

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE ARTES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**JULIANA SILVA ALMEIDA SANTOS**

**ELABORAÇÃO DE MAPEAMENTO CLIMÁTICO PARA A  
IDENTIFICAÇÃO DE MICROCLIMAS E SUPORTE AO  
PLANEJAMENTO URBANO**

**VITÓRIA**

**2021**

JULIANA SILVA ALMEIDA SANTOS

**ELABORAÇÃO DE MAPEAMENTO CLIMÁTICO PARA A  
IDENTIFICAÇÃO DE MICROCLIMAS E SUPORTE AO  
PLANEJAMENTO URBANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, na área de concentração “Cidades e Impactos no Território”, na linha de pesquisa “Patrimônio, Sustentabilidade e Tecnologia”.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Cristina Engel de Alvarez.

VITÓRIA

2021

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

S237e Santos, Juliana Silva Almeida, 1995-  
Elaboração de mapeamento climático para a identificação de microclimas e suporte ao planejamento urbano / Juliana Silva Almeida Santos. - 2021.  
194 f. : il.

Orientadora: Cristina Engel de Alvarez.  
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes.

1. Mapas temáticos. 2. Climatologia urbana. 3. Planejamento urbano - Fatores climáticos. 4. Temperatura atmosférica. I. Alvarez, Cristina Engel de. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Artes. III. Título.

CDU: 72

---

JULIANA SILVA ALMEIDA SANTOS

“ELABORAÇÃO DE MAPEAMENTO CLIMÁTICO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE MICROCLIMAS E SUPORTE AO PLANEJAMENTO URBANO”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 23 de novembro de 2021.

Comissão Examinadora

---

Profa. Dra. Cristina Engel de Alvarez  
(orientadora – PPGAU/UFES)

---

Profa. Dra. Daniella do Amaral Mello Bonatto  
(membro interno – PPGAU/UFES)

---

Profa. Dra. Luciana Aparecida Netto de Jesus  
(membro externo – UFES)

## ASSINATURA

Documento original assinado eletronicamente, conforme MP 2200-2/2001, art. 10, § 2º, por:

**CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ**  
CIDADÃO  
assinado em 27/11/2021 21:00:49 -03:00



### INFORMAÇÕES DO DOCUMENTO

Documento capturado em 27/11/2021 21:00:49 (HORÁRIO DE BRASÍLIA - UTC-3)  
por CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ (CIDADÃO)  
Valor Legal: ORIGINAL | Natureza: DOCUMENTO NATO-DIGITAL

A disponibilidade do documento pode ser conferida pelo link: <https://e-docs.es.gov.br/d/2021-VNXRMS>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
DANIELLA DO AMARAL MELLO BONATTO - SIAPE 1292466  
Departamento de Arquitetura e Urbanismo - DAU/CAR  
Em 30/11/2021 às 21:38

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/320215?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
LUCIANA APARECIDA NETTO DE JESUS - SIAPE 1043094  
Departamento de Engenharia Civil - DEC/CT  
Em 06/12/2021 às 01:22

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/324092?tipoArquivo=O>

## **AGRADECIMENTOS**

A conclusão deste trabalho marca o fim de mais um ciclo. Apesar de constar minha autoria, ele é fruto da colaboração de diversas pessoas que contribuíram para a concretização dessa pesquisa. Por este motivo, quero deixar registrado o meu agradecimento, mesmo que em poucas palavras.

Agradeço, primeiramente, à Deus, que me concedeu energia, saúde e condições necessárias para elaborar este trabalho.

À professora Dr<sup>a</sup>. Cristina Engel de Alvarez, minha orientadora, pela confiança e por aceitar o desafio de me guiar nesta jornada. Pelas orientações primordiais que nortearam o desenvolvimento desta pesquisa.

Às professoras Dr<sup>a</sup> Daniella do Amaral Mello Bonatto e Ma. Tatiana Caniçali Casado, por me acolherem tão carinhosamente durante o estágio em docência e pelas trocas de experiências.

Ao professor Dr. Edson Soares Fialho, pelo aceite em participar da banca de qualificação e pelas contribuições quanto aos procedimentos necessários para realização do trabalho de campo.

À professora Dr<sup>a</sup> Luciana Aparecida Netto de Jesus, pelo aceite em participar da banca de defesa do mestrado.

