os dados com a coleta do dia anterior para o mesmo horário, nota-se que a variação dos dados foi mais baixa e os gradientes de temperaturas menos elevados.

O gráfico 22 apresenta o bloxplot dos dados de temperatura das coletas 3 e 4, onde pode-se observar que os dados da amostra 3 foram em sua maioria valores abaixo da média geral observada. Já para a coleta 4, observa-se que os dados estão bem distribuídos, com um leve aumento das observações abaixo da média.

Gráfico 22 – Bloxplot da temperatura do ar no período chuvoso (coletas 3 e 4)



Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

Considerando os valores extremos observados para a coleta 3, destacam-se os pontos 1, 6, 8, 9 e 10 como os de maior temperatura do ar, por outro lado, os pontos 91, 90, 89, 88 e 87 foram os que apresentaram menores valores de temperatura. Para a coleta 4 destacam-se como pontos de maior temperatura o 39, 31, 37, 38 e 40 e os valores mais baixos foram visualizados nos pontos 91, 90, 89, 88 e 87 (Quadro 13). Comparando os dados com as demais coletas, podemos inferir, grosso modo, que os pontos de maior aquecimento da cidade são mais variáveis do que os de maior resfriamento, haja vista, que na maioria dos transectos a parte final do trajeto se configura como uma região de baixas temperaturas do ar.

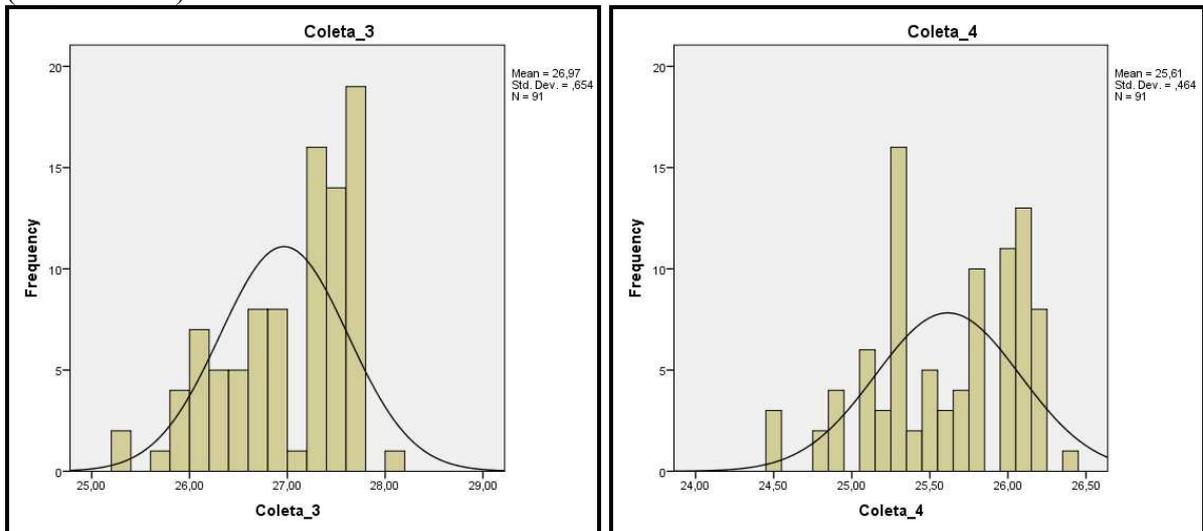
Quadro 13 – Valores extremos de temperatura do ar (°C) para o período chuvoso (coletas 3 e 4)

Extreme Values				
		Case Number	Value	
Coleta 3	Highest	1	1	28,10
		2	6	27,70
		3	8	27,70
		4	9	27,70
		5	10	27,70 <sup>a</sup>
	Lowest	1	91	25,30
		2	90	25,30
		3	89	25,60
		4	88	25,80
		5	87	25,80 <sup>b</sup>
Coleta 4	Highest	1	39	26,40
		2	31	26,20
		3	37	26,20
		4	38	26,20
		5	40	26,20 <sup>c</sup>
	Lowest	1	91	24,50
		2	90	24,50
		3	89	24,50
		4	88	24,80
		5	87	24,80
a. Only a partial list of cases with the value 27,70 are shown in the table of upper extremes. b. Only a partial list of cases with the value 25,80 are shown in the table of lower extremes. c. Only a partial list of cases with the value 26,20 are shown in the table of upper extremes.				

Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

O histograma revela que a base de dados das coletas 3 e 4 apresenta normalidade, assim como os demais dados utilizados no trabalho. Em relação a frequência dos valores de temperatura para a coleta 3, observa-se o predomínio dos valores de 27,3°C, presentes em 12 pontos, 24,4°C, encontrados em 11 pontos, e 27,6°C, visualizados em 10 pontos da cidade (Gráfico 23 e Quadro 14).

Gráfico 23 – Frequência de ocorrência das temperaturas do ar (°C) no período chuvoso (coletas 3 e 4)



Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

Já em relação a coleta 4, observa-se que os dados obtiveram menor variabilidade, com destaque para as temperaturas iguais a 25,3°C, visualizadas em 16 pontos, 26,1°C, encontradas em 13 pontos, 26°C, presentes em 11 pontos, e por fim, 25,8°C, presentes em 10 pontos da cidade (Quadro 14).

Quadro 14 – Descrição da frequência das temperaturas do ar (°C) no período chuvoso (coletas 3 e 4)

Coleta 3				Coleta 4			
		Frequency	Percent			Frequency	Percent
Valid	25,30	2	2,2	Valid	24,50	3	3,3
	25,60	1	1,1		24,80	2	2,2
	25,80	4	4,4		24,90	4	4,4
	26,00	5	5,5		25,10	6	6,6
	26,10	2	2,2		25,20	3	3,3
	26,20	3	3,3		25,30	16	17,6
	26,30	2	2,2		25,40	2	2,2
	26,40	2	2,2		25,50	5	5,5
	26,50	3	3,3		25,60	3	3,3
	26,60	4	4,4		25,70	4	4,4
	26,70	4	4,4		25,80	10	11,0
	26,80	3	3,3		26,00	11	12,1
	26,90	5	5,5		26,10	13	14,3
	27,00	1	1,1		26,20	8	8,8
	27,20	4	4,4		26,40	1	1,1
	27,30	12	13,2		Total	91	100,0
	27,40	11	12,1				
	27,50	3	3,3				
	27,60	10	11,0				
	27,70	9	9,9				
28,10	1	1,1					
Total	91	100,0					

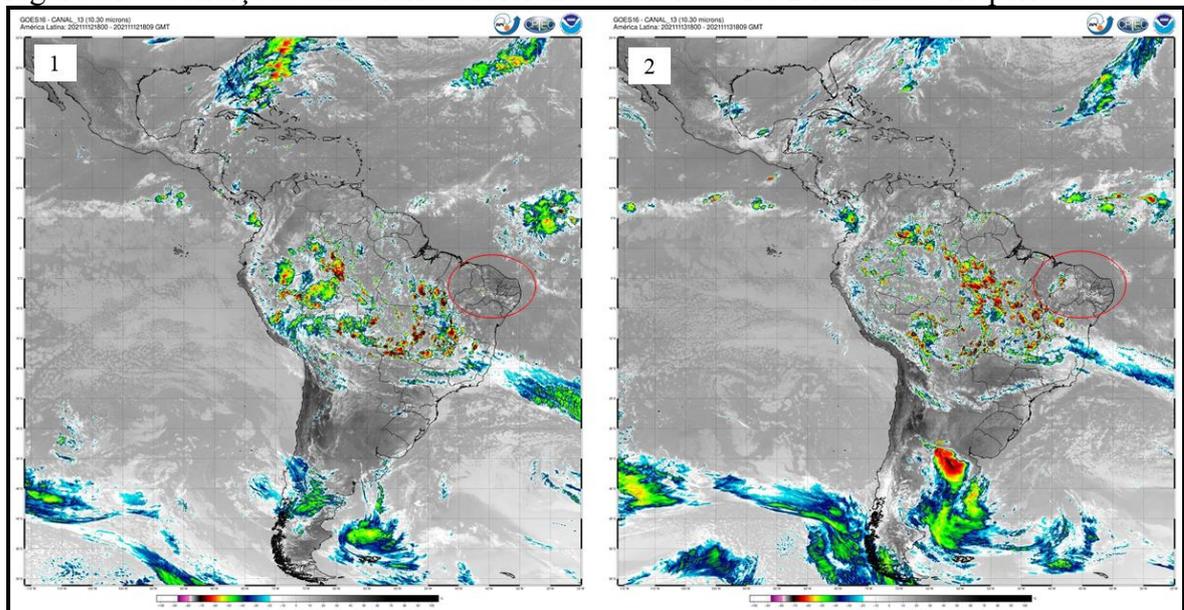
Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

### 7.3 Correlação dos dados microclimáticos com as classes identificadas no UC-AnMap e nas LCZs

Os dados meteorológicos consistem em informações climáticas que não variam somente pelos aspectos do clima local e sua relação com o recinto urbano, estes são influenciados fortemente pela dinâmica regional da atmosfera. Desse modo, convém explicitar as condições atmosféricas do tempo durante as coletas realizadas para o período seco e chuvoso em Sobral.

Para o período seco, optou-se pela realização das coletas durante o mês de novembro, visto que nesse período do ano observa-se aspectos representativos da estação seca, onde predomina a estabilidade do tempo. Considerando os transectos realizados nesse período constatou-se a estabilidade atmosférica, sem ocorrência de acumulados de precipitação na cidade. Observa-se a nível regional a ocorrência de fenômenos de divergência de umidade que provocou chuvas importantes para as porções oeste e norte do estado do Piauí e a região da Ibiapiaba, no Ceará, essas condições favoreceram o incremento de uma maior nebulosidade diurna na cidade, sobretudo no período da tarde do segundo dia de coleta (Figura 81).

Figura 81 – Condições atmosféricas referentes as coletas 1 e 2 realizadas no período seco

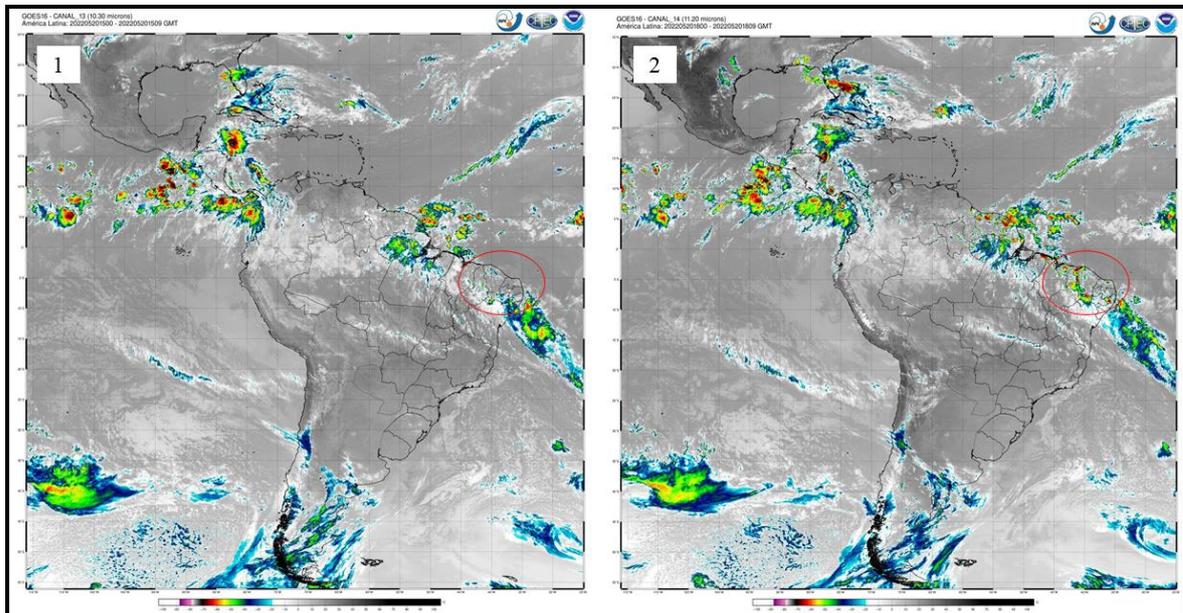


Fonte: CPTEC/INPE. Imagens Goes – 16, canal 13. (1) Imagem orbital do dia 12/11/2021 às 18h (UTC), demonstrando a estabilidade do tempo para Sobral. (2) Imagem orbital do dia 13/11/2021 às 18h (UTC), demonstrando a estabilidade do tempo em Sobral, porém com a ocorrência de nebulosidade devido a influência da divergência de umidade visualizada no limite CE e PI.

Na ocasião, foram realizados transectos experimentais em outros dois horários, às 6 horas e às 15 horas, correspondendo, respectivamente, a um horário representativo do aquecimento inicial da atmosfera e outro representando a atmosfera já aquecida. Entretanto, devido as condições de clima semiárido os dados obtidos nesses horários foram desconsiderados para a análise, haja vista que a alta quantidade de radiação incidente sobre o ambiente analisado prejudicou as coletas nos horários supracitados, gerando dados inconsistentes. Desse modo, optou-se por utilizar somente os dados das coletas às 21h, para o período seco.

Para o período chuvoso, o campo foi realizado em maio, visto que esse mês se encontra dentro da faixa denominada quadra chuvosa, representada pelos meses de maior expressividade pluviométrica para a região. Nesse período a região fica sob influência do principal sistema atmosférico gerador de chuvas do nordeste brasileiro, a zona de convergência intertropical (ZCIT). Na figura 82 e 83, observa-se a atuação da ZCIT sobre a porção norte do Brasil, com destaque para o estado do Ceará. Essas condições atmosféricas se materializaram em Sobral a partir da ocorrência de precipitação no período diurno, visto que durante as coletas tanto às 18h quanto às 21h, não houve episódios de precipitação.

Figura 82 – Condições atmosféricas referentes as coletas 1 e 2 realizadas no período chuvoso



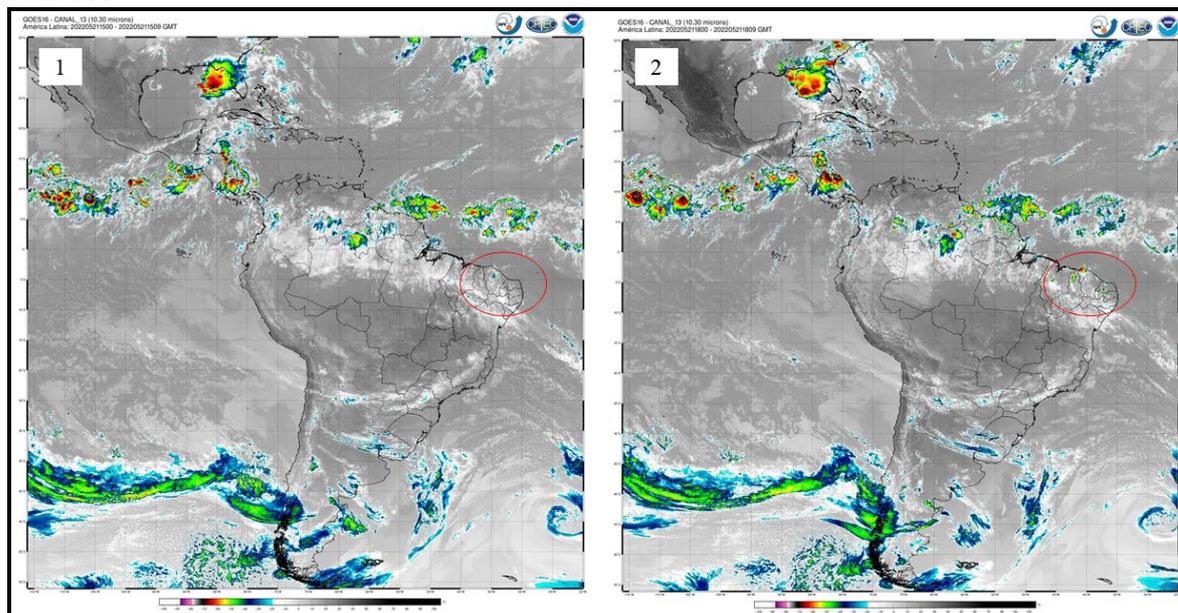
Fonte: CPTEC/INPE. Imagens Goes – 16, canal 13. (1) Imagem orbital do dia 20/05/2022 às 15h (UTC). (2) Imagem orbital do dia 20/05/2021 às 18h (UTC). Nas imagens observa-se a atuação da ZCIT sobre toda a porção Norte e Nordeste do Brasil, trazendo instabilidade do tempo atmosférico.

Para o primeiro dia de coleta (20/05), observou-se ocorrência de chuvas isoladas sem intensidade para a cidade de Sobral, tal aspecto pode ser constatado através dos postos

pluviométricos distribuídos no contexto urbano da cidade, a exemplo do posto Sinhá Sabóia que identificou um acumulado de 0.1 milímetros. Todavia, ao observar o contexto municipal verifica-se que nesse dia ocorreu o maior acumulado de precipitação entre os dias de campo, a saber, 43.1 milímetros (FUNCEME, 2023). Já no segundo dia de coleta (21/05) constatou-se maior acumulado de chuvas para a cidade de Sobral, haja vista que se verificou em campo precipitação durante o dia inteiro, tal fato se justifica também pelo acumulado identificado pelo posto Sinhá Sabóia, com totais pluviométricos de 1.6 milímetros. Entretanto, ao observar os totais pluviométricos a nível de município, observa-se acumulados significativamente menores que o dia anterior, a saber, 9,6 milímetros.

Como as coletas se deram em uma escala local/microclimática, observa-se que as maiores interferências nos dados da temperatura do ar estão relacionadas a ocorrência de precipitação na escala da cidade, isso pode ser identificado nos valores de temperatura coletados e na variabilidade dos dados entre os dias de maior e menor precipitação.

Figura 83 – Condições atmosféricas referentes as coletas 3 e 4 realizadas no período chuvoso

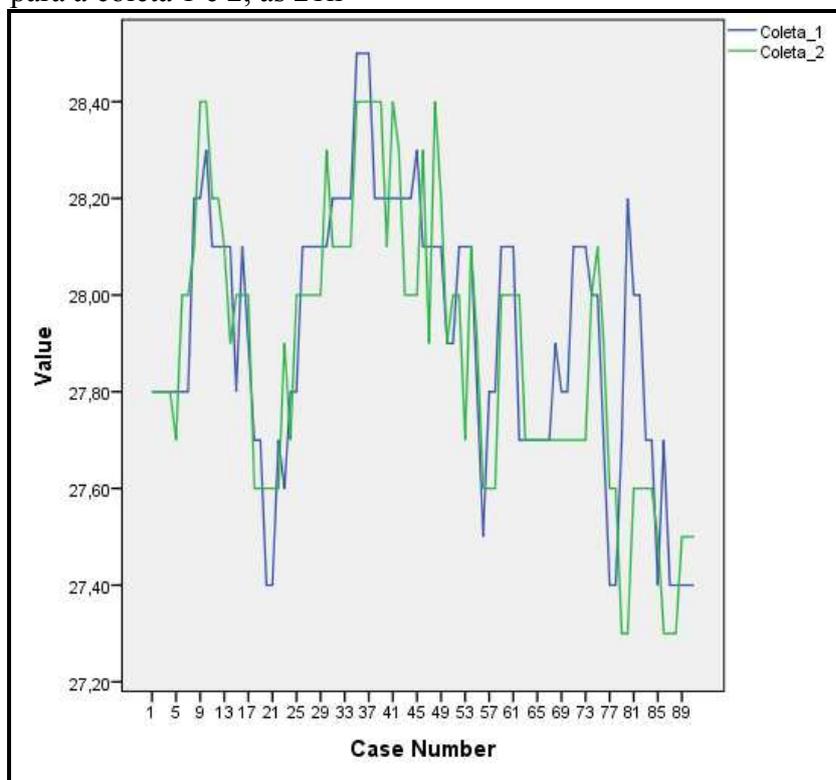


Fonte: CPTEC/INPE. Imagens Goes – 16, canal 13. (1) Imagem orbital do dia 21/05/2022 às 15h (UTC). (2) Imagem orbital do dia 21/05/2022 às 18h (UTC). Nas imagens observa-se a localização da ZCIT próxima a porção Norte e Nordeste do Brasil, com atuação reduzida se comparada ao dia anterior.

De base dessas informações e da análise estatística dos dados, plotamos as temperaturas do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) em gráficos para melhor visualizar a distribuição destas ao longo dos pontos e, posteriormente, correlacionamos o dado do transecto com as feições observadas nos mapeamentos do UC-AnMap e da LCZ. Para o campo representativo do período seco (Figura 84), a análise estatística revelou a baixa variabilidade dos dados considerando a amostra total

coletada, contudo ao espacializar as informações nos gráficos e mapas nota-se uma variação considerável entre um ponto e outro ao longo do percurso, isto se deve as características da morfologia urbana e aos tipos de cobertura e usos estabelecidos. No gráfico 24 é possível observar que as áreas de maior densidade construtiva se apresentaram com temperaturas do ar mais elevadas e as áreas com menores temperaturas do ar foram visualizadas em pontos com maior influência de fatores que favorecem o arrefecimento urbano, como áreas vegetadas, próximas a corpos hídricos e com maiores altitudes, etc.

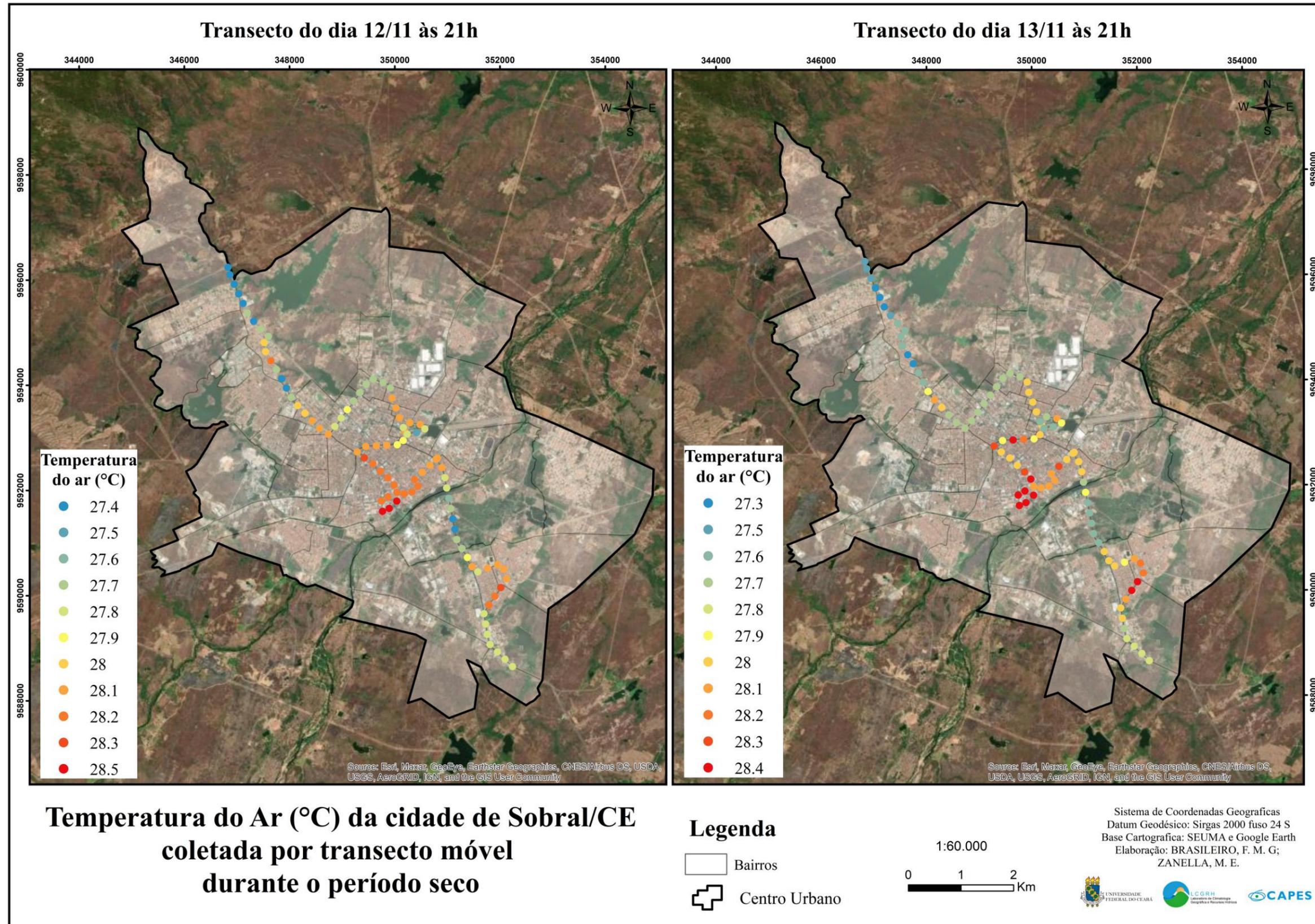
Gráfico 24 – Distribuição da temperatura do ar no período seco para a coleta 1 e 2, às 21h



Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

Como mencionado a classificação LCZ apresentou a tendência para a formação de extensas zonas sobretudo em relação as LCZ 3 e LCZ 8<sub>10</sub>, visto que são feições muito recorrentes na paisagem de Sobral. Isto pode ser observado sobretudo nas áreas mais urbanizadas, haja vista que são porções da cidade que apresentam maior homogeneidade da paisagem. Comparando esses dados com o mapeamento UC-AnMap observa-se que este apresentou maior variação entre os pontos, indicando que mesmo dentro de zonas termicamente homogêneas fatores ambientais e/ou urbanísticos podem contribuir para uma diferenciação térmica importante.

Figura 84 – Temperatura do ar da cidade de Sobral no período seco



Fonte: Elaborado pela autora.

O início dos transectos realizados durante o período seco representados pelos pontos 1 a 4, apresentaram os climatopos 3 a 7 e as LCZs  $C_d$  e  $8_{10}$ , essa área apresenta baixa densidade construtiva, estando mais associada a ocorrência de vegetação natural de baixa densidade e a existência de grandes galpões. Somado a isso, observa-se a existência de uma importante via de acesso a cidade de Sobral, com intensa movimentação de carros de passeio e de cargas. Do ponto de vista térmico é uma região que apresenta condições favoráveis ao arrefecimento, porém com uma leve tendência a ocorrência de temperaturas mais elevadas, representada pelo climatopo 7. Tais aspectos podem ser confirmados a partir dos dados observados em campo, onde a temperatura do ar visualizada entre esses pontos foi de  $27.8^{\circ}\text{C}$ , ou seja, um valor próximo da média geral observada para o transecto. Estes dados são essenciais para entender o que se sucede nos pontos 5 a 17, onde visualizamos um alto contraste com essa realidade.

Os pontos 5 a 17, compreendem as LCZs  $8_{10}$ , 3,  $C_d$  e os climatopos 3 a 7, isso implica dizer que essa área da cidade apresenta um padrão construtivo horizontal denso, com áreas que estão associadas a temperaturas mais elevadas, embora também apresente um potencial de arrefecimento positivo devido aos poucos remanescentes de cobertura vegetal. Essa área situa-se nos limites entre os bairros periféricos ao sul da cidade de Sobral, a saber, Sinhá Sabóia, Cohab I e Cohab II. Esse trecho do transecto apresentou temperaturas do ar elevadas nas duas coletas, com valores que variaram entre  $27.8^{\circ}\text{C}$  e  $28.4^{\circ}\text{C}$ , portanto, valores acima da média observada para as duas coletas. Um destaque importante deu-se no segundo dia de coleta, onde percebe-se a concentração de temperaturas mais elevadas que o dia anterior, isto deve-se ao fato de que na coleta de sábado (13/11), havia maior movimentação de pessoas nas ruas e praças da cidade e intenso trânsito de carros nas vias, tendo em vista que é um dia dedicado ao lazer para os cidadãos. Salienta-se que essa zona da cidade se configurou como uma das áreas mais aquecidas, juntamente com as porções centrais da cidade.

Posteriormente, avançamos para uma região da cidade que tem forte influência de uma área verde e de recursos hídricos, representados pelos pontos 18 a 22. Nessa porção da cidade temos a ocorrência dos climatopos 3 ao 7, com o predomínio dos climatopos abaixo de 5. Em relação a distribuição das LCZs nota-se uma maior variabilidade de feições que foge do padrão até então observado, com a existência da LCZ  $8_{10}$ , 6, 3 e  $5_4$ . Tais informações denotam afirmar que nessa porção da cidade predominam construções e aspectos urbanos de menor consolidação, embora existam algumas feições que podem gerar dados térmicos mais elevados. Todavia, essa área apresenta fatores naturais que inferem uma importante

capacidade de arrefecimento, prevalecendo temperaturas mais amenas. Estas características se expressam nos gráficos, onde notamos uma queda brusca das temperaturas, com predomínio de valores que variaram entre 27.4°C e 27.7°C.

Uma questão interessante sobre esse trecho do transecto, consiste nos pontos 23, 24 e 25, que estão situados nos climatopos 4, 5 e 7, respectivamente, estes pontos apresentaram variações térmicas significativas, haja vista que estes situam-se sobre a passagem do Rio Acaraú, e, mesmo assim, apresentaram temperaturas superiores e/ou iguais a áreas ocupadas. Acredita-se que isto resulta da dinâmica local e direção dos ventos, que privilegia a margem direita do rio em detrimento da margem esquerda, esta devido à proximidade, recebe influência do intenso trânsito e da ocupação da região central da cidade. Tal aspecto foi evidenciado pela redução da temperatura na margem direita e um maior aquecimento na margem esquerda. Nota-se uma correlação com as LCZs geradas, onde observa-se, respectivamente, a LCZ A, G e 8<sub>10</sub>, sendo a menor temperatura associada a maior capacidade de arborização da paisagem, todavia no ponto associado a região de influência da LCZ G, não visualizou-se uma menor temperatura, indicando que as condições urbanísticas da cidade influencia diretamente na determinação das temperaturas do ar, mesmo em condições naturais de arrefecimento.

As porções da cidade com maiores densidades construtivas, assim como nos demais centros urbanos, se configuraram como áreas de maior aquecimento. Essas áreas foram representadas pelos pontos 26 ao 51 e localizaram-se no centro urbano histórico e nos limites de bairros que representam as áreas de expansão desse centro, também com uma densidade de ocupação muito significativa.

Os climatopos visualizados nessas áreas foram os 4, 5, 6, 7 e 8, sendo que o climatopo 4, esteve presente em um único ponto, nas extremidades de um parque urbano. Observa-se o predomínio de climatopos que se associam a uma maior contribuição térmica para aumento de temperatura, com a ocorrência do climatopo 8 em dois pontos, no 34 e no 45, há que saber que os climatopos 6 e 7 também apresentaram forte capacidade para incremento de calor na cidade, sendo também muito frequentes na paisagem central de Sobral e determinando temperaturas tão elevadas quanto as observadas no climatopo 8. Para a classificação LCZ, observa-se uma maior homogeneização quanto a análise térmica, onde os pontos se distribuem entre as LCZs 3 e 8<sub>10</sub>, visto que nessas áreas predomina um padrão de organização espacial muito semelhante, porém ao homogeneizar, a metodologia não permite visualizar a diferenciação entre as áreas mais críticas quanto a distribuição do aquecimento. Predominaram nessa região valores que variaram entre 27.9°C a 28.5°C, com destaque para os

valores superiores a 28°C, sobretudo nas áreas de ocorrência da LCZ 8<sub>10</sub> e nos climatopos 7 e 8.

Uma área de destaque consiste nos pontos 52 ao 58, estes representam o Parque Pajeú e o Parque da Cidade, parques urbanos arborizados que se situam nas proximidades de recursos hídricos. Essa área foi incrementada no percurso devido a questões de logística, sendo percebido algumas nuances dos parques perante a cidade. Desse modo, observa-se para essa área a ocorrência dos climatopos 4 a 7, sendo que a maior predominância consiste nas classes menores que 5, revelando uma boa capacidade de arrefecimento, por outro lado, observa-se a ocorrência de alguns pontos associados a maior capacidade para aumento da temperatura, relacionados a áreas de maior contato com a urbanização da cidade.

As temperaturas do ar observadas para esses pontos variaram entre 27.6°C e 28.2°C, estando as temperaturas mais amenas situadas na porção sul do Parque Pajeú e no ponto próximo ao Parque da Cidade, por outro lado, ao norte do Parque Pajeú as temperaturas do ar se apresentaram mais elevadas, se equiparando as áreas centrais urbanizadas. Grosso modo, observa-se que as maiores interferências na redução da temperatura do ar na região próxima ao parque ocorrem em locais pontuais, em escala microclimática, associados a maior disposição da vegetação, com ocupação mais aberta, tal fato se justifica também pela espacialização das LCZs, onde observa-se que as menores temperaturas estão associadas aos pontos de LCZ B e LCZ 6. Soma-se a esses aspectos os efeitos das brisas advindas de corpos hídricos próximos a localização do parque.

Em relação aos pontos 59 ao 66, observou-se a prevalência dos climatopos 3, 4, 5 e 6 e as LCZs 3, 5<sub>4</sub>, 6 e 8<sub>10</sub>. Nessa porção do trajeto observou-se nas áreas associadas aos climatopos 5 e 6 e LCZ 3 e 8<sub>10</sub> temperaturas do ar iguais a 28.1°C, se consolidando como uma porção da paisagem com maior aquecimento do ar, pois apresentaram valores acima da média. Conforme avançamos pelas classes de maior arrefecimento (climatopos 3 e 4) e de ocupação menos densa (LCZs 5<sub>4</sub> e 6) as temperaturas do ar se apresentaram mais amenas, com valores iguais a 27.7°C.

Ao se deslocar em direção a serra da Meruoca, convém destacar os pontos 67 a 79, nestes observa-se a existência dos climatopos 3 a 7, sendo que os climatopos mais frequentes referem-se as classes acima de 5, ou seja, as que oferecem contribuição ao aumento de calor. Em relação as LCZs destaca-se a LCZ 3, 8<sub>10</sub> e a 9, haja vista que nesses ambientes observamos porções com maior densidade de construções, mas também áreas que apresentam menor urbanização. As temperaturas para esses trechos variaram entre 27.2°C e 28.1°C.

Os pontos 80 a 85 estão situados entre as classes de climatopos 5 a 7 e da LCZ 6, pois são áreas da cidade que apresentam menor densidade construtiva e maior presença de verde. Do ponto de vista térmico apresentam uma boa capacidade de arrefecimento, porém já existem áreas associadas ao maior aquecimento urbano. Ao observar o quadro 15 verifica-se o predomínio de valores abaixo dos 27.7°C, porém se analisarmos os dados do primeiro dia de coleta verifica-se pontos com temperaturas do ar que superaram os 28°C.

Em relação a porção final do transecto representado pelos pontos 86 ao 91, verificou-se a predominância dos climatopos 3 e 4 e as LCZs 9, 8<sub>10</sub>, B e C<sub>d</sub>, tais aspectos inferem que essa área da cidade apresenta condições de aquecimento baixa e maior capacidade de arrefecimento. Esse quadro se justifica pelo fato de ser uma área de expansão da cidade, portanto existem muitos vazios urbanos, maior quantidade de verde, presença de corpos hídricos e uma cota altimétrica mais elevada, associada a localização da Serra da Meruoca. Os transectos para o período seco nesses pontos apresentaram em média temperaturas mais baixas, com variações entre 27.3°C e 27.7°C, tal fato favoreceu sua consolidação como um dos pontos de menor temperatura observado na cidade.