À professora Ma. Fabricia Delfino Rembiski pelo carinho e apoio dedicado desde os tempos da graduação e pela disponibilidade de leitura e revisão do texto final da dissertação.

Ao professor Me. Anderson Azevedo Fraga, pela disponibilidade de leitura e revisão do abstract da dissertação.

Ao Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), por disponibilizar os equipamentos necessários para a realização do monitoramento climático.

Aos meus pais, Letícia e Roberto, pelo apoio incondicional à realização dos meus projetos, pela vibração em cada etapa concluída e companhia nas madrugadas de trabalho. Por serem meus pais, parceiros, amigos, editores e colaboradores.

Ao Ricardo, pela parceria no dia a dia do mestrado, pelo carinho nos momentos de dificuldade, pela ajuda no trabalho de campo e disponibilidade de leitura e revisão do texto final da dissertação.

Ao tio Ricardo Faria, pela contribuição na leitura e interpretação das cartas sinóticas do atlântico sul.

À Ana Clara e a tia Marilena, por disponibilizarem sua residência para realização do trabalho de campo.

Aos colegas de turma e do LPP, pelas trocas construtivas.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa concedida, viabilizando a realização desta pesquisa.

A todos, o meu sincero e carinhoso agradecimento.

E tudo quanto fizerdes, fazei-o de todo o coração, como ao Senhor, e não aos homens.

Paulo de Tarso

## RESUMO

O clima urbano consiste em importante fator para a qualidade da ambiência urbana. Compreender sua dinâmica e inter-relação com o ambiente construído possibilita estabelecer estratégias para ações que culminem na melhoria da qualidade de vida dos seus usuários, arranjos espaciais mais eficientes e a redução dos riscos relacionados à saúde e a segurança humana. Os desafios impostos pela mudança do clima e pelo aumento populacional nos centros urbanos, reiteram a urgência por ações que assegurem uma boa condição ambiental. Ademais, se faz necessário e urgente estudos que visem reduzir a falta de integração entre o conhecimento do clima urbano e as práticas de planejamento. Esta pesquisa teve como objetivo propor uma metodologia de mapeamento climático urbano na escala microclimática, visando à delimitação de diretrizes urbanas capazes de contribuir para a melhoria térmica dos núcleos urbanos. A metodologia foi estabelecida a partir da aplicação de um modelo analítico voltado ao estudo do campo térmico urbano, baseado na estrutura do *Urban Climate Map* (UCMap). O método foi associado a modelagem e medições microclimáticas realizadas em situação sazonal de inverno. Mapas de distribuição espacial das variáveis de temperatura e umidade do ar foram correlacionados aos diferentes campos térmicos e potenciais de aquecimento delimitados pelo modelo, no intuito de avaliar sua acurácia. O estudo em questão foi realizado em recorte urbano situado no bairro Jardim Camburi, localizado na cidade de Vitória (Espírito Santo). Como resultado, foi verificado o efeito positivo dos parâmetros da ventilação urbana, sombreamento (ocasionado pela arborização e construções) e áreas verdes na mitigação dos efeitos adversos da carga térmica. Em contrapartida, foi observado que as áreas de maior potencial de aquecimento correspondem a locais com alta emissividade e volume construído associado a uma maior exposição à incidência solar direta. Em relação ao microclima da área avaliada no trabalho de campo, foram observadas diferenças térmicas entre os pontos monitorados de até 2,6°C no período da manhã, 3,8°C a tarde e 1,7°C no turno da noite. Perante tais resultados, foram elaboradas diretrizes como subsídio ao planejamento urbano local.