Quadro 15 – Tabulação dos dados dos transectos e das informações do UC-AnMap e LCZ

PONTOS	Classificações		Temperatura do ar (°C) entre os pontos amostrais						
	Climatopos UCMAP	Classes LCZ	12/11 21h	13/11 21h	20/05 18 h	20/05 21 h	21/05 18 h	21/05 21 h	
1	Classe 3	LCZ C <sub>d</sub>	27.8	27.8	28.2	26	28.1	25.3	
2	Classe 7	LCZ 8 <sub>10</sub>	27.8	27.8	27.9	25.7	27.4	25.3	
3	Classe 5		27.8	27.8	27.7	26	27.4	25.3	
4	Classe 3		27.8	27.8	27.8	26	27.4	25.3	
5	Classe 5		27.8	27.7	27.8	25.8	27.4	25.3	
6	Classe 3		27.8	28	27.8	26.1	27.7	25.3	
7	Classe 6		27.8	28	27.4	26.1	27.4	25.2	
8	Classe 7		LCZ 3	28.2	28.1	27.7	26.4	27.7	25.4
9		28.2		28.4	28	26.6	27.7	26	
10		28.3		28.4	28.1	26.6	27.7	26.1	
11	Classe 6	28.1		28.2	28.4	26.6	27.6	26.1	
12		28.1		28.2	28.1	26.6	27.6	25.8	
13	Classe 4	28.1		28.1	27.7	26.9	27.6	26	
14	Classe 5	28.1		27.9	27.7	26.9	27.6	26	
15	Classe 7	LCZ C <sub>d</sub>		27.8	28	27.7	26.5	27.6	25.8
16				28.1	28	27.7	26.6	27.6	25.8
17	Classe 5	LCZ 8 <sub>10</sub>		27.9	28	27.7	26.5	27.6	25.6
18	Classe 4		27.7	27.6	27.1	26.5	27.3	25.6	
19	Classe 7	LCZ 6	27.7	27.6	26.8	26	27.3	25.3	
20	Classe 3	LCZ 3	27.4	27.6	26.5	26	27.4	25.3	
21	Classe 6	LCZ 5 <sub>4</sub>	27.4	27.6	26.5	26	27.4	25.3	
22	Classe 4	LCZ 8 <sub>10</sub>	27.7	27.6	26.5	26	27.4	25.2	
23	Classe 5	LCZ A	27.6	27.9	26.5	26	27.7	25.3	
24		LCZ G	27.8	27.7	26.8	26	27.7	25.8	
25	Classe 7	LCZ 8 <sub>10</sub>	27.8	28	27.1	26.2	27.7	25.8	
26	Classe 6	LCZ 3	28.1	28	27.3	26.5	27.7	25.7	
27		LCZ 8 <sub>10</sub>	28.1	28	27.6	27	27.7	26	

28			28.1	28	27.9	27.3	27.4	26	
29			28.1	28	27.9	27.3	27.4	26.1	
30	Classe 7	LCZ 3	28.1	28.3	28.1	27.4	27.4	26	
31	Classe 5		28.2	28.1	28	27.4	27.3	26.2	
32	Classe 6		28.2	28.1	28	27.4	27.3	26.1	
33	Classe 7		28.2	28.1	28	27.3	27.3	26.1	
34	Classe 8		28.2	28.1	28	27	27.3	26.1	
35	Classe 7	LCZ 8 <sub>10</sub>	28.5	28.4	28.5	27	27.3	26.1	
36			28.5	28.4	28.7	27	27.6	26	
37			28.5	28.4	28.4	26.5	27.6	26.2	
38			Classe 6	28.2	28.4	28.4	26.5	27.3	26.2
39			Classe 5	28.2	28.4	28.4	26.5	27.3	26.4
40	Classe 7	28.2	28.1	28.1	26.8	27.3	26.2		
41	Classe 5	LCZ 3	28.2	28.4	28.4	27	27.3	26.2	
42			28.2	28.3	28.4	27	27.3	26	
43			Classe 6	28.2	28	28.1	27	27.6	26.1
44			Classe 7	28.2	28	28.4	27.3	27.5	26.2
45			Classe 8	28.3	28	28.1	27.6	27.5	26
46	Classe 7	28.1	28.3	28.7	27.6	27.5	26.2		
47	Classe 5	28.1	27.9	28.1	27.6	27.2	26		
48	Classe 7	28.1	28.4	28.1	27.3	27.2	26.1		
49	Classe 5	28.1	28.2	28	27.3	27.2	25.8		
50		27.9	27.9	27.7	27.6	27.2	26.2		
51		Classe 4	27.9	28	27.7	27.3	27	26.1	
52	Classe 6	LCZ 8 <sub>10</sub>	28.1	28	27.5	26.9	26.8	26.1	
53	Classe 5	LCZ 3	28.1	27.7	27.5	26.7	26.9	26.1	
54		LCZ 8 <sub>10</sub>	28.1	28.1	27.5	26.7	26.6	26.1	
55	Classe 4	LCZ B	27.8	27.9	27.2	26.7	26.5	26	
56	Classe 5	LCZ 6	27.5	27.6	26.9	26.7	26.5	25.8	
57	Classe 7	LCZ 8 <sub>10</sub>	27.8	27.6	26.9	26.7	26.4	25.8	
58			27.8	27.6	27.2	28.8	26.5	25.7	
59	Classe 5	LCZ 3	28.1	28	27.5	26.8	26.9	25.7	
60	Classe 6		28.1	28	27.5	26.9	26.9	25.8	
61			28.1	28	27.5	27.2	26.8	25.8	
62		LCZ 6	27.7	28	27.2	26.9	26.9	25.7	
63		LCZ 3	27.7	27.7	26.9	26.8	26.9	25.4	
64	Classe 5	LCZ 6	27.7	27.7	26.9	26.8	26.4	25.3	
65	Classe 4	LCZ 5 <sub>4</sub>	27.7	27.7	27.1	26.6	26.2	25.1	
66	Classe 3	LCZ 3	27.7	27.7	26.9	26.6	26	24.9	
67	Classe 5		27.7	27.7	27.1	26.8	26	24.9	
68	Classe 6		27.9	27.7	27.1	26.8	26	24.9	
69	Classe 5	LCZ 8 <sub>10</sub>	27.8	27.7	27.3	27	26.3	25.1	
70	Classe 4	LCZ 3	27.8	27.7	27.3	27.2	26.6	25.3	
71	Classe 6		28.1	27.7	27.3	27.2	26.6	25.3	
72	Classe 7		28.1	27.7	27.6	27.3	26.7	25.6	
73	Classe 5		28.1	27.7	27.9	27.3	26.7	25.5	
74	Classe 7		28	28	27.9	27.3	26.7	25.5	
75	Classe 5	LCZ 8 <sub>10</sub>	28	28.1	27.9	27.4	26.7	25.5	
76	Classe 6	LCZ 3	27.7	27.9	27.6	27.4	26.8	25.5	
77		LCZ 9	27.4	27.6	27.3	26.9	26.6	25.5	
78	Classe 3	LCZ 8 <sub>10</sub>	27.4	27.6	27.1	26.6	26.3	25.2	
79	Classe 5	LCZ 6	27.7	27.3	27.1	26.2	26.1	24.9	
80	Classe 7		28.2	27.3	27.3	26.2	26.2	25.1	
81			28	27.6	27.3	26.2	26.2	25.3	
82	Classe 4		28	27.6	27.3	26.2	26	25.1	
83			27.7	27.6	27.3	26.1	26	25.3	
84			27.7	27.6	27.1	26.1	26.1	25.3	
85	Classe 5	27.4	27.5	27.1	26.4	25.8	25.1		

86	Classe 3	LCZ 8 <sub>10</sub>	27.7	27.3	27.1	26.4	25.8	25.1
87	Classe 4		27.4	27.3	27.1	26.1	25.8	24.8
88	Classe 5	LCZ B	27.4	27.3	26.8	26.1	25.8	24.8
89		LCZ 9	27.4	27.5	26.8	25.8	25.6	24.5
90	Classe 4	LCZ C <sub>d</sub>	27.4	27.5	26.8	25.8	25.3	24.5
91	Classe 5	LCZ C <sub>d</sub>	27.4	27.5	26.8	25.3	25.3	24.5

Fonte: Elaborado pela autora

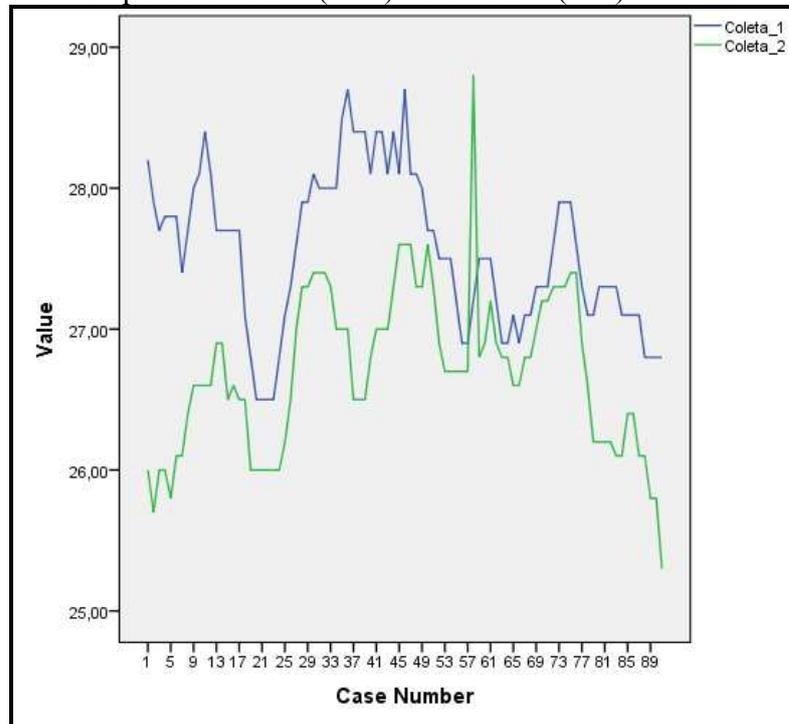
Em relação as coletas realizadas no período chuvoso, obteve-se dados as 18h e as 21h, sendo que somente esse último horário será passível de comparação com os dados de temperatura do ar obtidos durante o período seco, visto que os dados coletados na campanha de novembro, para outros horários, foram descartadas e a realização de novos campos foram inviabilizados devido a finalização do trabalho de pesquisa. Há que saber que o referencial teórico indica a aplicação dos transectos às 21h, sendo, em geral, um horário ideal para identificar a formação máxima das ilhas de calor. Portanto, as coletas das 18h foram utilizadas somente para verificar o comportamento da temperatura do ar entre as classes UC-AnMap e LCZs para o período chuvoso na área em estudo, em um horário em que a cidade começa a liberar calor. Convém salientar que a classificação dos pontos conforme a espacialização das classes do UC-AnMap e da LCZ permanece a mesma para a avaliação do campo do período chuvoso.

A coleta 1 (Figura 85), às 18h, apresentou a maior temperatura média observada entre todos os dados coletados para o período chuvoso, observa-se que isto se deve ao predomínio de tempo estável na cidade, com episódios isolados de precipitação sem intensidade, somado a isso, nesse horário foi visualizado um trânsito intenso, com a presença de trechos engarrafados. Nessa coleta observa-se que o padrão de aquecimento das regiões centrais e bairros periféricos mais adensados se mantém, do mesmo modo que as zonas associadas a parques urbanos e áreas de vegetação natural se apresentaram com temperaturas do ar mais baixas (Gráfico 25). Constatou-se que a distribuição dos dados às 18h, nas condições atmosféricas observadas para o dia, manteve uma relação com o padrão de distribuição da temperatura do ar observado nas coletas realizadas no período seco, embora tenham apresentando limiares máximos maiores que as coletas supracitadas.

Para a coleta 2 (Figura 85), apesar da maior variação dos dados e da elevada amplitude térmica, a espacialização das temperaturas do ar ao longo dos pontos também se configurou de forma semelhante ao observado no período seco. Observa-se também que em comparação com a coleta das 18h, no período chuvoso, e com a coleta do período seco, às 21h, a atmosfera próxima a superfície urbana encontrava-se menos aquecida, porém verifica-

se que os pontos de maior e menor aquecimento permaneceram, com exceção da região central que nas coletas anteriores apresentavam pontos de maior aquecimento em toda a sua área e às 21h, foi seccionada em duas áreas de maior aquecimento e separadas por áreas menos aquecidas. Nessa coleta observou-se um dado *outlier* que apresentou uma temperatura do ar que se diferenciou do padrão dos dados observados em suas proximidades, tal fato foi identificado no ponto 58 que se refere a área da rotatória próxima ao Parque da Cidade e ao Parque Pajeú, observa-se que essa disparidade se deu devido ao intenso trânsito e congestionamento observado durante a realização da coleta, visto que essa área consiste em uma região de acesso a porção norte/noroeste da cidade.

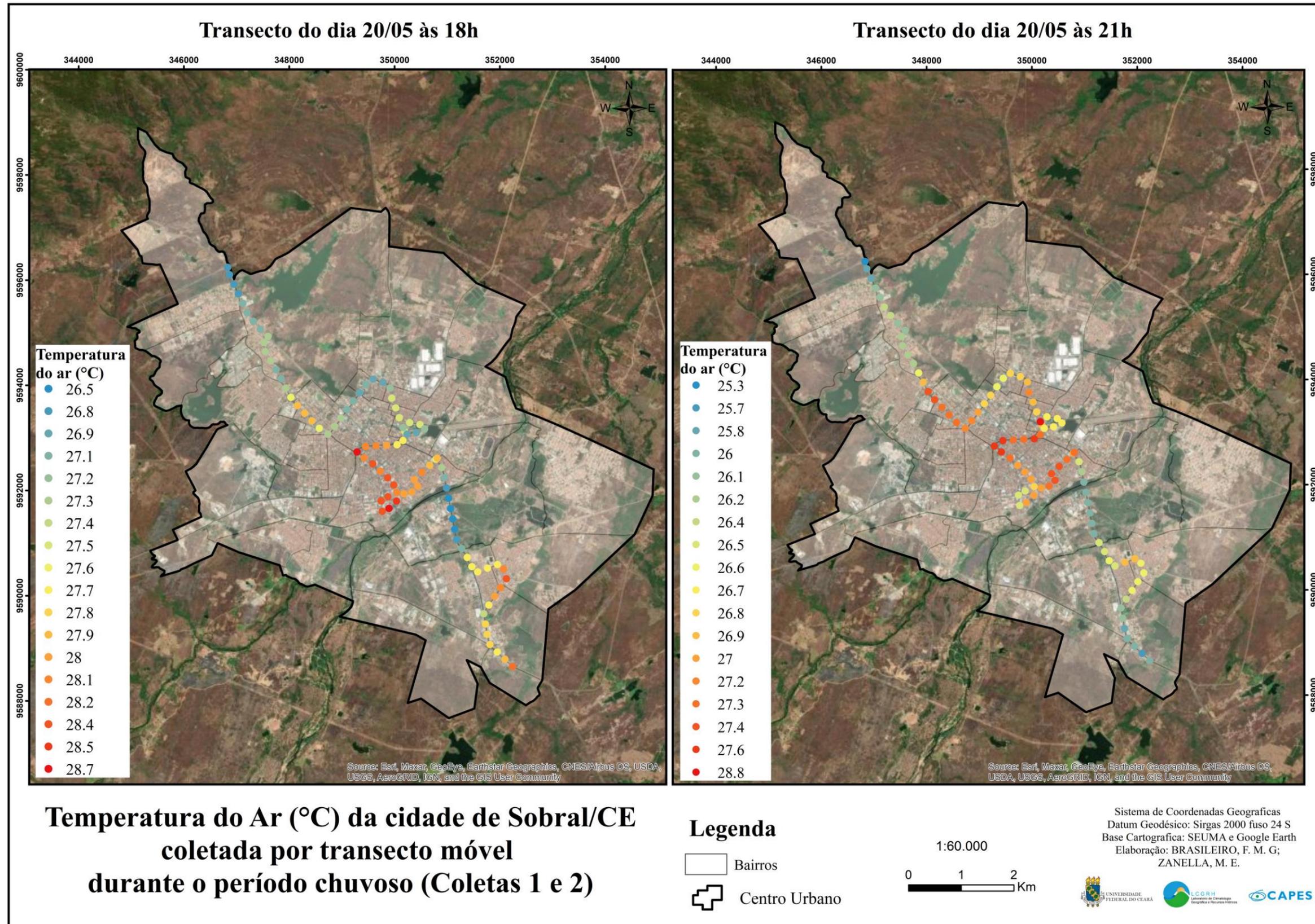
Gráfico 25 – Distribuição da temperatura do ar no período chuvoso para a coleta 1 (18 h) e a coleta 2 (21h)



Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

Grosso modo, observa-se que mesmo com as diferenciações entre os limiares máximos e mínimos, tanto para a coleta às 18 h quanto às 21h as temperaturas mais elevadas foram observadas nos mesmos locais visualizados durante o período seco, com pequenas variações na extensão das áreas com maior disposição de calor. Destaca-se nesse sentido, os pontos 5 a 17, localizados nos limites dos bairros Sinhá Saboia, Cohab I e Cohab II, que apresentaram temperaturas que variaram entre 26,1°C e 28,1°C, configurando-se como uma área de maior aquecimento na periferia da cidade. Na região central, destaca-se os pontos 26 a 51, com temperaturas que variaram de 26,5°C a 28,7°C, entre as duas coletas.

Figura 85 – Temperatura do ar da cidade de Sobral no período chuvoso (Coletas 1 e 2)

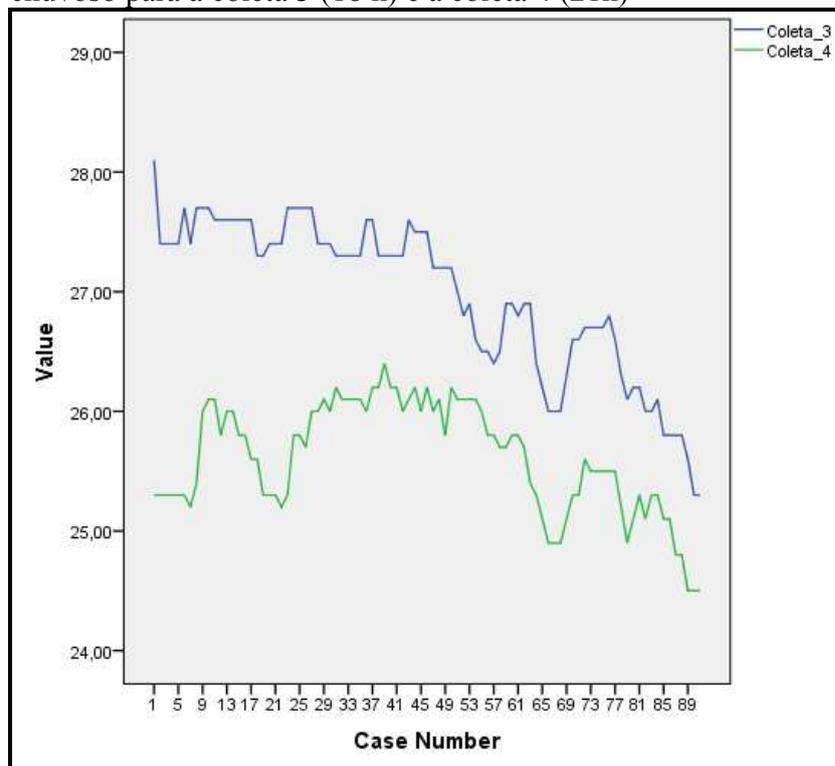


Fonte: Elaborado pela autora.

Do mesmo modo, os pontos 67 a 79 se destacaram na determinação de temperaturas mais elevadas no primeiro dia de coleta para o período chuvoso, onde essas variaram entre 26.2°C e 27.9°C. Essa porção da cidade é representada pela junção dos bairros Junco, Campos dos Velhos, Alto do Cristo e Domingos Olímpio, uma importante zona urbanizada da cidade que tem relação direta com a expansão do centro urbano histórico e que se consolidou como uma área de ocorrência de temperaturas do ar mais elevadas.

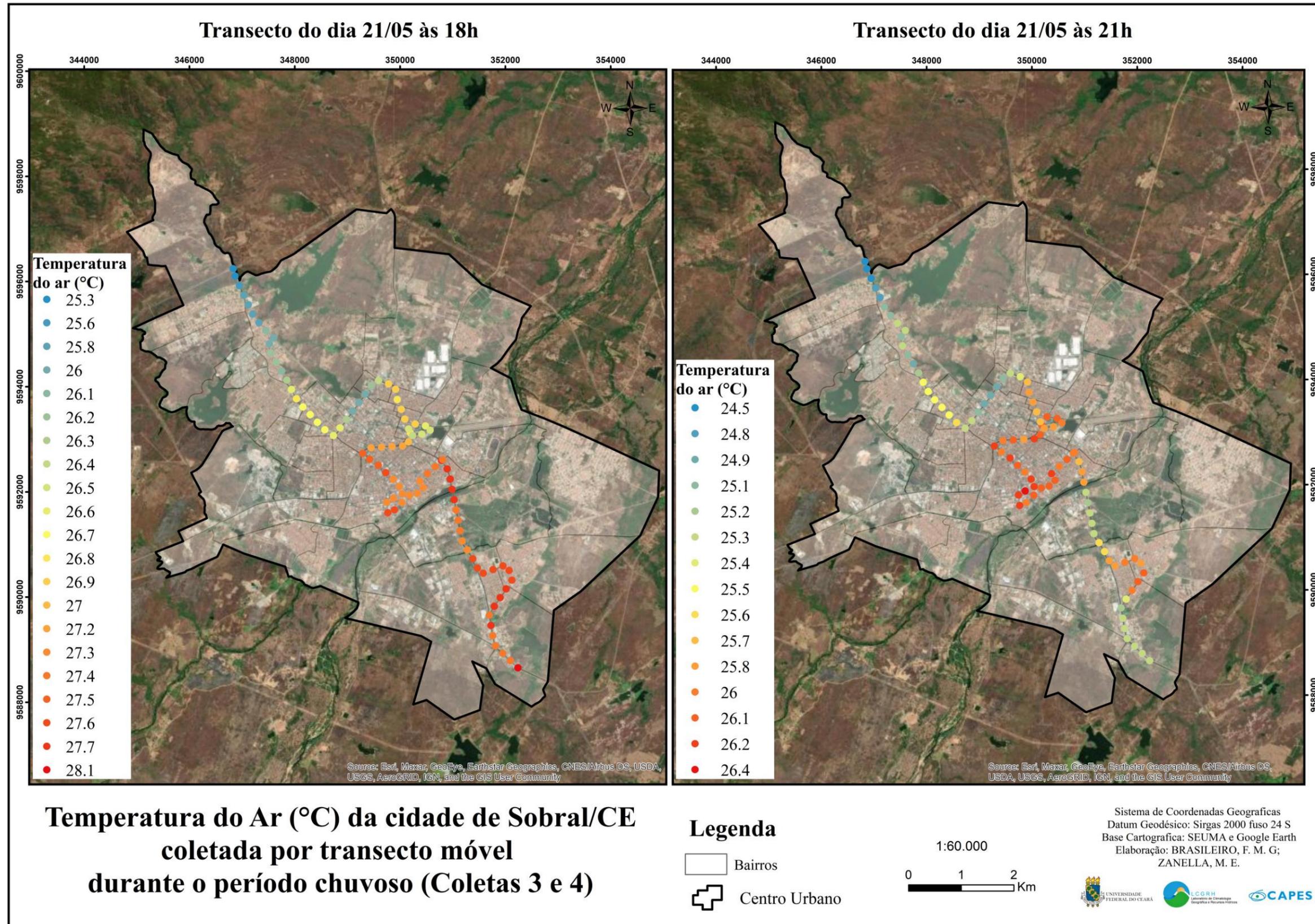
As coletas do segundo dia de campo, o mais representativo para o período chuvoso, apresentou aspectos que o diferenciaram do primeiro dia de coletas das temperaturas do ar via transecto móvel (Figura 85). Observou-se as 18h uma média de temperatura do ar menor que a observada no dia anterior para o mesmo horário, embora, de modo geral, tenha apresentado dados de temperatura mais elevados do que os observados às 21h. Interessante observar que em dias de maior instabilidade atmosférica, a superfície urbana tende a se resfriar mais rapidamente, isso se observa na representação dos dados da coleta 3, onde o início do transecto apresenta temperaturas do ar mais elevadas e conforme avançamos para o final do percurso há uma tendência de diminuição geral das temperaturas do ar, embora as nuances relacionadas ao comportamento termal do tipo de cobertura do solo, tenham permanecido (Gráfico 26).

Gráfico 26 – Distribuição da temperatura do ar no período chuvoso para a coleta 3 (18 h) e a coleta 4 (21h)



Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

Figura 85 – Temperatura do ar da cidade de Sobral no período chuvoso (Coletas 3 e 4)



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a coleta das 21h, observou-se que o processo de resfriamento abrupto verificado na coleta das 18h havia se estabilizado, tendo como resultado temperaturas do ar bem abaixo das médias observadas, tanto em relação ao período chuvoso quanto ao seco. Embora tenha apresentado temperaturas mais amenas se comparada aos demais dados, observa-se que os pontos evidenciados como formadores de temperaturas mais elevadas permaneceram com essa mesma característica. Do mesmo modo, as áreas que se configuraram com baixas temperaturas também apresentaram o mesmo padrão observado nas demais coletas. A principal diferença observada entre a coleta 4, às 21h, e a demais observações, consiste na magnitude da distribuição de calor entre os pontos

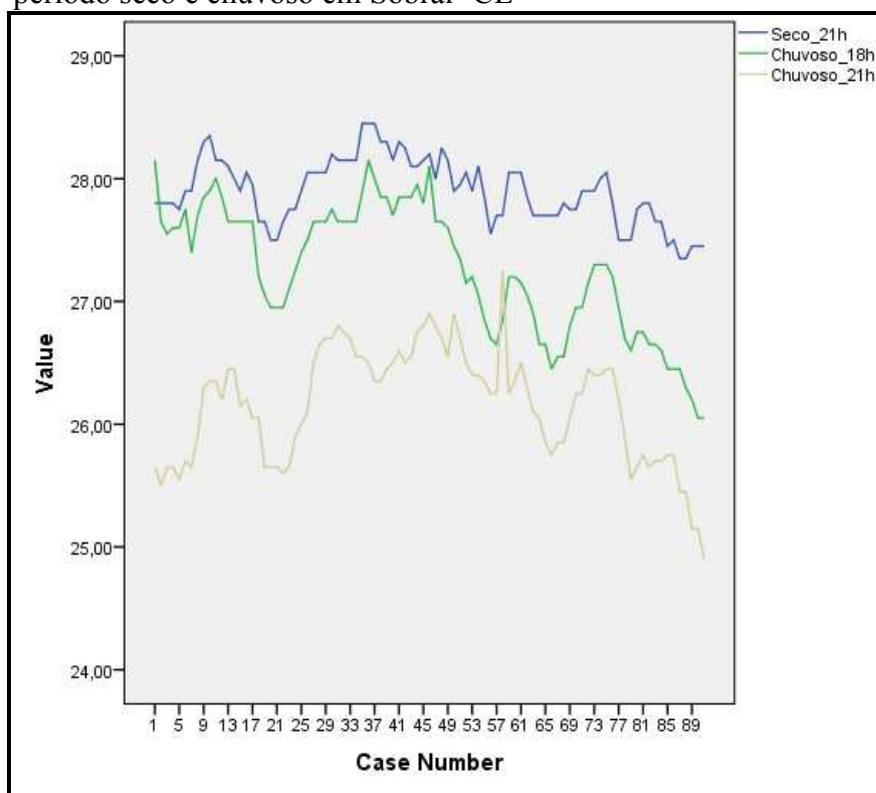
Em relação a distribuição das temperaturas na coleta 3, às 18h, nota-se que as áreas mais aquecidas estiveram associadas a todo o início do transecto até a porção próxima ao Parque Pajeú, que nessa coleta em específico apresenta uma maior tendência de diminuição da temperatura do ar. Outro ponto de destaque para baixas temperaturas consiste na região dos bairros Renato Parente e Nossa Senhora de Fátima, que apresentaram em todas as coletas uma queda abrupta da temperatura do ar, isso se deve a baixa densidade de ocupações, a maior permeabilidade do trânsito, aumento das cotas altimétricas e boas condições de ventilação. Os pontos 65 a 69 também apresentam condições de diminuição das temperaturas do ar, tendo em vista que essas áreas recebem influência direta de um espelho d'água situado nas proximidades.

Na coleta 4 observa-se que as áreas de maior temperatura consistiram nos pontos 9 a 17, referente a região do bairro Sinhá Sabóia, e os de 26 a 51, área central e circunvizinhança. Por outro lado, as áreas que apresentaram baixas temperaturas foram representadas pelos pontos 18 a 22, localizados em uma área verde na margem direita do Rio Acaraú, os de 65 a 69, devido a influência das brisas geradas pela disponibilidade de espelhos d'água. E por fim, os pontos finais do transecto que apresentaram baixas temperaturas, assim como nos demais transectos, devido as condições naturais de arrefecimento mencionadas nos tópicos anteriores.

Após a análise individual das coletas optou-se por unir as informações por horário e por período (seco ou chuvoso), objetivando obter uma visão geral em relação aos impactos dos tipos de tempo nos dados climáticos e estabelecer uma melhor correlação entre os dados do UC-AnMap e das LCZs. No gráfico 27 observa-se a distribuição das temperaturas médias do ar em Sobral às 18h (período chuvoso) e as 21h (período seco e chuvoso), demonstrando que o período de maior estabilidade do tempo produziu temperaturas do ar mais elevadas se comparadas com o período de maior instabilidade, visto que a ocorrência de precipitação no

recinto urbano favorece a redução do armazenamento de calor pelos materiais dispostos na paisagem. Contudo, como a cidade de Sobral está situada em baixas latitudes e apresenta elevadas taxas de insolação durante todo o ano, observa-se que as coletas de dados climáticos durante a tarde para o período chuvoso revelaram temperaturas significativamente elevadas, tal fato foi confirmado na coleta das 18h, que apresentou temperaturas do ar mais altas em comparação com as de 21h para o mesmo período, sobretudo nos primeiros minutos do transecto.

Gráfico 27 – Distribuição da temperatura média do ar entre o período seco e chuvoso em Sobral- CE



Fonte: Output IBM SPSS Statistics. Organizado pela autora.

Ao analisar a distribuição da temperatura média do ar no espaço intraurbano da cidade observou-se para a coleta das 21h, representativa do período seco, uma concentração de maior aquecimento entre os pontos 35 a 37, com valores de temperatura do ar igual a 28,5°C. As áreas menos aquecidas foram identificadas entre os pontos 87 e 88, com temperatura do ar igual a 27,4°C. Para o campo do período chuvoso, às 18h, verifica-se que as áreas mais aquecidas apresentaram maior magnitude, mas não formaram extensas áreas homogêneas onde a maior temperatura foi observada nos pontos 1 e 36, com uma média de 28,2°C. A menor temperatura média do ar observada nesses transectos foi igual 26,1°C,

estando localizada nos pontos 90 e 91. Já para as 21h, observou-se que o ponto 58 foi o mais aquecido, isto se deve ao aumento do calor antropogênico gerado pelo intenso fluxo de veículos, e o ponto 91, se estabeleceu como o menos aquecido, apresentando uma temperatura igual a 24.9°C.

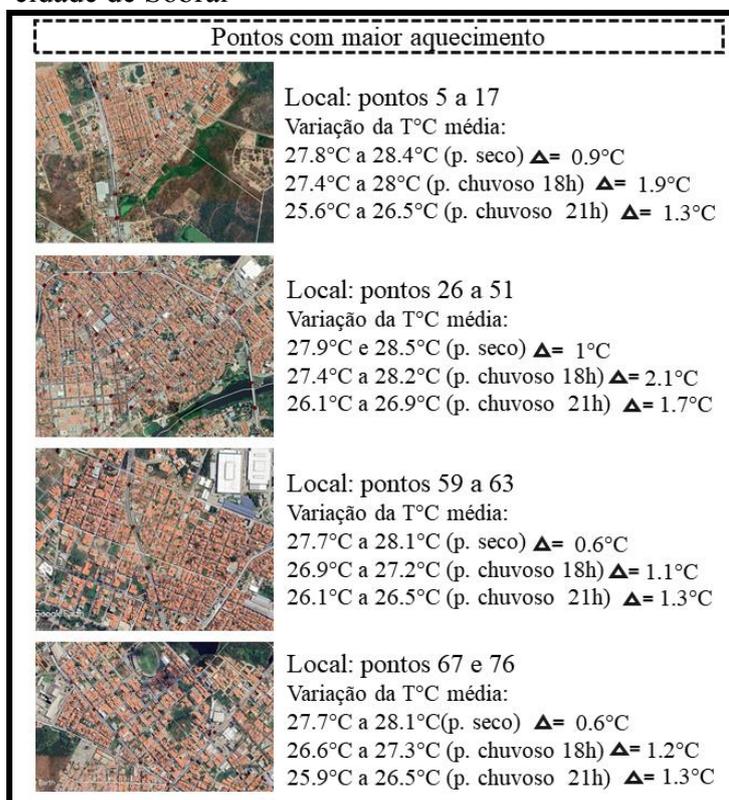
Convém mencionar que outras áreas da cidade também apresentaram pontos de aquecimento e de resfriamento, tanto para o período seco como para o chuvoso. De modo geral, nota-se que há um padrão entre a ocorrência dos extremos de temperatura em pontos específicos da cidade, assim como identificado durante a análise individual das coletas. Desse modo, para observar as diferenciações entre a magnitude e a intensidade das temperaturas e a ocorrência das ilhas de calor dentro da cidade, optou-se por utilizar os dados observados para o ponto 90. Nesta área observou-se o predomínio de características próprias de espaços rurais, ou seja, consiste em uma área que apresentam inexistência de densidade construtiva e que está situada fora dos limites da macha urbana. Tal fato consiste em uma opção metodológica, haja vista, que a estação meteorológica situada na área rural do município de Sobral e dos municípios vizinhos apresentam uma defasagem total dos dados de temperatura desde o segundo semestre de 2021.

Assim, os pontos de maior aquecimento são representados por quatro áreas da cidade (Figura 87). O primeiro deles localiza-se entre os pontos 5 a 17, correspondente a entrada e saída do bairro Sinhá Sabóia e os limites dos bairros Cohab I e Cohab II. Nessa zona da cidade observa-se que a temperatura do ar média variou entre 27.8°C a 28.4°C, no período seco, entre 27.4°C a 28°C, no período chuvoso às 18h, e de 25.6°C a 26.5°C no período chuvoso às 21h. Nota-se, comparando o dado de maior aquecimento com o ponto representativo do rural, que a diferença térmica da ilha de calor para essa zona da cidade foi de 0.9°C, no período seco, e de 1.9°C a 1.3°C às 18h e 21h, respectivamente, no período chuvoso, denotando para os diferentes períodos do ano a ocorrência de ilhas de calor de fraca magnitude nessa zona da cidade (Garcia, 1996).

Interessante observar que o período chuvoso apresentou uma intensidade da ilha de calor intraurbana maior que a visualizada durante o período seco, entre os horários analisados. Todavia, observa-se que a superfície urbana durante o período seco estava bem mais aquecida, com pequenas variações em áreas associadas a maior disposição de vegetação. Corroborando essa observação, Silva, Moura e Luna (2020) discutem que para ambientes semiáridos as ilhas de calor de diferentes magnitudes podem ser observadas tanto no período seco quanto no chuvoso, ao mesmo tempo que revelam que as maiores magnitudes podem ser aferidas em horários diurnos. Destaca-se ainda que durante o período seco ocorreram

episódios de maior nebulosidade diurna, associadas a eventos de divergência de umidade em regiões próximas a área de estudo.

Figura 87 – Síntese dos pontos mais aquecidos na cidade de Sobral



Fonte: elaborado pela autora.

A segunda área de aquecimento da cidade refere-se à porção central, constituída pelo centro urbano histórico e sua zona de expansão e estão situadas sobre os pontos 26 a 51. Nessas áreas observou-se uma temperatura média do ar variando entre 27.9°C e 28.5°C, no período seco, com uma intensidade da ilha de calor igual a 1°C, configurando-se como de fraca magnitude. Para os horários de 18h e 21h, no período chuvoso, observou-se uma temperatura do ar média variando entre 27.4°C a 28.2°C e de 26.1°C a 26.9°C, respectivamente. Tais aspectos da temperatura do ar indicam que nesses horários obteve-se uma diferenciação térmica de 2.1°C, às 18h, e 1.7°C, às 21h, denotando ilhas de calor de magnitude moderada e fraca.

A terceira porção de maior aquecimento localiza-se na área próxima à indústria Grendene Calçados, representados pelos pontos 59 a 63. Nessa zona as temperaturas médias variaram durante o período seco de 27.7°C a 28.1°C e no período chuvoso de 26.9°C a 27.2°C, às 18h, e de 26.1°C a 26.5°C, às 21h. Em relação as diferenciações térmicas, essa

área apresentou no período seco uma intensidade de ilhas de calor igual a  $0.6^{\circ}\text{C}$ , às 21h, e no período chuvoso variações de  $1.1^{\circ}\text{C}$ , às 18h, e de  $1.3^{\circ}\text{C}$ , às 21h. Isso implica dizer que nessa área predominam ilhas de calor de fraca magnitude.

A quarta zona de maior aquecimento situa-se entre os pontos 67 e 76 que consiste na região que abrange o bairro Junco e seus bairros limítrofes. Nessa área observou-se temperaturas do ar médias que variaram entre  $27.7^{\circ}\text{C}$  a  $28.1^{\circ}\text{C}$ , no período seco, denotando uma ilha de calor com intensidade de  $0.6^{\circ}\text{C}$ , ou seja, de fraca magnitude. Para o período chuvoso, observa-se que as temperaturas variaram entre  $26.6^{\circ}\text{C}$  a  $27.3^{\circ}\text{C}$ , às 18h, e de  $25.9^{\circ}\text{C}$  a  $26.5^{\circ}\text{C}$ , às 21h, exibindo ilhas de calor com intensidades iguais a  $1.2^{\circ}\text{C}$  e  $1.3^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Tais dados conferem para essa porção da cidade ilhas de calor com fraca magnitude.

Em relação as áreas menos aquecidas, destaca-se os pontos 18 a 25, 52 a 58, 64 a 66 e 80 a 85, nestes pontos verificamos as zonas que apresentaram maior decréscimo de temperatura ao longo dos transectos. Observa-se que durante o período seco, essas zonas apresentaram menor intensidade, com decréscimos de temperatura que variaram entre  $-0.7^{\circ}\text{C}$  e  $-0.8^{\circ}\text{C}$ , isto se deve ao maior aquecimento da cidade durante esse período do ano, fazendo com que as áreas verdes e parques urbanos apresentem menor intensidade na definição de temperaturas mais amenas. Para o período chuvoso observa-se que as diferenciações térmicas desses ambientes foram mais significativas, com valores que oscilaram entre  $-0.8^{\circ}\text{C}$  e  $-1.6^{\circ}\text{C}$ , estando o menor valor associado a zona representada pelos pontos 52 ao 58 e o maior valor aos pontos 64 a 66 e 80 a 85. Isto implica afirmar que áreas naturais que apresentam vegetação de médio e alto porte apresentam maior capacidade de redução das temperaturas, em comparação com os parques e praças que apresentam maior contato com os aspectos urbanos da cidade.