**Palavras-chave:** Mapa climático urbano. Clima urbano. Planejamento urbano. Campos térmicos.

## ABSTRACT

The urban climate is an important factor for the quality of the urban environment. Understanding its dynamics and interrelationship with the built environment makes it possible to establish strategies for actions that culminate in improving the quality of life of its users, more efficient spatial arrangements and the reduction of risks related to human health and safety. The challenges imposed by climate change and population increase in urban centers reiterate the urgency for actions to ensure good environmental conditions. Furthermore, there is an urgent need for studies aimed at reducing the lack of integration between urban climate knowledge and planning practices. This research aimed to propose a methodology for urban climate mapping on the microclimate scale, qualified to delimit urban guidelines capable of contributing to thermal improvement of urban centers. The methodology was presented from the application of an analytical model aimed at the study of the urban thermal field, based on the structure of the Urban Climate Map (UCMap). The method was associated with modeling and climate measurements carried out in a seasonal winter situation. Spatial distribution maps of the air temperature and humidity variables were correlated to the different thermal fields and heating potentials delimited by the model, in order to assess its accuracy. The study in question was carried out in an urban area located in the Jardim Camburi neighborhood, located in the city of Vitória (Espírito Santo). As a result, it was verified the positive effect of the parameters of urban capacity, shading (caused by afforestation and buildings) and green areas in mitigating the adverse effects of the thermal load. On the other hand, it was observed that the areas with the greatest heating potential pertain to places with high emissivity and built-up volume associated with greater exposure to direct sunlight. Regarding the microclimate of the area evaluated in the field research, thermal differences were observed between the monitored points of up to 2.6 °C in the morning, 3.8 °C in the afternoon and 1.7 °C in the night shift. Given these results, guidelines were developed as a subsidy for local urban planning.

**Keywords:** Urban climate map. Urban climate. Urban planning. Thermal fields.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Principais componentes climáticos.....	36
Figura 2 – Subsistemas do ecossistema urbano.....	37
Figura 3 – Esquema das camadas climáticas verticais da atmosfera urbana. ....	38
Figura 4 – Perfil da ilha de calor urbana.....	40
Figura 5 – Unidade geométrica do canyon urbano.....	44
Figura 6 – Exemplo de fotografias hemisféricas utilizadas para o cálculo do FVC, em estudo na cidade de Curitiba. ....	44
Figura 7 – Sistema do UCMaP. ....	52
Figura 8 – Conjunto de camadas para elaboração do UC-AnMap de Beijing. ....	56
Figura 9 – UC-ReMap de Beijing.....	57
Figura 10 – Estudos de UCMaP no Brasil. ....	59
Figura 11 – Síntese dos mapas utilizados para produção do mapa de potencial térmico.....	63
Figura 12 – Mapa síntese dos pontos de controle 1 (esquerda) e 2 (direita). ....	63
Figura 13 – Mapa climático da cidade de Arapiraca (AL).....	65
Figura 14 – Mapa climático analítico de Belo horizonte e classes de climatopos. ....	66
Figura 15 – Variáveis utilizadas para a construção do mapa síntese de potencial de aquecimento.....	67
Figura 16 – Mapas produzidos pelo estudo.....	67
Figura 17 – Localização dos pontos de coleta do transecto móvel. ....	68
Figura 18 – Mapa conceitual da pesquisa.....	75
Figura 19 – Esquema simplificado das etapas que compõem o modelo.....	77
Figura 20 – Mapa de localização da cidade de Vitória no Brasil. ....	83
Figura 21 – Mapa de localização da área de estudo.....	86
Figura 22 – Mapa de zoneamento urbano do bairro Jardim Camburi. ....	87

Figura 23 – Demonstração dos procedimentos realizados para inserção de novas edificações. ....	90
Figura 24 – Gráfico de frequência de ocorrência dos ventos (esquerda) e velocidade predominante por direção (direita) para a cidade de Vitória. ....	92
Figura 25 – Mapa de massa construída. ....	95
Figura 26 – Procedimentos realizados para elaboração da imagem raster do MDE. ....	98
Figura 27 – Imagem raster do MDS da área de estudo. ....	99
Figura 28 – Mapa de Fator de Visão do Céu. ....	100
Figura 29 – Modelo 3D geolocalizado da área de estudo. ....	102
Figura 30 – Projeção de sombra na área de estudo para o dia 13 de agosto. ....	103
Figura 31 – Mapa de sombreamento às 09h00 do dia 13 de agosto de 2021. ....	104
Figura 32 – Mapa de sombreamento às 15h00 do dia 13 de agosto de 2021. ....	105
Figura 33 – Mapa de albedo das superfícies da área de estudo. ....	107
Figura 34 – Mapa de emissividade das superfícies da área de estudo. ....	108
Figura 35 – Mapa do potencial de ventilação das vias. ....	110
Figura 36 – Mapa do potencial de concentração de poluição das vias. ....	111
Figura 37 – Mapa de área verdes. ....	113
Figura 38 – Mapa de áreas impermeáveis. ....	114
Figura 39 – Mapa de topografia. ....	115
Figura 40 – Localização dos transectos móveis realizados no trabalho de campo. ....	124
Figura 41 – Localização da estação automática do INMET e da área de estudo da pesquisa. ....	132
Figura 42 – Equipamentos adotados na pesquisa e materiais utilizados para a produção dos abrigos. ....	134
Figura 43 – Padronização dos equipamentos utilizados no trabalho de campo. ....	134
Figura 44 – Posicionamento dos equipamentos para o procedimento de aferição. ....	135
Figura 45 – Mapa de potencial de aquecimento para o período matutino. ....	140

Figura 46 – Mapa de potencial de aquecimento para o período vespertino.....	142
Figura 47 – Mapa de potencial de aquecimento para o período noturno. ....	145
Figura 48 – Cartas sinóticas e imagens do satélite METEOSAT (Color IR 9) dos dias 10 a 15 de setembro de 2021, às 12h00 GTM. ....	147
Figura 49 – Condição do céu nos dias de monitoramento nos períodos: matutino (esquerda) e vespertino (direita).....	148
Figura 50 – Distribuição da temperatura do ar às 09h00 do dia 13/09/2021.....	151
Figura 51 – Distribuição da umidade do ar às 09h00 do dia 13/09/2021. ....	152
Figura 52 – Distribuição da temperatura do ar às 09h00 do dia 14/09/2021.....	153
Figura 53 – Distribuição da umidade do ar às 09h00 do dia 14/09/2021. ....	154
Figura 54 – Distribuição da temperatura do ar às 15h00 do dia 13/09/2021.....	155
Figura 55 – Distribuição da umidade do ar às 15h00 do dia 13/09/2021. ....	156
Figura 56 – Distribuição da temperatura do ar às 15h00 do dia 14/09/2021.....	157
Figura 57 – Distribuição da umidade do ar às 15h00 do dia 14/09/2021. ....	158
Figura 58 – Distribuição da temperatura do ar às 21h00 do dia 13/092021.....	159
Figura 59 – Distribuição da temperatura do ar às 21h00 do dia 14/092021.....	160
Figura 60 – Distribuição da umidade do ar às 21h00 do dia 13/092021. ....	161
Figura 61 – Distribuição da umidade do ar às 21h00 do dia 14/092021. ....	161
Figura 62 – Mapa de potencial de aquecimento para às 09h00 após reajuste dos pesos.....	163
Figura 63 – Mapa de potencial de aquecimento para às 15h00 após reajuste dos pesos.....	164
Figura 64 – Estrutura final da metodologia proposta.....	169

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Normais climatológicas para Vitória (ES) referente ao período de 1981 a 2010. ....	84
Gráfico 2 – Variação térmica no ponto fixo, nos dias 13 e 14 de setembro de 2021. ....	149
Gráfico 3 – Variação da umidade do ar no ponto fixo, nos dias 13 e 14 de setembro de 2021. ....	150

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices urbanísticos da área de estudo. ....	88
Tabela 2 – Valores de albedo ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\epsilon$ ) para cada tipo de material de superfície. ....	91
Tabela 3 – Valores de albedo ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\epsilon$ ) para cada tipo de material de superfície. ....	106
Tabela 4 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de massa construída. ....	116
Tabela 5 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de fator de visão do céu. ....	117
Tabela 6 – Parâmetros adotados para a reclassificação dos mapas de sombreamento. ....	117
Tabela 7 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de albedo .....	118
Tabela 8 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de emissividade. ....	118
Tabela 9 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de ventilação. ....	119
Tabela 10 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de poluição do ar. ....	119
Tabela 11 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de áreas verdes. ....	120
Tabela 12 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de áreas impermeáveis. ....	120
Tabela 13 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de topografia. .	120
Tabela 14 – Dados de temperatura do ar monitorados nos transectos móveis, realizados no período da manhã. ....	189
Tabela 15 – Dados de temperatura do ar monitorados nos transectos móveis, realizados no período da tarde. ....	190
Tabela 16 – Dados de temperatura do ar monitorados nos transectos móveis, realizados no período da noite. ....	191

Tabela 17 – Dados de umidade do ar monitorados nos transectos móveis, realizados no período da manhã. ....	192
Tabela 18 – Dados de umidade do ar monitorados nos transectos móveis, realizados no período da tarde. ....	193
Tabela 19 – Dados de umidade do ar monitorados nos transectos móveis, realizados no período da noite.....	194