Desse modo, nota-se que a maior diferenciação entre a dinâmica da temperatura do ar ao longo do ano está relacionada a intensidade de sua espacialização dentro da cidade, haja vista que ao avaliar as feições de maior e menor aquecimento verifica-se que as áreas de maior urbanização apresentaram temperaturas do ar mais elevadas se comparadas a áreas de menor urbanização e com maior presença de elementos que contribuem para a amenização climática urbana, tanto para o período seco quanto para o chuvoso.

Considerando as médias gerais entre os campos para as classes do UC-AnMap, observa-se que as temperaturas do ar variaram conforme o previsto pela classificação, onde as temperaturas mais baixas foram visualizadas nos climatopos próximos de 1 e as temperaturas elevadas nos climatopos próximos de 8, ou seja, conforme o nível do impacto térmico

aumenta entre os climatopos, a temperatura do ar próxima a superfície se eleva. A única exceção observada consiste no campo realizado às 18h e para as classes 3 e 4, onde esse padrão se inverte. Observa-se ainda que os limiares de temperatura se apresentam mais elevados no campo do período seco, em comparação com o observado durante o período chuvoso. Convém mencionar que as classes 1 e 2 não foram verificadas em campo devido estarem localizadas em áreas não abrangidas pelo trajeto do transecto móvel (Quadro 16).

Quadro 16 – Temperatura média do ar (°C) entre as classes do UC-AnMap

<b>Temperatura média do ar (°C) entre as classes do UCMap</b>				
Climatopos	Nº de observações	Período seco às 21h	Período chuvoso às 18h	Período chuvoso às 21h
Classe 3	7	24.6	27.2	25.7
Classe 4	12	27.7	26.8	25.9
Classe 5	27	27.9	27.2	26.1
Classe 6	20	28.0	27.4	26.3
Classe 7	23	28.1	27.5	26.3
Classe 8	2	28.2	27.7	26.7

Fonte: elaborado pela autora.

É possível observar que as classes de maior impacto térmico, a exemplo do climatopo 8, apresenta uma diferenciação térmica de 3.6°C em relação a classe de menor impacto térmico, durante o período seco, haja vista o maior potencial de aquecimento da cidade. Para o período chuvoso, observa-se uma redução das diferenciações entre as classes de maior e menor impacto térmico, com limiares iguais a 1.1°C, às 18h, e 1°C, às 21h. Destaca-se que os climatopos 6 e 7, mesmo não apresentando as máximas temperaturas, se consolidam com um padrão de aquecimento muito semelhante ao observado no climatopo 8, com diferenciações térmicas variando entre 3.4°C a 3.5°C, no período seco, e de 0.6°C a 0.7°C, no período chuvoso.

Já em relação a distribuição das temperaturas do ar entre as LCZs, observa-se que as classes dos tipos construídos apresentaram maior relação com os dados de temperatura obtidos nas coletas, verifica-se que as classes de maior compactação construtiva apresentaram valores de temperaturas mais elevados, a exemplo das LCZs 3 e 8<sub>10</sub>, assim como o observado para os climatopos de maior impacto térmico. Em relação aos tipos de cobertura, observa-se que os dados não corresponderam ao esperado, tendo em vista que as feições mapeadas deveriam seguir um padrão para baixas temperaturas, isto se deve ao fato das amostras coletadas em campo terem apresentado baixa variabilidade ou serem exemplares que estão intrinsecamente associadas aos aspectos urbanos da cidade. As peculiaridades térmicas

associadas as LCZs 2, E e F, não puderam ser verificadas em campo, haja vista que sua espacialização não coincidiu com o trajeto realizado via transecto móvel (Quadro 17).

Quadro 17 – Temperatura média do ar (°C) entre as classes LCZs

Temperatura média do ar (°C) entre as classes LCZs				
Classe LCZ	Nº de observações	Período seco às 21h	Período chuvoso às 18h	Período chuvoso às 21h
LCZ 3	40	28.0	27.5	26.4
LCZ 5 <sub>4</sub>	2	27.6	26.8	25.8
LCZ 6	11	27.7	26.7	25.8
LCZ 8 <sub>10</sub>	27	27.9	27.4	26.1
LCZ 9	2	27.5	26.6	25.7
LCZ A	1	27.8	27.1	25.7
LCZ B	2	27.6	26.6	25.9
LCZ C <sub>d</sub>	4	27.7	27.0	25.5
LCZ G	1	27.8	27.3	25.9

Fonte: elaborado pela autora.

Considerando as diferenciações térmicas em relação a distribuição das LCZs, observa-se que as variações entre as classes associadas a maior temperatura e as de menor temperatura, apresentaram variações sutis, diferentemente do que foi observado entre as classes do UC-AnMap. Para os tipos construídos, destaca-se as LCZs 3 e 8<sub>10</sub>, dada sua importância espacial e sua maior capacidade de gerar temperaturas do ar mais elevadas. Para a LCZ 3 observa-se para o período seco uma diferenciação de temperatura igual a 0,5°C se comparada a classe com características mais rurais (LCZ 9). Já para o período chuvoso as variações apresentaram uma leve elevação onde a diferença foi de 0,9°C, às 18h, e de 0,7°C, às 21h. Em relação a LCZ 8<sub>10</sub> a diferenciação térmica foi ainda menor, sendo 0,4°C para o período seco e de 0,8°C e 0,2°C para o período chuvoso, às 18h e 21h, respectivamente. Para as LCZs 5<sub>4</sub> e 6 as variações da temperatura do ar foram ainda mais baixas entre os diferentes tipos de tempo, com diferenças de temperaturas variando entre 0,1°C a 0,2°C, em comparação com a LCZ com menor edificação.

Portanto, com base nas discussões levantadas, pode-se inferir que a cidade de Sobral apresenta características únicas em relação ao seu clima urbano. Observou-se a partir da análise das coletas individuais que havia um padrão de temperatura do ar entre todas as coletas, independentemente do tipo de tempo observado, onde as áreas de maior adensamento apresentavam as temperaturas mais elevadas e as áreas associadas às áreas verdes, área de preservação, parques urbanos etc., apresentavam decréscimo da sua temperatura do ar.

Corroborando alguns estudos, observou-se que durante o período seco provavelmente as ilhas de calor apresentam maiores intensidades e magnitudes em horários

diurnos, tendo em vista que os dados de campo às 21h demonstraram ilhas de calor de fraca magnitude, distribuídas em quatro pontos bem definidos no ambiente intraurbano, sendo que a maior intensidade foi visualizada no centro urbano histórico. Como os limiares de temperatura em toda a cidade se apresentaram bastante elevados nessas coletas, a comparação com o ambiente interurbano, seria uma possibilidade metodológica, que não foi efetivada devido a falta de dados das estações meteorológicas situadas no espaço rural de Sobral e nos municípios vizinhos.

Observa-se que dependendo das condições atmosféricas observadas no período chuvoso, as ilhas de calor podem se apresentar com maior intensidade se comparadas com o mesmo horário para o período seco, embora permaneçam com baixa magnitude. Observa-se às 18h as maiores magnitudes entre os dados observados, estando o centro urbano como a área da cidade com maior magnitude da IC. De modo geral, embora apresentem maior intensidade e magnitude da ilha de calor intraurbanas, os limiares de temperatura dentro da cidade são menores e as áreas de menor temperatura apresentam maior magnitude nesse período.

Em relação as classificações, observa-se que as classes do UC-AnMap apresentaram maior relação com a distribuição da temperatura do ar próxima a superfície, estando as classes de maior impacto térmico associadas a temperaturas mais elevadas e as classes de menor impacto e maior arrefecimento associadas a temperaturas mais baixas. Para as classes LCZ, observa-se que os tipos construídos apresentaram uma melhor relação com os dados de campo, embora tenham apresentado diferenças de temperatura muito baixas, devido ao caráter zonal que a metodologia pressupõe, já para os tipos de cobertura, observa-se que as amostras recolhidas apresentaram intrínseca relação com os aspectos urbanos e sua distribuição termal, não estando relacionadas, necessariamente, as menores temperaturas observadas entre as coletas.

## **8 AVALIAÇÃO DOS PLANOS E NORMATIVAS FRENTE AS QUESTÕES DO CLIMA URBANO LOCAL E PROPOSIÇÃO DE AÇÕES ORIENTADAS AO PLANEJAMENTO**

Ao longo dos capítulos 4 a 6 discutiu-se os resultados das classificações e dos dados de campo que revelaram as características térmicas da cidade de Sobral e como estas se comportam em relação aos aspectos urbanos presentes na paisagem local. Sabe-se que as questões mensuradas são de extrema importância para a cidade, haja vista o seu potencial natural de aquecimento, associado ao tipo climático predominante, o tropical semiárido. Logo, esta já apresenta um certo nível de estresse térmico que pode ser potencializado pelas características da urbanização que se apresentam no recinto urbano.

Tal fato ganha notoriedade também pelo porte médio da cidade, ou seja, é um espaço que ainda está em desenvolvimento e que apresenta extensas áreas associadas a vazios urbanos, embora haja uma tendência de ocupação dessas regiões conforme a cidade se desenvolve. Tal aspecto favorece a proposição de medidas que permitam um desenvolvimento mais sustentável orientado para a planejamento e a mitigação das condições climáticas locais.

Gartland (2010) orienta que o desenvolvimento de áreas urbanas e suburbanas tem uma relação intrínseca com a ocorrência de fenômenos climáticos, sobretudo a maior intensificação das ilhas de calor. Tais aspectos foram confirmados por meio do mapeamento térmico e das coletas de campo na cidade de Sobral, estando as áreas de maior consolidação da urbanização associadas a temperaturas do ar mais elevadas e as de menor ocupação ou inexistência de aspectos urbanos sendo confirmadas como porções da cidade com temperaturas mais amenas.

A partir da verificação das informações climáticas da cidade esta pesquisa parte para a avaliação no âmbito do planejamento urbano, visando elencar alguns aspectos que orientem o tratamento da questão climática na cidade, porém não visa esgotar todas as possibilidades, tendo em vista o conhecimento de que a questão do planejamento envolve diferentes autores e ultrapassa o campo acadêmico, viés desse estudo (Fernandes, 2021).

De modo geral, ao avaliar a cidade de Sobral percebe-se que a dimensão ambiental consiste em uma preocupação relativamente antiga da administração pública municipal, com a criação de diferentes mecanismos que visam mitigar os problemas ambientais e urbanísticos da cidade. No campo do clima, nota-se nos documentos avaliados referências a questão térmica local, embora não se tenha encontrado um produto cartográfico ou diagnóstico climático que oriente as ações realizadas pelos órgãos municipais. Para avaliar

essas tratativas iremos nos debruçar sobre as normativas e os planos elaborados, considerando suas perspectivas em relação as questões ambientais e climáticas para a área em estudo.

Devido a sua notoriedade e importância em nível regional tem-se observado um maior interesse ambiental em relação a cidade de Sobral, ao mesmo tempo que a administração pública municipal tem se dedicado no sentido de promover ações pautadas no desenvolvimento social e ambiental orientados a sustentabilidade, tais questões podem ser aferidas nos documentos de regulação do uso e ocupação do solo disponíveis nas leis que compõem o plano diretor municipal (PREFEITURA DE SOBRAL, 2023).

§ 3º A função ambiental da propriedade, urbana e rural, pública e privada, reflete-se no equilíbrio socioambiental do espaço urbano, a partir de um ordenamento territorial que respeite a singularidade dos ecossistemas naturais, visando sua proteção, recuperação e valorização como componente fundamental da política de desenvolvimento no Município. Ela visa assegurar o direito à cidade ambientalmente sustentável, que compreende o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, pela harmonização entre os elementos do sistema ambiental natural e do sistema urbano, com vistas à melhoria da qualidade ambiental e da qualidade de vida (PREFEITURA DE SOBRAL, 2023).

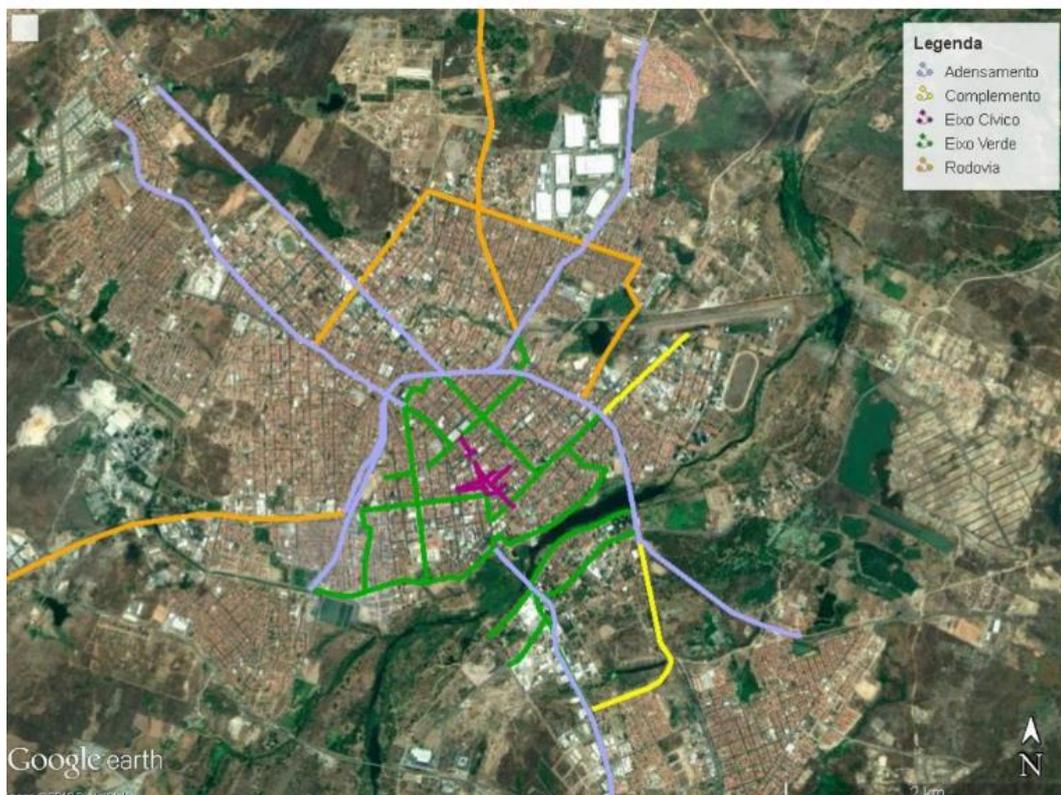
Do ponto de vista urbanístico e ambiental destaca-se as seguintes ações e documentos, a saber, Programa de Desenvolvimento Socioambiental de Sobral (PRODESOL), Plano de Mobilidade Urbana (PlanMOB) e Plano de Arborização Urbana (PAS). Associados a esses projetos verifica-se a requalificação de praças e espaços verdes, a instalação e requalificação de infraestruturas associadas as vias de acesso, a instalação de jardins biofiltrantes e a implantação de corredores verdes (SEUMA, 2020). No âmbito da educação ambiental destaca-se os processos formativos para a comunidade em geral e a escolar, incluindo a distribuição de mudas de árvores nativas, contribuindo para a conscientização da população em relação a importância do verde na cidade.

Durante o estudo foi possível observar a quantidade significativa de verde na cidade de Sobral, principalmente as relacionadas aos espaços de lazer e as principais vias urbanas. O PAS em específico, apresenta um plano de arborização para a cidade, que acreditamos ser um dos principais mecanismos atuantes relacionados ao contexto térmico, tendo em vista que a vegetação apresenta uma forte capacidade de mitigação dos fenômenos climáticos. Todavia, embora apresente muitas potencialidades, esse plano não se baseia em nenhum estudo climático relacionado ao mapeamento da distribuição de fenômenos do clima ou sobre as características térmicas da cidade de Sobral e sua relação com a urbanização, considerando apenas a dinâmica climática natural relacionada a semiaridez e as altas temperaturas ao longo do ano. Assim, esse plano tem se pautado na arborização das principais

vias de acesso da cidade e das áreas associadas ao lazer, considerando sobretudo a questão paisagística e o maior conforto dos transeuntes, tanto os pedestres quanto os ciclistas. Nota-se que o plano em questão desconsidera totalmente a perspectiva dos habitantes das diferentes zonas da cidade, este é um fator preocupante visto que os resultados obtidos no UC-AnMap, LCZs e dados microclimáticos indicam que diferentes áreas da cidade apresentam condições de extremo estresse térmico e evidenciam que outras porções apresentam uma tendência para a elevação de sua temperatura do ar e superficial, conforme a maior consolidação dos aspectos urbanos.

As áreas de implantação dos corredores verdes seguem a orientação do plano de mobilidade urbana, onde este define a ordem de prioridade para intervenção pela administração pública, em relação aos projetos de arborização, instalação de infraestruturas, alargamento de vias etc. Na figura 88, observa-se as áreas que receberão a instalação da arborização em vias urbanas, com destaque para o eixo cívico e o eixo verde, que foram as primeiras zonas de implantação desse projeto.

Figura 88 – Vias selecionadas para implantação de arborização seguindo as orientações do PlanMOB e PAS



Fonte: SEUMA, 2018.

Embora contribuam para o embelezamento da cidade e favoreçam o maior sombreamento para as vias urbanas e os espaços de lazer, as medidas supracitadas não conseguem mitigar os efeitos do clima urbano na cidade de Sobral. Tal fato pode ser verificado por meio do mapeamento térmico e dos dados de campo, considerando por exemplo o eixo verde, que se situa dentro de uma das zonas mais quentes da cidade e que apresentou em campo temperaturas do ar consideravelmente elevadas, se comparadas com outras porções da cidade.