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima.....	39
Quadro 2 – Classificação do tipo de ilha de calor urbana. ....	40
Quadro 3 – Vantagens e desvantagens do método de obtenção de dados por meio de pontos fixos e transectos móveis. ....	46
Quadro 4 – Tipos de abordagens do sistema UCMap observadas na literatura científica. ....	50
Quadro 5 – Principais aspectos abordados nas recomendações.....	54
Quadro 6 – Relação das variáveis utilizadas para a identificação de campos térmicos.....	78
Quadro 7 – Parâmetros utilizados no modelo para simulação dos campos térmicos. ....	80
Quadro 8 – Padrão estabelecido para a classificação do fluxo de veículos automotores. ....	89
Quadro 9 – Caracterização dos pontos de amostragem. ....	125
Quadro 10 – Síntese dos principais aspectos relacionados a da carga térmica, observados no estudo. ....	165

## LISTA DE SIGLAS

CA	Coeficiente de Aproveitamento
CLIMAGEO	Laboratório de Climatologia Geográfica e Análise Ambiental
ENCAC	Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído
FVC	Fator de Visão do Céu
ICU	Ilha de Calor Urbana
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LPP	Laboratório de Planejamento e Projetos
MB	Marinha do Brasil
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
NOAA	<i>National Oceanic Atmospheric Administration</i>
PMV	Prefeitura Municipal de Vitória
PVC	Policloreto de Vinila
RNA	Redes Neurais Artificiais
SIG	Sistema de Informações Geográficas
TO	Taxa de Ocupação
TP	Taxa de Permeabilidade Mínima
UBL	<i>Urban Boundary Layer</i>
UC-AnMap	<i>Urban Climatic Analysis Map</i>
UCL	<i>Urban Canopy Layer</i>
UCMap	Mapeamento Climático Urbano
UC-ReMap	<i>Urban Climatic Recommendations Map and Planning Instructions</i>
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UMEP	<i>Urban Multi-scale Environmental Predictor</i>
WAsP	<i>Wind Atlas Analysis and Application Program</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>24</b>
1.1 OBJETIVOS.....	29
1.2 JUSTIFICATIVA.....	30
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	31
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>34</b>
2.1 CLIMA E CIDADE.....	34
<b>2.1.1 Clima urbano.....</b>	<b>35</b>
<b>2.1.2 Desenho urbano e microclima.....</b>	<b>41</b>
<b>2.1.3 Metodologias de monitoramento do microclima .....</b>	<b>45</b>
2.2 MAPEAMENTO CLIMÁTICO URBANO .....	48
<b>2.2.1 Estrutura do sistema UCMa.....</b>	<b>51</b>
<b>2.2.2 Estudos de UCMa no Brasil.....</b>	<b>58</b>
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO.....</b>	<b>72</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES PARA A PESQUISA.....	72
<b>3.1.1 A opção pela metodologia do UCMa .....</b>	<b>72</b>
<b>3.1.2 A opção pela escala espacial de análise .....</b>	<b>72</b>
<b>3.1.3 Delimitação das etapas de pesquisa .....</b>	<b>73</b>
3.2 CONCEPÇÃO E ESTRUTURAÇÃO.....	76
<b>3.2.1 Escopo preliminar da metodologia proposta.....</b>	<b>76</b>
3.3 APLICAÇÃO .....	82
<b>3.3.1 Caracterização climática da cidade de Vitória .....</b>	<b>83</b>
<b>3.3.2 Recorte Territorial.....</b>	<b>85</b>
<b>3.3.3 Elaboração de base de dados geocodificada e mapas básicos.....</b>	<b>88</b>
<b>3.3.4 Elaboração dos mapas temáticos .....</b>	<b>92</b>
<b>3.3.5 Classificação e ponderação dos mapas temáticos .....</b>	<b>116</b>
<b>3.3.6 Construção da matriz de potencial de aquecimento .....</b>	<b>121</b>
<b>3.3.7 Validação do modelo: monitoramento climático .....</b>	<b>122</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>138</b>
4.1 MAPA SÍNTESE DE POTENCIAL DE AQUECIMENTO .....	138
4.2 MONITORAMENTO CLIMÁTICO .....	146