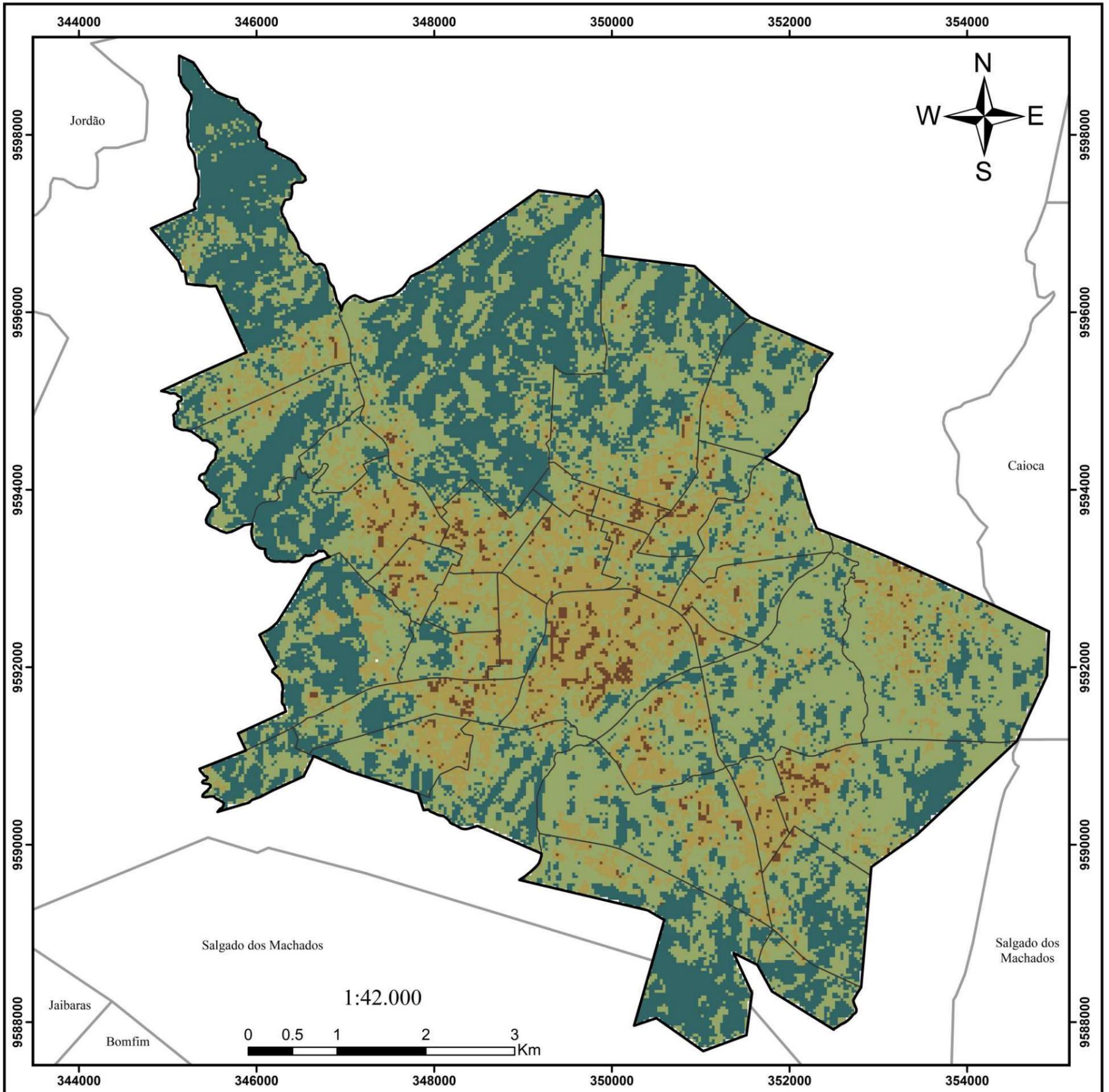
Ao mesmo tempo, as áreas suburbanas de maior aquecimento, como a área limítrofe entre os bairros Sinhá Sabóia, Cohab I e Cohab II, sequer estão incluídas na rota de inserção dos corredores verdes. Um fato curioso sobre essa região, reside no fato de que dentro do mapeamento das áreas prioritárias para implementação de vegetação urbana, a região do bairro Sinhá Sabóia apresenta baixa necessidade de intervenções nesse campo, haja vista que a metodologia se baseia na contagem física de espécimes disponíveis na paisagem, fato que não é corroborado pelos dados climáticos, que evidenciam a necessidade de intervenções na área para combater as questões térmicas relacionadas ao calor.

Esses aspectos alertam para a necessidade de inserir no planejamento urbano os estudos climáticos que revelam a real condição da cidade de Sobral perante as questões térmicas, para assim orientar as ações a serem implementadas na paisagem urbana. Nesse intento esse estudo se revela e propõe a partir da identificação de áreas críticas do ponto de vista térmico, via elaboração de mapas e aferição de campo, medidas que podem vir a ser utilizadas pela administração pública municipal.

Para tal utilizou-se dos resultados do mapeamento climático urbano e dos dados de campo para elaborar um mapa de recomendações ao planejamento urbano (UC-ReMap). Este consiste em uma síntese das análises engendradas na elaboração do perfil climático da cidade e tem como função básica oferecer orientações ao planejamento urbano, a partir da identificação de áreas valiosas para o arrefecimento urbano, as áreas problemáticas e as áreas com maior nível de sensibilidade (Fernandes, 2021; Ng *et al.*, 2012).

Para a cidade de Sobral o UC-ReMap (Figura 89) delimitou quatro zonas de planejamento climático urbano (Urban Climate Planning Zone – UCPZ) que apresentam condições térmicas urbanas semelhantes em relação às condições humanas, conforto térmico e implicações no planejamento (Ng *et al.*, 2012; Fernandes, 2021). Considerando os produtos cartográficos e as análises de campo, verificou-se padrões semelhantes entre as zonas climáticas. Desse modo, a partir dos climatopos 1, 2 e 3 formatou-se a UCPZ 1, visto que são feições que promovem maior arrefecimento no recinto urbano.

Figura 89 – Mapa de Recomendações ao Planejamento (UC-ReMap)



**MAPA DE RECOMENDAÇÃO AO PLANEJAMENTO (UC-ReMap)**

**Legenda**

- Área Urbana
- Distritos
- bairros
- UCPZ 1
- UCPZ 2
- UCPZ 3
- UCPZ 4

Classes	Impacto no conforto	Urban Climatic Planning Zone – UCPZ
1	Amenização moderada 	UCPZ 1
2	Amenização leve 	UCPZ 2
3	Neutro 	
4	Elevação leve 	UCPZ 3
5	Moderado 	
6	Moderadamente forte 	UCPZ 4
7	Elevação Forte 	
8	Muito Forte 	

**Urban Climatic Planning Zone – UCPZ**

Zonas com baixa ou inexistente urbanização e alto potencial de arrefecimento da cidade.  
Ação: Preservação

Zonas com densidade média de urbanização e leve a moderado comprometimento térmico.  
Ação: Alerta

Zonas com densidade urbana alta e climaticamente sensíveis  
Ação: Controle

Zonas com densidade urbana muito alta, climaticamente sensíveis e com estresse térmico elevado.  
Ação: Mitigação

Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum Geodésico: Sirgas 2000 fuso 24 S  
Base Cartográfica: IBGE, SEUMA, Google Earth e USGS.  
Elaboração: BRASILEIRO, F. M. G.; ZANELLA, M. E.

Fonte Elaborado pela autora.

Os climatopos 4 e 5 englobaram a UCPZ 2, visto que consistem em áreas mais abertas e de menor densidade construtiva. Os climatopos 6 e 7 formataram a UCPZ 3, tendo em vista que são climatopos de maior densidade construtiva e que apresentam maior impacto térmico, além de apresentarem temperaturas do ar semelhantes. E por fim, o climatopo 8 correspondeu a UCPZ 4, visto que dentre as classes avaliadas esta apresenta maior temperatura do ar e também condições térmicas de maior aquecimento segundo o mapeamento.

A UCPZ 1 compreende as áreas que proporcionam maior arrefecimento para a cidade, estas porções são caracterizadas pela baixa espacialização ou inexistência de edificações e estruturas urbanas. Na porção norte da cidade essas feições apresentam influência das maiores altitudes e estão relacionadas a existência das brisas advindas dos corpos hídricos ou correlacionam-se a maior disposição de cobertura vegetal de alta densidade ou espaços vazios.

Ao oeste e sul da cidade visualiza-se também extensas faixas associadas a essas zonas, sendo as maiores manchas correlacionadas a influência das unidades de preservação ambiental relativas ao rio Acaraú e a áreas de maior vegetação correlatas a inexistência de edificações. Tendo em vista a sua capacidade de arrefecimento da cidade sugere-se para as áreas englobadas pela a UCPZ 1 a criação e manutenção de planos e ações que possibilitem a preservação dessas áreas, principalmente, com a baixa expansão da malha urbana (Quadro 18).

Quadro 18 – Avaliação UCPZ 1

Urban Climatic Planning Zone – UCPZ	Sugestões ao planejamento
 UCPZ 1	<p><b>Preservar as condições ambientais da zona</b></p> <p>1. Preservar as condições climáticas locais; 2. Preservar as áreas de maior altitude, maior disposição de vegetação, unidades de conservação e com presença de recursos hídricos, visto que essas zonas atuam como canais de ventilação para a cidade; 3. Controlar o avanço da impermeabilização do solo e/ou o desenvolvimento da malha urbana para essas áreas; 4. Uso e ocupação em pequena escala orientados ao desenvolvimento sustentável;</p>

Fonte: adaptado de Ng *et al.*, 2012.

Ao correlacionar o mapeamento com o zoneamento urbano da cidade, verifica-se que grande parte da UCPZ 1 encontra-se localizada na zona de adensamento médio (ZAM), logo, essas áreas já apresentam uma orientação urbanística que corrobora as orientações engendradas no trabalho, porém como é uma área que permite o adensamento urbano mesmo que de forma controlada e, ao mesmo tempo, a cidade encontra-se em fase de crescimento e

desenvolvimento da malha urbana, orienta-se que os órgãos municipais estejam atentos para que as diretrizes pensadas no âmbito do plano diretor municipal sejam efetivadas na paisagem local, considerando que a zona mencionada apresenta elevado potencial positivo para a questão climática da urbe.

A UCPZ 2 compreende as zonas que apresentam uma densidade média de urbanização e estão relacionadas a um comprometimento térmico que varia em intensidade de leve a moderado. Sua espacialização é difusa no contexto urbano de Sobral e associa-se, principalmente, as zonas de expansão urbana, sobretudo nas adjacências de áreas de maior densidade urbana. Nessas áreas apesar de apresentarem temperaturas do ar mais elevadas que a UCPZ 1, não apresentam a princípio áreas que devam receber intervenções orientadas a mitigação de ilhas de calor, entretanto, devido a sua capacidade de comprometimento térmico, deve-se manter atenção sobre essas áreas, orientando a expansão dessa zona, visto que a depender das características de expansão da malha urbana, estas podem vir a apresentarem problemas críticos relativos a questão térmica (Quadro 19).

Quadro 19 – Avaliação UCPZ 2

Urban Climatic Planning Zone – UCPZ	Sugestões ao planejamento
 UCPZ 2	<p><b>Orientar o desenvolvimento da zona e mitigar os efeitos climáticos adversos</b></p> <p>1. Como são áreas que já apresentam baixo comprometimento térmico, o avanço das condições urbanas devem ser orientados para a minimização dos impactos climáticos, assim, deve-se observar alguns princípios: menor volume de edifícios, porosidade da malha urbana, disponibilização de espaços abertos e a manutenção da vegetação; 2. Considerando o impacto térmico e avanço dessa zona, deve-se avaliar a volumetria predial e cobertura verde; disposição de novos edifícios considerando as direções predominantes do vento; redução da cobertura do solo para não impedir o movimento do ar; e maximização dos atributos naturais, especialmente plantio de árvores em locais de desenvolvimento e ruas adjacentes.</p>

Fonte: adaptado de Ng *et al*, 2012.

A UCPZ 3 pode ser visualizada nas zonas de maior densidade construtiva e representam em sua maioria zonas urbanas consolidadas, tais como a região central e os bairros circunvizinhos. Nestas áreas nota-se baixa influência dos efeitos bioclimáticos e da ação da ventilação, ao mesmo tempo que se observa temperaturas do ar mais elevadas e, conseqüentemente, efeitos adversos no conforto térmico. Essa zona de planejamento também engloba novas zonas de expansão da cidade, o que evidencia que o desenvolvimento urbano ainda não está relacionado a diminuição da carga térmica da cidade, prevalecendo os modos tradicionais de expansão urbana. Entretanto, sugere-se que essas áreas possam adequar sua

expansão de acordo com as orientações engendradas no trabalho, visto que ainda estão em desenvolvimento.

Embora as zonas englobadas pela UCPZ 3 estejam relacionadas a um elevado nível de comprometimento térmico, estas não estão incluídas nas áreas que sugerem a formação de ilhas de calor no contexto da cidade de Sobral/CE. Portanto, para essa zona de planejamento sugere-se que haja o controle nas intervenções urbanas e a implantação de medidas mitigadoras (Quadro 20) que possibilitem maior arrefecimento e adequação das estruturas urbanas para mitigar o armazenamento de calor na cidade.

Quadro 20 – Avaliação UCPZ 3

Urban Climatic Planning Zone – UCPZ	Sugestões ao planejamento
 UCPZ 3	<p><b>Ações mitigadoras recomendadas</b></p> <p>Como essas zonas apresentam densidade construtiva alta e conseqüentemente impactos na questão térmica, propõe-se que o planejamento urbano da cidade considere algumas questões. 1. Preservar as porções da zona que proporcionam a dinâmica da ventilação, mesmo que em dimensões mínimas. 2. Incremento de vegetação, especialmente plantio de árvores nas ruas e áreas abertas ou alternativas contemporâneas, como os jardins verticais, levando em consideração os estudos ambientais e climáticos. 3. Utilização de coberturas e pavimentos frescos; 3. Como a cidade ainda está em fase de desenvolvimento, deve-se considerar em caso de expansão dessas áreas, a redução da cobertura do solo em equilíbrio ao aumento do volume de construção; considerar os corredores de ventos e introduzir novos, se possível; posicionar os edifícios para se alinharem com as direções predominantes do vento; dispor na paisagem materiais urbanos que comportem menor capacidade de aquecimento e maximizar a sustentabilidade no âmbito do desenvolvimento urbano.</p>

Fonte: adaptado de Ng *et al.*, 2012.

Dentro da UCPZ 3 verificou-se que algumas áreas apresentam elevada interferência na questão climática da cidade, sugerindo a formação de ilhas de calor. Nestas zonas, definidas como UCPZ 4, verifica-se alta densidade construtiva e baixa capacidade de arrefecimento, gerando impactos diretos no conforto térmico ambiente. Estas zonas são as áreas mais críticas do ponto de vista do aquecimento urbano e, portanto, sugere-se que o poder público municipal execute planos e ações que objetivem mitigar as condições térmicas visualizadas.

Na margem direita do Rio Acaraú destaca-se alguns bairros que apresentam maior expressividade na ocorrência da UCPZ 4, a saber, Sinhá Sabóia, Cohab I e II, Cidade Dr. Gerardo Cristino de Menezes e Dom Expedito. Na margem esquerda, o centro se destaca com a maior espacialização dessas zonas. Soma-se também as áreas relativas aos bairros Expectativa, Alto da Brasília, Dom José, Pedrinhas, Campos dos Velhos, Junco, assim como,

pontos de maior densidade construtiva correlacionados a áreas limítrofes a esses bairros. No quadro 21 apresenta-se a localização central das principais zonas associadas a UCPZ 4 e indica-se o raio de abrangência dessas zonas para fins de intervenção, considerando as direções norte, sul, leste e oeste.

Quadro 21 – Pontos centrais relacionados a ocorrência da UCPZ 4

ÁREAS	LATITUDE	LONGITUDE	RAIO DE INTERVENÇÃO (M)
1	3°42'7.19"S	40°19'47.89"O	500 metros
2	3°42'34.52"S	40°20'2.60"O	300 a 500 metros
3	3°42'19.91"S	40°20'29.63"O	400 metros
4	3°41'54.24"S	40°20'49.46"O	300 a 500 metros
5	3°41'12.68"S	40°21'8.63"O	500 a 700 metros
6	3°40'27.81"S	40°20'53.40"O	500 a 600 metros
7	3°41'37.25"S	40°22'0.27"O	200 a 700 metros
8	3°41'14.35"S	40°20'29.98"O	200 metros
9	3°40'31.47"S	40°21'25.55"O	100 metros
10	3°40'34.12"S	40°21'58.16"O	300 metros
11	3°40'28.63"S	40°22'22.41"O	300 metros

Fonte: elaborado pela autora

Visando a intervenção nessas zonas apresenta-se no quadro 22 as ações mitigadoras propostas para a UCPZ 4, onde defende-se a princípio a intensificação da cobertura vegetal, inclusive apoiando-se nas estratégias vigentes no contexto de Sobral. Porém, ressalta-se que a execução das ações mitigadoras deve ser orientada em relação as áreas de maior carga térmica e aquecimento, e não somente considerando vias de acesso de maior circulação. Ademais, como as zonas mencionadas apresentam consolidação espacial e, em sua maioria, situam-se em áreas de interesse histórico, onde as intervenções urbanas devem ser limitadas e consideradas do ponto de vista paisagístico e cultural, sugere-se que estruturas verdes contemporâneas sejam acrescentadas a paisagem como forma de mitigação das questões térmicas locais.

Observa-se que o avanço da ocupação na UCPZ 4 deve ser limitado e quando possível, a estrutura dos equipamentos urbanos deve ser remodelada obedecendo os princípios bioclimáticos. Considerando que essas zonas apresentam baixo potencial de arrefecimento, uma estratégia seria propiciar canais de ventilação dentro dessas áreas, visto que os ventos apresentam forte capacidade para mitigação da carga térmica urbana. Ademais, observa-se que a redução da cobertura e impermeabilização do solo contribuiria para a redução das temperaturas. Somado a isso, destaca-se a substituição dos materiais que armazenam calor nas

estruturas urbanas, a exemplo das áreas asfaltadas que podem ser remodeladas por estruturas que armazenam menos calor, como os pisos intertravados (NG *et al.*, 2012; FERNANDES, 2021).

Quadro 22 – Avaliação UCPZ 4

Urban Climatic Planning Zone – UCPZ	Sugestões ao planejamento
 UCPZ 4	<p><b>Ações mitigadoras recomendadas</b></p> <p>Estas zonas foram individualizadas devido sua capacidade de carga térmica muito alta e baixo arrefecimento, tais porções da cidade apresentaram as temperaturas do ar mais elevadas, configurando ilhas de calor e, conseqüentemente, estresse térmico ambiente. Essas áreas apresentam alta densidade construtiva. 1. Recomenda-se a intensificação da cobertura vegetal, por meio do plantio de árvores em áreas abertas e nas áreas de maior aquecimento, inclusive correlacionando com a implantação de outras estruturas verdes, como os jardins verticais. 2. O ambiente urbano existente deve ser melhorado visando: (a) identificar, respeitar, ampliar e melhorar os corredores de ventos existentes; (b) reduzir a cobertura do solo, reestruturar ruas estreitas e alinhar as direções predominantes do vento. 3. Nota-se que a intensificação do uso, agregando volume ao edifício e/ou cobertura do solo não são recomendados a menos que se apresentem justificativas plausíveis e medidas de mitigação apropriadas.</p>

Fonte: adaptado de Ng *et al.*, 2012.

## 9 CONCLUSÃO

A urbanização e os diferentes processos socioeconômicos resultaram em alterações significativas nas paisagens das cidades, tendo em vista que o desenvolvimento observado nesses ambientes não esteve, necessariamente, associado ao planejamento urbano e, tampouco, climático. Tais aspectos favoreceram a ocorrência de diferentes questões ambientais, sobretudo as relativas ao clima. Dentre estas, as questões térmicas são as mais evidentes, visto que a inserção de materiais que armazenam mais calor, a impermeabilização do solo, a densidade de construções, o aumento da verticalização e a redução drástica da cobertura vegetal, favoreceram um desequilíbrio nos fluxos de energia do sistema clima urbano. As ilhas de calor se destacam nesse cenário e são preocupantes, visto que podem afetar no conforto térmico, na geração de impactos na saúde dos cidadãos e no aumento do consumo de energia, etc.

Atualmente verifica-se que os estudos em clima urbano avançaram na abordagem interdisciplinar considerando o clima de forma integrada, a partir da avaliação dos elementos climáticos, o sítio e os aspectos da urbanização. Nesse contexto, se insere as metodologias UCMMap e LCZ, haja vista, que estas oferecem bases teóricas e metodológicas para explorar todas as características que impõem diferenciações no balanço de energia da cidade em diferentes escalas de análise. Ademais, o cruzamento das informações do geoprocessamento com as coletas microclimáticas, permitem averiguar a acurácia dos dados geoespaciais e avaliar de forma mais contundente o ambiente climático urbano de uma cidade.

Nesse contexto, no trabalho de tese buscou-se cruzar as metodologias UCMMap, LCZ e coletas microclimáticas, visando avaliar o clima urbano da cidade de Sobral/CE. A priori, parte-se do princípio de que essas metodologias são complementares, haja vista que a LCZ favorece a caracterização robusta da cidade, tanto do ponto de vista estrutural quanto climático, embora apresente uma tendência de homogeneização das zonas que interferem na verificação das diferenças de temperaturas. Ao mesmo tempo, o UCMMap oferece uma caracterização térmica da cidade em uma escala de maior detalhe, categorizando as áreas de maior arrefecimento e as que apresentam carga térmica elevada, inclusive sugerindo zonas favoráveis a ocorrência das ilhas de calor em Sobral. Nesse contexto, as coletas microclimáticas foram usadas para validar os dados obtidos na primeira fase da pesquisa e, ao mesmo tempo, compreender a dinâmica da temperatura do ar próxima a superfície.

A construção do UCMMap de Sobral correlaciona-se a elaboração de dez camadas bases que evidenciaram as características climáticas, urbanísticas e ambientais da cidade, a

partir dessas camadas foi possível avaliar o potencial térmico e a capacidade de arrefecimento urbano, resultando, por fim, em um mapa de análises climáticas (UC-AnMap). O UC-AnMap de Sobral evidenciou oito climatopos distribuídos em sua paisagem urbana, onde cada classe apresenta uma relação bem definida com as condições de ventilação ou incremento de calor na cidade. De modo geral, observa-se que Sobral apresenta o predomínio de zonas associadas a maior capacidade de arrefecimento e um potencial baixo a moderado para elevação da temperatura. Isto se justifica pelo predomínio espacial dos climatopos 3, 4 e 5 na paisagem urbana da cidade. Contudo, observa-se que essas áreas estão associadas a menor concentração da malha urbana e aos espaços vazios. As áreas densamente construídas estão associadas a determinação de climatopos de maior carga térmica e embora apresentem uma espacialização menor, seus efeitos apresentam consequências diretas na vida dos cidadãos, visto que são nessas zonas a maior ocorrência das ilhas de calor.

A aplicação da metodologia LCZ formatada por meio dos parâmetros construídos na elaboração do UCMMap e pela indicação de novas feições, resultou no mapeamento da cidade em zonas climáticas homogêneas. Para a cidade de Sobral identificou-se 12 LCZs, destas, 6 zonas se referem aos tipos construtivos disponíveis na paisagem urbana da cidade, a saber, LCZ 2, LCZ 3, LCZ 5<sub>4</sub>, LCZ 6, LCZ 8<sub>10</sub> e LCZ 9. Em relação as LCZs relacionadas ao tipo de cobertura da terra em Sobral, identificou-se 6 zonas, a saber, LCZ A, LCZ B, LCZ C<sub>d</sub>, LCZ E, LCZ F e LCZ G. Cada LCZ foi analisada a partir das características ambientais e de acordo com o tipo de balanço de energia presente na paisagem urbana. Observou-se com a aplicação da metodologia relativa dificuldade em adequar as LCZs para o contexto da cidade de Sobral, tendo em vista que a cidade em estudo apresenta uma paisagem muito heterogênea, com uma mistura significativa de feições e a metodologia LCZ parte do princípio de formação de zonas que apresentam uma certa homogeneidade.

De modo geral, observa-se em Sobral o predomínio de feições associadas a LCZ 3 que se caracteriza pela compactação construtiva associada a baixos gabaritos, tendo em vista que o processo de verticalização da cidade encontra-se em estágio inicial, predominando feições horizontais e prédios de média verticalização. As feições associadas a verticalização (mais de 10 pavimentos) são pontuais na paisagem urbana.

As coletas microclimáticas evidenciaram que a cidade de Sobral apresenta condições de temperatura do ar do bem específicas que se relaciona diretamente com os tipos de usos e ocupação realizados na paisagem urbana. Considerando as áreas abarcadas pelo transecto móvel é possível observar que as zonas de maior densidade construtiva contribuem para a formação de ilhas de calor, tanto no centro urbano quanto nas áreas suburbanas. As

áreas mais vegetadas, sob influência de cotas altimétricas mais elevadas, com presença de brisas advindas de corpo hídricos e parques urbanos se configuraram como áreas de menor temperatura do ar. Convém salientar que as interferências bioclimáticas estão associadas a escala micro e conforme o nível de urbanização de uma área se eleva, os efeitos na redução da temperatura podem ser ainda menores, como se observou nas regiões próximas ao Rio Acaraú e ao Parque Pajeú.

Correlacionando os dados de campo com os mapeamentos, nota-se que os climatopos evidenciados pelo mapa UC-AnMap apresentaram maior correlação com os dados de temperatura do ar coletados via transecto móvel, onde as classes mais próximas de 1 apresentaram temperaturas mais baixas e as classes mais próximas de 8 evidenciaram temperaturas do ar mais elevadas. Isto evidencia que a classificação obteve uma boa acurácia e apresenta de forma satisfatória as características climáticas da cidade de Sobral.

Em relação as LCZs observa-se que a maior correlação entre os dados de campo e a classificação foram visualizadas nas classes relacionadas aos tipos construídos, pois os dados de temperatura do ar nas classes associadas aos tipos de cobertura não saíram como o esperado, como por exemplo a LCZ G que a priori são zonas com temperaturas mais amenas, mas em Sobral esse pressuposto não foi verificado na amostra analisada. Assim, considerou duas hipóteses para essa situação, a primeira delas refere-se a baixa quantidade de amostras, sendo necessário correlacionar com dados de estações fixas com maior distribuição espacial, e a segunda hipótese, parte do princípio de que a formação LCZ em seu caráter zonal, mescla grandes áreas que apresentam pequenas variações em sua temperatura do ar.

Com bases nos dados térmicos obtidos na tese formatou-se um mapa de recomendações ao planejamento (UC-ReMap), indicando para cada zona ações e medidas que podem ser inseridas no planejamento urbano e climático da cidade. Assim, definiu-se quatro UCPZs para a cidade de Sobral. A UCPZ 1 devido suas potencialidades de arrefecimento deve ser preservada no contexto urbano. A UCPZ 2 representa as áreas de expansão da cidade e com baixa consolidação urbana, portanto sua expansão deve ser orientada visando o desenvolvimento sustentável e menor impacto térmico. A UCPZ 3 consiste nas áreas de maior consolidação urbana e que remetem a impactos térmicos, porém como não indicam a ocorrência de fenômenos climáticos, orienta-se o controle da expansão urbana e aplicação de medidas que contribuam para a redução da carga térmica. Por fim, a UCPZ 4 relaciona-se as áreas que sugerem ocorrência de ilhas de calor, essas zonas são apreendidas no trabalho como áreas prioritárias, onde a administração pública municipal deve aplicar medidas mitigadoras em curto prazo, tendo em vista que são zonas que estão associadas ao maior estresse térmico.

Conclui-se, portanto, que a aplicação das metodologias escolhidas para a tese evidenciara de forma contundente as características climáticas da cidade de Sobral. Tais resultados serão cruciais para orientar o planejamento urbano e climático da cidade, haja vista as extensas áreas em processo de ocupação ou mesmo as inúmeras porções da paisagem associadas a vazios urbanos. Percebe-se que a cidade de Sobral tem avançado na expansão de sua malha urbana, tendo em vista que é uma cidade polo no contexto regional em que se insere. As imagens de satélite revelam como a cidade tem se expandido, sobretudo a partir da construção de novos residenciais.

Tal aspecto revela a importância da continuação dos estudos no âmbito climático para a cidade de Sobral, tendo em vista que na atualidade já se visualizou impactos na temperatura do ar e formação de zonas de maior aquecimento. Sugere-se que tais trabalhos avancem no mapeamento microclimático a partir do uso de estações fixas, haja vista que o UCMMap e a LCZ evidenciaram diferentes zonas que apresentam maior capacidade de aquecimento da atmosfera próxima a superfície e que não foram abarcadas pelo transecto móvel devido as limitações de tempo, segurança, equipe e recursos.

## REFERÊNCIAS

- ACERO, J. A. *et al.* Urban climate multi-scale modelling in Bilbao (Spain): a review. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 115, p. 3-11, 2015.
- ALBUQUERQUE, F. R. *et al.* Uma discussão metodológica da viabilidade dos mapas climáticos urbanos para o planejamento urbano-ambiental. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 31, p. 889-908, 2022.
- ALGRETAWEE, H.; RAYBURG, S.; NEAVE, M. Estimating the effect of park proximity to the center of Melbourne city on urban heat island (UHI) relative to land surface temperature (LST). **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 138 p. 374-390, 2019.
- ALVES, M. C.; SILVA, G. R. Análise do território de Sobral - CE a partir da indústria Grendene Calçados S/A. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v.6/7, n. 1, p. 73-83, 2004.
- AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. Intensity of Urban Heat Islands in Tropical and Temperate Climates. **Climate**, São Paulo, v.5, p.91-104, 2017.
- AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. 1ª edição. Curitiba: Appris, 2020. 161 p.
- AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, p. 22-46, 2019.
- AMORIM, M. C. C. T. O clima urbano de Presidente Prudente/SP. 2000. 378 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- AMORIM, M. C. C. T. **Clima urbano: estrutura térmica e ilhas de calor**. In: AMORIM, M. C. D. C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: Editora Outras Expressões, 2013a.
- AMORIM, M. C. C. T. **Ritmo climático e planejamento urbano**. In: AMORIM, M. C. D. C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: Editora Outras Expressões, 2013b.
- AMORIM, M. C. C. T. Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing. **Remote Sensing Applications. Society and Environment**, [s.l.], v. 9, p. 10-16, 2018.
- ANDRADE, C. S. P. Teresina e clima: indissociabilidades no estudo da cidade. **Revista Equador**, Teresina, v. 5, n. 3, 2016.
- ANDRADE, H. O clima urbano – natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, Lisboa, v. 40, n. 80, p. 67-91, 2005.

ARANTES, A. E. *et al.* Análise da temperatura da superfície terrestre e índice de vegetação SAVI para o município de Goiânia, 2009. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu/PR, 2013. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2013.

ARMANI, G. Análise topo e microclimática tridimensional em uma microbacia hidrográfica de clima tropical úmido de altitude. 2009. 123 f. **Tese** (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009

ASSIS, R. J. S.; SAMPAIO, J. L. F. Formação territorial do Ceará: dos caminhos antigos aos projetos ferroviários (1817-1877). **Boletim goiano de geografia**, Goiânia, v. 32, n. 2, p. 139-157, 2012.

ATAÍDE, G. M. *et al.* Interação árvores e ventos: aspectos ecofisiológicos e silviculturais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 523-536, 2015.

ATLAS BRASIL. **Atlas do desenvolvimento humano do Brasil**. Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br>. Acesso em: 25 mai. 2020.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991. 321 p.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e cidade**: abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. Maceió: EDUFAL, 2007. 164 p.

BARBOSA JUNIOR, R. F.; SANTOS, M. J. A urbanização das cidades. In: III Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento. **Anais...**São Paulo, 2014.

BAUMÜLLER, J. *et al.* Klimaatlas Region Stuttgart. Stuttgart: **Verband Region Stuttgart**, 2008.

BEZERRA, P. T. C. Caracterização de ilhas de calor e conforto térmico em áreas urbanas do Semiárido Brasileiro. 2013. 119 f. **Tese** (Doutorado em Recursos Naturais) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2013.

BORGES, V. O. *et al.* Zonas climáticas locais e as ilhas de calor urbanas: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 31, p. 98-127, 2022.

BRASIL, J. P. S. Sobral: tentativa de interpretação histórica de sua ação polarizadora sobre a região. **Revista de Ciências Sociais**, Fortaleza, v. 3, n. 2, p. 105-121, 1972.

BRAZ, A. M.; ÁGUAS, T. A.; GARCIA, P. H. M. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e Índice De Área Foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego ribeirãozinho, município de Selvíria – MS. **Revista Percursos**, Maringá, v. 7, n. 2, p. 05-22, 2015.

BURGOS, L.; ROMERO, M. Contribuições da vegetação nos microclimas urbanos de uma Superquadra do Plano Piloto de Brasília. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, 2010.

BUSATO, F.; LAZZARIN, R. M.; NORO, M. Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results. **Sustainable Cities and Society**, [s.l.], v. 10, p. 251-258, 2014.

CABRAL JUNIOR, J. B.; ALMEIDA, H. A. influência do fenômeno El-Niño sobre o regime pluvial na Microrregião de Sousa, PB. **Revista GEONORTE**, Manaus, Edição Especial, v.2, n.4, p.904 – 915, 2012.

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

CARDOSO, R. S.; AMORIM, M. C. C. T. Urban heat island analysis using the ‘local climate zone’ scheme in Presidente Prudente, Brazil. **Investigaciones Geográficas**, Alicante, n. 69, p. 107-118, 2018.

CARDOSO, R. S. *et al.* Assessment of urban heat islands in small- and mid-sized cities in Brazil. **Climate**, Basel, v. 5, p. 1-13, 2017.

CARLOS, A. F. A. **O espaço urbano**: Novos Escritos sobre a Cidade. São Paulo: FFLCH, 2007.

CARLOS, A. F. A. Uma leitura sobre a cidade. **Cidades**, v. 1, n. 1, 2004, p. 11-30.

CASTRO, F. S.; COSTA, R. A. Clima urbano em cidades pequenas: uma reflexão sobre sua construção teórica-metodológica. In. XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. **Anais...Goiânia/GO**, 2016.

CASTRO, L. G. Zonas climáticas locais em cidades pequenas: relação entre temperatura e morfologia urbana. 2022. 115 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia), Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

CARVALHO, R. F. Nas jurisdições do império: espaço e poder na capitania do Ceará no século XVII. In. XXVII Simpósio nacional de História, 2013, Natal/RN. **Anais...Natal**, 2013.

CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de texto, 2009.

COELHO, M. C. N. Impactos ambientais em áreas urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

COSTA, M. S. *et al.* Sistemas convectivos de mesoscala associados a eventos extremos de precipitação sobre o semiárido do nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. v. 42, p. 317-328, 2019.

CORRÊA, P. B. *et al.* Estudo do fenômeno da ilha de calor na cidade de Manaus/AM: um estudo a partir de dados de sensoriamento remoto, modelagem e estações meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 167-176, 2016.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CRUZ, G. C. F. Clima urbano e vegetação: o papel de uma área de mata na formação de uma ilha fria. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.2, p. 12870-12888, 2021.

DIRKSEN, M. *et al.* Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies. **Urban Climate**, [s.l.], v. 30, p. 1-16, 2019.

DEMUZERE, M.; KITTNER, J.; BECHTEL, B. LCZ Generator: A web application to Create Local Climate Zone Maps. **Frontiers in Environmental Science**, [s.l.], v. 9, p. 1-18, 2021.

DORIGON, L. P. As ilhas de calor urbanas em Jundiaí-SP. 2019. 147 f. **Tese** (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara, 2019.

DORIGON, L. P; AMORIM, M. C. C. T. As classificações dos climas das cidades. **Geografia**, Londrina, v. 30, n.1, p. 211-231, 2021.

DUARTE, D. H. S. O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano. Contribuições a uma abordagem interdisciplinar. 2015. 167p. **Tese** (Livre-Docência), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

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

DUBREUIL, V. *et al.*; Fréquence et intensité des îlots de chaleur à Rennes: bilan de 16 années d'observations (2004-2019). **Climatologie**, Grenoble, v. 17, p. 1-17, 2020.

ESTEVÃO, G. S. **Sensoriamento remoto como contribuição ao estudo das ilhas de calor de superfície em Juazeiro Do Norte, Ceará**. 2016. 153 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

ESTEVÃO, G. S.; ALBUQUERQUE, G. S.; SILVA, M. O. Análise dos contrastes térmicos em episódios de inverno e verão em Juazeiro do Norte, Ceará. **GeoUECE** (online), Fortaleza, v. 09, n. 17, p. 169-193, 2020.

ESTEVÃO, G. S; ZANELLA, M. E. A influência das superfícies naturais e urbanas na temperatura de superfície terrestre. In: XII Simpósio brasileiro de climatologia geográfica. **Anais...Goiânia**, 2016.

FERNANDES, L. A. A construção de um Mapa Climático Urbano para Petrópolis-RJ: cidade, clima urbano e planejamento. 2021. 171 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2021.

FERREIRA, A. G; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

FERREIRA, C. C. M.; PIMENTEL, F. O.; VIANNA, Y. C. G. Proposta metodológica aplicada ao estudo de clima urbano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.12, n.6, p. 2023-2040, 2019.

FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 7, p. 255-270, 2017.

FERREIRA, H. V. L.; UGEDA JÚNIOR, J. C. Variação da temperatura da superfície através de imagens Aster em zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 26, p.394-410, 2020.

FERREIRA, L. S. Vegetação, temperatura de superfície, e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo. 2019. 195 f. **Tese** (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

FERREIRA, L. S.; FERRETO, D.; DUARTE, D. H. S. Mapeando a morfologia urbana: aplicações do método Local Climate Zones (LCZ) em diferentes escalas do projeto. **Pos FAUUSP**, São Paulo, v. 30, n. 56, p. 1-18, 2023.

FOISSARD, X.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H. Defining scales of the land use effect to map the urban heat island in a mid-size European city: Rennes (France). **Urban Climate**, [s.l.], v.29, p. 1-13, 2019.

FORNARO, A. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil?. **Revista USP**, São Paulo, n. 70, p. 78-87, 2006.