4.2.1	Análise sinótica da coleta de inverno .....	146
4.2.2	Correção da defasagem de tempo .....	149
4.2.3	O campo térmico às 09h00 .....	150
4.2.4	O campo térmico às 15h00 .....	154
4.2.5	O campo térmico às 21h00 .....	159
4.3	CORRELAÇÃO ENTRE O MAPA SÍNTESE GERADO PELO MODELO E OS DADOS AFERIDOS <i>IN LOCO</i> .....	162
4.4	DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO URBANO .....	165
4.5	APLICABILIDADE DA METODOLOGIA DESENVOLVIDA .....	167
4.6	ESTRUTURA FINAL DA PROPOSTA METODOLÓGICA.....	168
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>171</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>177</b>
	<b>APÊNDICE – DESCRIÇÃO DOS DADOS AFERIDOS NO MONITORAMENTO CLIMÁTICO .....</b>	<b>189</b>

01

---

**INTRODUÇÃO**



## 1 INTRODUÇÃO

Estudos observacionais sobre o sistema climático global indicaram que a média da temperatura da Terra está aumentando, sendo que os últimos cinco anos foram os mais quentes já registrados desde o período pré-industrial (*WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2020*). Como consequência deste aquecimento, foi percebido o aumento na frequência, intensidade e duração de eventos climáticos extremos, tais como a ocorrência de ondas de calor urbanas, intensificação de secas e ampliação na frequência e intensidade das precipitações (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2019*).

Frequentemente, eventos climáticos são destaque na mídia nacional e internacional. Em 2019, a ocorrência de ondas de calor resultou em recorde de temperatura em diversas capitais brasileiras, como Cuiabá e Porto Velho (*DOIS..., 2019*). Esse episódio também ocorreu em países da Europa, a exemplo da Alemanha onde as altas temperaturas prejudicaram o sistema de fornecimento de energia. Na França, o clima quente agravou o problema da poluição em áreas urbanas, levando as autoridades a proibirem temporariamente a circulação de veículos. E, ainda, na Holanda, um grupo de crianças passou mal devido ao calor excessivo e anormal para a região (*ONDAS..., 2019*).

Os fenômenos climáticos despertam grande preocupação não apenas em consequência de seus possíveis efeitos sobre as infraestruturas urbanas e o bem-estar da população, mas também em função dos problemas socioambientais oriundos do processo de urbanização das cidades, que tendem a ser potencializados pela mudança do clima (*BRASIL, 2016*). Tal problemática desempenha especial destaque em países emergentes como o Brasil, cujos assentamentos urbanos são caracterizados pela carência de infraestrutura adequada, presença de moradias irregulares, degradação ambiental, entre outros aspectos.

Esse cenário é detalhado por Maricato (2013) ao descrever o processo de urbanização das cidades brasileiras. A urbanização ocorrida no Século XX, por vezes caracterizada pelo domínio das forças de mercado e ilegalidade na ocupação do solo, contribuiu para a produção de centros urbanos desiguais e ambientalmente frágeis.



Como consequência dos problemas relacionados à infraestrutura dessas áreas, são observados episódios de enchentes graves como o ocorrido nos Estados do Espírito Santo, Minas Gerais e São Paulo no início do ano de 2020. No Espírito Santo, as fortes chuvas causaram nove mortes, deixaram mais de 10.000 pessoas desalojadas e quase 2.000 desabrigadas (VALENTE, 2020).

Embora a escassez de dados científicos dificulte o estabelecimento de uma correlação direta entre o fenômeno de aquecimento global e os eventos climáticos extremos ocorridos recentemente em escalas regionais e locais (*NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, ENGINEERING AND MEDICINE*, 2016), é inegável a fragilidade ambiental das áreas urbanas brasileiras frente a esses episódios. Como consequência, são percebidas inúmeras perdas humanas, ambientais e materiais após sua ocorrência, como evidenciado no episódio supracitado das graves enchentes ocorridas no início do ano de 2020.

Conforme Jézéquel *et. al* (2018), a atribuição de eventos climáticos extremos é um campo de pesquisa relativamente novo, sendo que algumas metodologias foram desenvolvidas no intuito de analisar a influência das mudanças climáticas na ocorrência de eventos climáticos individuais. Se por um lado, ainda há um vasto campo científico a ser desenvolvido para elucidação da gênese dos eventos climáticos extremos recentes, em contrapartida, não restam dúvidas de que o modo de planejamento urbano atual é insuficiente para o enfrentamento do problema.