FREITAS, R. F. M. *et al.* Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Presidente Prudente, v. 23, p. 1-31, 2021.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; AGUIAR, A. V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. **Revista de estudos ambientais – REA**, Blumenau, v.10, n. 1, p. 49-64, 2008.

FUNCEME. **Chuva máxima diária por município**. Disponível em: <http://www.funceme.br/app-calendario/diario/municipios/maxima/2022/5Sitespesquisados>. Acesso em: 10/06/2023.

GALVAN, C.T. G.; FLÁVIO L. C. Estudo bibliográfico sobre o processo de industrialização, a urbanização e o desenvolvimento da habitação no Brasil. **Revista unioeste**, Francisco Beltrão, v. 9, n. 9, p. 1-20, 2007.

GALVANI, E.; LIMA, N. G. B.; FALCÃO, R. M. Ocorrência de inversão térmica no perfil topoclimático do pico da bandeira, parque nacional do Alto Caparaó, Brasil. In. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra. **Anais...**Coimbra, 2010.

GARCÍA, F. F.; ÁLVAREZ, D. R. Olas de calor e influencia urbana en Madrid y su área metropolitana. **Estudios geográficos**, Madrid, v. 19, n. 265, p. 495-518, 2008.

GARCÍA, F. F. Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. **Investigaciones Geográficas**, Alicante, n.49, p. 173-195, 2009.

GARCÍA, F. F. Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Editorial Síntesis, 1996.

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

GOMES, J. F *et al.* Evolução das diferenças térmicas de temperatura da superfície da zona urbana do município do Crato/CE (1984-2011). **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 21, n. 2, p. 993-1005, 2019.

GRIMMOND, C. S. B. Progress in mensuring and observing the urban atmosphere **Theoretical and Applied Climatology**, [s.l.], v. 84, p. 3–22, 2006.

HANNES, E. Espaços abertos/espaços livres: um estudo de tipologias. **Paisagem e ambiente**, São Paulo, n. 37, p. 121-144, 2016.

HASENACK, H.; FLORES, F. E. V. O ambiente urbanizado e o clima urbano. **Boletim Gaúcho de Geografia**, Porto Alegre, v. 19, 1992.

HOLANDA, V. C. C. Modernizações e espaços seletivos no nordeste brasileiro. Sobral: conexão lugar – mundo. 2007. 280 f. **Tese** (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

HUANG, J. M.; CHANG, H. Y.; WANG, Y. S. Spatiotemporal Changes in the Built Environment Characteristics and Urban Heat Island Effect in a Medium-Sized City, Chiayi City, Taiwan. **Sustainability**, [s.l.], v. 12, p.1-16, 2020.

IBGE. **Arranjos populacionais e concentrações urbanas no Brasil / IBGE, Coordenação de Geografia**. - 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2016. E-Book (PDF).

IBGE. **História e fotos**. 2015. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/sobral/historico>. Acesso em: 16/09/2022.

IBGE. Sobral. In: **Enciclopédia dos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 1959. v. 16, p. 512-523. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv27295\\_16.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv27295_16.pdf). Acesso em: 16/09/2022.

IBGE. **Vista aérea da cidade**: Rio Acaraú: Sobral (CE). 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/bibliotecacatalogo.html?id=437028&view=detalhes#:~:text=O%20Rio%20Acara%C3%BA%2C%20localizado%20na,o%20exerc%C3%ADcio%20de%20suas%20atividades>. Acesso em 14/08/2022.

IPEA. **Urbanização - Metrôpoles em movimento**. 2006. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com\\_content&view=article&id=994](https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=994). Acesso em: 25 mai. 2020.

IPECE. **Perfil básico municipal, 2017, Sobral**. 2017. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Sobral\\_2017.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Sobral_2017.pdf). Acesso em 20/08/22.

JACINTO, L. V.; ELOI, W. M.; SAKAMOTO, M. S. Características climatológicas dos sistemas convectivos de mesoescala no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 69-80, 2022.

JATOBÁ, S. U. S. Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social. **Boletim regional, urbano e ambiental**, [s.l.], v. 05, p.141 -148, 2011.

KALOUSTIAN, N. BECHTEL, B. Local climatic zoning and urban heat island in Beirut. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 169, p. 216 – 223, 2016.

KATZSHNER, L. The contribution of urban climate studies to a new urbanity. **Anais Encac**, 1997.

KOWALSKI, L. F. Influência do albedo de pavimentos no campo térmico de cânions urbanos: estudo de modelo em escala reduzida. 2019. 124 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

LANDSBERG, H. E. **The climate of towns. Man's role in changing the face of the Earth**. Edited by W. L. Thomas. Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research: The University of Chicago Press, 1956.

LEFEBVRE, H. **A revolução urbana**. Tradução de Sérgio Martins. Belo Horizonte: ed. UFMG, 1999.

LIMA JÚNIOR, A. F. **Análise espaço-temporal da dengue em Fortaleza e sua relação com o clima urbano e variáveis socioeconômicas**. 2018. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

LOMBARDO, M. A. **Algumas considerações sobre os estudos de clima urbano no Brasil**. In: ALCOFORADO *et al.* Estudos sobre cidades e alterações climáticas. Centro de estudos geográficos, Universidade de Lisboa, 2008.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor das metrôpoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

LUCENA, A. J. A ilha de calor na região metropolitana do rio de janeiro. 2012. 357 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia civil) – Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

LUCENA, R. L; STEINKE, E. T. Fatores geográficos e padrões de circulação atmosférica como base à compreensão do clima semiárido quente da região Nordeste. In: **II Workshop**

- Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro.** <https://www.researchgate.net/publication/289252154>. 2017.
- LUCIANO, A. C. S.; VALERIANO, M. M. Mapeamento da distribuição de radiação solar devida ao relevo em diferentes períodos, latitudes e condições atmosféricas. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, n.68, v.5, p. 945-956, 2016.
- LOWRY, W. P. Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, [s.l.], 977, p. 129–135.
- MARANHOLI, H. N. G.; GONZALEZ, A. Z. D. **Análise da evolução da ilha de calor na cidade de Cuiabá e alterações durante o evento el niño.** *Revista Equador*, Teresina, v. 7, n. 1, p. 01 – 19, 2018.
- MELO, H. M.; GANHO, N. Esboço de definição de climatopos no espaço urbano e periurbano de Mangualde (Portugal). Aplicação ao ordenamento urbano. **Cadernos de Geografia**, Coimbra, n. 32, p. 95-104, 2013.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.
- MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba/PR). **Revista RAEGA**, Curitiba, n. 9, p. 25-35, 2005.
- MENDONÇA, F. O estudo do clima urbano no Brasil: evolução, tendências e alguns desafios. In. MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. 2 ed., São Paulo: Contexto, 2011.
- MINELLA, F. C. O.; ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. Análise do efeito diurno do fator de visão do céu no microclima e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v.11, n.1, p. 123-143, 2011.
- MONTEIRO, C. A. F. **Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico.** Florianópolis: UFSC, 1991.
- MONTEIRO, C. A. F. **O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: problemas e perspectivas.** São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 54p. (Série Teses e Monografias, 28).
- MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. In. MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. 2 ed., São Paulo: Contexto, 2011.
- MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano.** São Paulo: IGEOG/USP, 1976.
- MONTEIRO, J. B. A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.15, n.1, p. 312-332, 2022.
- MONTEIRO, J. B.; CARACRISTI, I.; ALMEIDA L. Q. (Orgs.) **Clima, recursos hídricos e tecnologias sociais no semiárido.** Sobral, CE: Sertão Cult, 2020.

MONTEIRO, V. S. Zonas climáticas locais e a relação com a morfologia urbana. Estudo de caso: Campinas/SP. 2018. 167 f. **Dissertação** (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018.

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

MOURA, T. *et al.* Urban Climate Map of Salvador, Brazil, using a Land Use Pattern Methodology. **Cybergeo: European Journal of Geography**, [s.l.], n. 1010, 2022.

MUNIZ, F. G. L.; CARACRISTI, I. A percepção da população com o clima da cidade de Sobral – CE. **Revista Equador**, Teresina, v. 8, n. 2, p.449 – 467, 2019.

MUNIZ, L. F. *et al.* Classificação climática para o estado do Ceará utilizando distintos sistemas de caracterização. In: Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos – SBRH. **Anais...** Florianópolis, Santa Catarina, 2017.

NG, E. *et al.* **Final report of Hong Kong urban climatic map and wind environment – feasibility study**. Hong Kong: CUHK, Department of Architecture, 2012.

NG, E.; REN, C. **The urban climatic map: A Methodology for Sustainable Urban Planning**. Routledge, 1st ed, 2015.

NIGRO, M.; CARVALHO, M. L. A. M. A lógica das áreas verdes no contexto da cidade: o caso do semiárido. In. Simpósio cidades médias e pequenas da Bahia. **Anais...** Bahia, 2014.

NUNES, L. H. **Urbanização e desastres naturais**. São Paulo: oficina de textos, 2015.

OLIVEIRA, D. E.; ASSIS, D. C.; FERREIRA, C. C. M. A influência dos corpos hídricos na geração de microclimas urbanos, um estudo de caso da cidade de Juiz de Fora, MG. In: XIV Simpósio brasileiro de Geografia Física Aplicada. **Anais...** Dourados/MS, 2011.

OLIVEIRA, J. R. F. 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.

OLIVEIRA, M. C. Construção de uma carta para determinação de orientação de vertentes. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 5, p. 47-50, 1984.

ONU. **As cidades de todo o mundo querem ser resilientes. Mas o que isso significa?**. 2013. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/as-cidades-de-todo-o-mundo-querem-ser-resilientes-mas-o-que-isso-significa/>. Acesso em: 25 mai. 2020.

ONU. **ONU: mais de 70% da população mundial viverá em cidades até 2050**. 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/onu-mais-de-70-da-populacao-mundial-vivera-em-cidades-ate-2050/>. Acesso em: 25 mai. 2020.

OGASHAWARA, I. Análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**, Barra do Garças, v. 2, n.2, p 57 – 72, 2012.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Routledge, 2nd ed,1987.

OKE, T. R. **Surface climate processes**. In: Bailey, W.G., Oke, T.R., Rouse, W.R. (eds), *Surface climates of Canada*, chapter 4, Montreal, McGill-Queen's University Press, 1997.

OKE, T. R. The urban energy balance. **Progress in Physical Geography**, [s.l.], v.12, 1988.

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

PARTIDÁRIO, M. R. **Indicadores de qualidade do ambiente urbano**. Direção geral do ordenamento do território e do desenvolvimento urbano, Lisboa, 2001.

PINHEIRO, J. Análise espaço-temporal da temperatura de superfície terrestre (TST) como subsídio para o estudo do clima urbano de Fortaleza – Ceará. 2017. 142 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2017.

PIRES, G. E. FERREIRA JUNIOR, L. G. Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa, 2015. **Anais...**João Pessoa: INPE, 2015.

PORANGABA, G. F. O.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 21, p. 225-247, 2017.

PORTO GONÇALVES, C. W. Formação sócio espacial e questão ambiental no Brasil. In. CHRISTOFOLETTI, A. *et al.* **Geografia e meio ambiente**. São Paulo: HUCITEC; Rio de Janeiro: Comissão Nacional do Brasil da União Geográfica Internacional, 1995.

PREFEITURA DE SOBRAL. **Projeto de lei que institui o plano diretor municipal**. Disponível em <https://www.revvisaopsobral.com.br/produtos>. Acesso em: 16/10/2023.

QUEIRÓS, G. R. S.; ROCHA, M. N. Influência da vegetação e corpos hídricos no clima urbano na sede municipal de Quixeramobim–CE. **Revista GeoUECE**, Fortaleza, v. 10, n. 19, p. 1 - 11, 2021.

REIS, A. P. L. *et al.* Levantamento florístico das espécies nativas da caatinga do estado do Ceará. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [s.l.], v.4, n.3, p. 3060-3078, 2021.

RICHARD, Y. *et al.* How relevant are local climate zones and urban climate zones for urban climate research? Dijon (France) as a case study, **Urban Climate**, [s.l.], v. 26, p. 258-274, 2018.

RIBEIRO, C. A. M. Atualização e aprofundamento do mapa de análises climáticas do município de Joao Pessoa-Paraíba. 2013. 157 f. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

RIZWAN, A. M.; DENNIS, Y.C. L.; LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. **Journal of Environmental Sciences**, [s.l.], v. 20, p. 120–128, 2008.

ROCHA, M. A.; SALVI, R. F. Repensando a tipologia de modelos em Geografia. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 21, n.2, p. 146-154, 2017.

ROSSETTI, A. I. N.; PELLEGRINO, P. R. N.; TAVARES, A R. As árvores e suas interfaces no ambiente urbano. **REVSBAU**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 1-24, 2010.

SANT'ANNA NETO, J. L. Clima e organização do espaço. **Boletim de Geografia- universidade estadual de Maringá**, Maringá, v. 16, n.1, 1998.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Escalas geográficas do clima: mudança, variabilidade e ritmo**. In: AMORIM, M. C. D. C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: Editora Outras Expressões, 2013.

SANTOS, J. S. A. Elaboração de mapeamento climático para a identificação de microclimas e suporte ao planejamento urbano. 2021. 194 f. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Artes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. 5. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado**: fundamentos teóricos e metodológicos da Geografia. 3. ed. São Paulo: Hucitec, 1994.

SEPE, P. M.; TAKIYA, H. Atlas ambiental do município de São Paulo – o verde, o território, o ser humano. São Paulo: **SVMA**, 2004.

SEUMA. **Plano de arborização urbana para a sede do município de Sobral**. 2018.

Disponível em:

<https://seuma.sobral.ce.gov.br/iinformativos/planos?view=article&layout=edit&id=178>.

Acesso em: 19/10/2023.

SEUMA. Sobral: **Quatro Anos de Planejamento, Desenho e Controle da Cidade**. 2020.

Disponível em: [https://drive.google.com/file/d/1-](https://drive.google.com/file/d/1-GL7Bp6OLmtfrEt_NZ0w0z4izYArV0P9/view)

[GL7Bp6OLmtfrEt\\_NZ0w0z4izYArV0P9/view](https://drive.google.com/file/d/1-GL7Bp6OLmtfrEt_NZ0w0z4izYArV0P9/view). Acesso em 16/10/2023.

SHINZATO, P. O impacto da vegetação nos microclimas urbanos. 2009. 173 f. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SILVA, A. J. et al. Análise topoclimática em unidade de conservação urbana a partir da temperatura e umidade relativa do ar. **E-Scientia**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 21-30, 2011.

SILVA, A. N. Interações topo-climáticas entre o urbano e o parque natural municipal dos morros, em Santa Maria/RS. 2022. 167 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

SILVA, J. M. O.; MOURA, M. O.; LUNA, V. F. Ilhas de calor urbano em cidade do semiárido nordestino. **GeoTextos**, Salvador, v. 16, p. 107-129, 2020.

SILVA, N. S. *et al.* Ocorrência de ondas de calor com dados de reanálises em áreas do Nordeste, Amazônia e Centro-Sudeste do Brasil. **Revista brasileira de meteorologia**, São Paulo, v. 37, n.4, p. 441 – 451, 2022.

SOARES, L. P. Caracterização climática do estado do Ceará com base nos agentes da circulação regional produtores dos tipos de tempo. 2015. 240 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SOUSA FILHO, M. R. P. Estudo do comportamento térmico na cidade de Quixadá com base nas Zonas Climáticas Locais (LCZ). 2023. 120 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

SOUSA, S. B.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). **Revista RAEGA**, Curitiba, v. 26, p. 75-99, 2012.

SOUZA, R. A. *et al.* **Processo de desertificação no semiárido do nordeste brasileiro e implicações para o seu desenvolvimento sustentável**. Palestra proferida na Comissão de Políticas para o Desenvolvimento do Nordeste - Senado Federal. Brasília, DF, 14 de maio de 1997.

SOUZA, C. A.; PARANHOS FILHO; A. C.; GUARALDO, E. Estudo bibliométrico sobre ilhas de calor urbanas e zonas climáticas locais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 26, p. 51 – 69, 2020.

SOUZA, V. S.; KATZSCHNER, L. Mapa climático como ferramenta de gestão urbana: estudo na cidade de João Pessoa/PB. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, nº 17, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

SOUZA, V. S. Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa /PB. 2010. 144 f. **Dissertação** (Mestrado em arquitetura e urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e urbanização**. São Paulo: Contexto, 1988.

STEWART, I. D.; OKE, T. Local climate zones for urban temperature studies. **American meteorological Society**, [s.l.], v. 93. p. 1879-1900, 2012.

STEWART, I. D. Redefining the urban heat island. **Tese** (PhD em Geografia). University of British Columbia, Vancouver, Canadá, 2011.

SUDENE. **Delimitação do Semiárido - 2021**: relatório final. Recife, 2021 Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acesso em: 19/09/2021.

SUN, C. Y.; KATO, S.; GOU, Z. Application of low-cost sensors for urban heat island assessment: a case study in Taiwan. **Sustainability**, [s.l.], v.11, p. 1-12, 2019.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor: representações espaciais de cidades de pequeno porte por meio de modelagem. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, São Paulo, v. 21, p. 239-256, 2017.

UGEDA JÚNIOR, J. C.; AMORIM, M. C. C. T. Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. **Revista do Departamento de Geografia USP**. São Paulo, v. especial, p. 160-173, 2016.

VIANNA, E. O. O campo térmico urbano: ilhas de calor em Brasília - DF. 2018. 267 f. **Tese** (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

VIANNA, Y. C. G.; PIMENTEL, F. O.; FERREIRA, C. C. M. Modelagem e identificação de potenciais térmicos em Ubá – MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 26, p. 1-28, 2020.

WANG, R. *et al.* Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods: A case study of Hong Kong. **Urban Climate**, [s.l.], v. 24, p. 567–576, 2018.

WERNECK, D. R. Variabilidade da temperatura de superfície diurna entre as zonas climáticas locais (LCZ): um estudo para a área urbana do Distrito Federal. 2022. 174 f. **Tese** (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

YU, Z.; CHEN, S.; WONG, N. H. Temporal variation in the impact of urban morphology on outdoor air temperature in the tropics: A campus case study. **Building and Environment**, [s.l.], v. 181, p. 1-14, 2020.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. especial, p. 126-142, 2014.

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

ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L. **Clima e recursos hídricos no Ceará na perspectiva geográfica**. Fortaleza: expressão gráfica e editora, 2015.

ZANLORENZI, H. C. P.; SILVA FILHO, D. F. O papel da vegetação no controle dos ventos para o conforto térmico. **Revista LABVERDE**, São Paulo, v.9, n.1, p. 74-94, 2018.

ZHOU, X.; CHEN, H. Impact of urbanization-related land use land cover changes and urban morphology changes on the urban heat island phenomenon. **Sci. Total Environ.**, [s.l.], v. 635, p. 1467-1476, 2018.