As cidades exercem um importante papel na temática das mudanças climáticas em função do natural adensamento de pessoas que vivem e trabalham nestas áreas. No ano de 2018, foi estimado que 55,3% da população mundial residia em assentamentos urbanos (*UNITED NATIONS*, 2018). Logo, nota-se a importância da ambiência urbana como condicionante essencial que possibilite à população exercer suas diversas atividades. Cabe ressaltar também, que as cidades concentram a maior parte dos ativos construídos e das atividades econômicas, aspectos que contribuem para que esses ambientes estejam altamente vulneráveis à mudança do clima (PAINEL BRASILEIRO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016).

O arquiteto dinamarquês Jan Gehl, em sua obra intitulada “Cidades para Pessoas” (2013), ressalta a importância da relação entre espaços públicos e a sociedade. Na perspectiva do autor, a cidade atua como apoio básico da vida social, sendo,



portanto, fundamental a presença de espaços públicos que propiciem segurança e conforto aos seus usuários. Nesse sentido, Gehl (2013) ainda afirma que as crescentes discussões acerca de um modelo de planejamento urbano, que preze pela humanização dos espaços, evidenciam a necessária melhoria da qualidade de vida nas cidades.

Segundo Lamas (2010), a forma urbana como resultado das ações de planejamento e organização dos elementos morfológicos no espaço urbano, pode produzir ambientes que proporcionem conforto e comodidade aos cidadãos e que ainda sejam esteticamente estimulantes e acolhedores às atividades humanas. Nesse sentido, Werneck e Romero (2018) afirmam que a configuração dos arranjos espaciais associada às ações antropogênicas pode contribuir para a formação de microclimas de condição climática desfavorável (WERNECK; ROMERO, 2018).

Contudo, para Jacobs (2009), os projetos urbanos não devem ser desenvolvidos de modo a impor uma uniformidade espacial rígida como meio de alcançar um determinado resultado, mas serem pautados em análises do conjunto urbano que permitam diagnosticar as condições necessárias, capazes de suprir as carências locais e apoiar a ordem e dinâmica existentes.

Estendendo o conceito de “Arquitetura Bioclimática” para o repertório do espaço urbano, o próprio ambiente construído atua como filtro dos elementos do clima adversos às condições de saúde e conforto térmico do usuário, por meio do repertório do desenho urbano como vegetação, ruas, áreas abertas e outros. (ROMERO, 2013). Diante da complexidade de questões que influem na ambiência urbana e seus consequentes impactos, percebe-se que o planejamento urbano, por meio de suas ferramentas de ordenamento do território, consiste no principal mecanismo para nortear o desenvolvimento das cidades.

Para esse fim, pressupõe-se que gestores e planejadores compreendam os aspectos climáticos do território, as estruturas e dinâmicas espaciais de organização e funcionamento do território, potencialidades e vulnerabilidades locais, entre outros parâmetros. Além disso, é de suma importância que tais aspectos sejam incorporados em normas técnicas e legislações urbanas, considerando não somente a realidade presente como a futura, que tende a ser agravada com as mudanças climáticas globais.



No entanto, na prática da administração pública, tais parâmetros nem sempre possuem força ou relevância suficientes para orientar as intervenções no espaço urbano. Conforme relata Bonatto (2019), o planejamento urbano tradicionalmente implementado nas cidades ocorre de forma fragmentada, desarticulado com o planejamento ambiental e da paisagem, com excessiva ênfase nas estruturas cinzas, elevados índices de ocupação do solo e impermeabilização; cujo processo acaba comprometendo a paisagem urbana e a qualidade do ambiente construído.

Embora os estudos sobre climatologia urbana tenham adquirido maior relevância nos últimos anos, tanto no âmbito acadêmico como profissional, tais avanços ainda não resultaram em expressivas alterações no modo de produção do território. Conforme discorrem Barbirato, Souza e Torres (2016), em geral as legislações vigentes de apoio ao planejamento urbano – como planos diretores, códigos de obras e normas técnicas – ainda mantêm seus enfoques tradicionais.

Destaca-se que esta postura contribui não apenas para a manutenção de concepções projetuais e práticas construtivas inadequadas aos novos tempos, como, também, para a consolidação de assentamentos urbanos de baixa qualidade ambiental. Tendo em vista a falta de integração entre o conhecimento do clima urbano e as práticas de planejamento urbano, Ng (2012) ressalta a necessidade de reformulação do ato de planejar as cidades. Nesse sentido, o autor explica que é preciso considerar, entre outros quesitos, a importância dos aspectos climáticos para o alcance da resiliência urbana e conforto térmico da população.

Ao longo dos últimos anos, reflexões semelhantes foram pontuadas por diversos autores do campo da climatologia, urbanismo e geografia. Segundo Mendonça (2003), a intensificação da degradação ambiental concomitante à crescente produção de estudos acerca do ambiente urbano e o planejamento das cidades, refletem os expressivos paradoxos que marcam o contexto urbano, social, político e econômico moderno.

Ainda no final do século XX, Eliasson (2000) já ressaltava o distanciamento e baixo impacto que as questões climáticas exerciam tanto no processo de planejamento urbano, como em sua aplicação prática nas cidades. Embora mais de vinte anos tenham se passado desde a publicação do estudo, percebe-se que tais observações continuam extremamente pertinentes atualmente. Destaca-se que a incorporação de



princípios da climatologia ao planejamento urbano é uma estratégia importante que deve ser acrescentada a outras que visam promover assentamentos mais sustentáveis (OKE, 1984; MILLS, 2006).

Por sua vez, as inevitáveis consequências do fenômeno de mudanças climáticas e os desafios impostos pela crescente tendência de aumento populacional nos centros urbanos, reiteram a urgência por práticas que assegurem a resiliência e adequação ambiental dos espaços construídos.

Como estratégia de enfrentamento às questões climáticas, o mapeamento climático urbano (UCMap - *Urban Climate Map*) tem sido adotado em pesquisas realizadas em diferentes contextos urbanos. A ferramenta possibilita diversas aplicações e abordagens como a investigação do fenômeno de ilha de calor urbana (LECONTE *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2016; CHENG, *et al.* 2019); o estabelecimento de diretrizes de uso e ocupação do solo (HE *et al.*, 2015; NG *et al.*, 2015; MASIERO; SOUZA, 2018); a análise da morfologia urbana associada à classificação de zonas climáticas locais (HOUET; PIGEON, 2011; ZHENG *et al.*, 2018); entre outras perspectivas.

Segundo Ren, Ng e Katzschner (2011), os principais benefícios do UCMap são a facilidade de leitura e visualização dos fenômenos climáticos urbanos em um mapa bidimensional e a possibilidade de integração de fatores climáticos e considerações de planejamento urbano. Embora estudos climáticos com base científica tenham sido produzidos no passado, na prática, a aplicação do conhecimento produzido tem sido um desafio, devido à dificuldade por parte dos cientistas em transformar as informações climáticas produzidas para uma linguagem adequada para incorporação em políticas públicas, e em decorrência de limitações na formação de gestores e planejadores urbanos, que dificulta a compreensão dos dados técnicos e termos científicos (REN *et al.*, 2013).

Diante da crescente demanda por conhecimento sobre o clima urbano e integração dos dados climáticos ao processo de planejamento das cidades, os seguintes **questionamentos** impulsionaram a formulação da pesquisa:

1. É possível a elaboração de uma proposta metodológica que auxilie gestores e planejadores urbanos a identificar espacialmente os recintos urbanos mais frágeis do ponto de vista térmico?



2. Quais parâmetros devem ser considerados para obtenção de uma análise eficaz e congruente com a dinâmica climática do local avaliado?
3. Como sistematizar tais informações para que o conhecimento produzido a partir da análise climática possa ser efetivamente útil ao planejamento urbano?
4. Como as diretrizes urbanas definidas a partir da análise climática podem contribuir para o desenvolvimento de instrumentos que resultem em melhoria do microclima urbano?

Tendo como **premissas** a necessidade de incorporação dos aspectos climáticos no processo de planejamento urbano, a imposição por novos modos de gerir e planejar o desenvolvimento das cidades, a indiscutível evidência de que os problemas climáticos atuais são consequências de escolhas feitas nas ações de planejamento e produção do território e os comprovados benefícios advindos da implementação de estudos de mapeamento climático urbano, foi estabelecida a seguinte **hipótese** de trabalho:

É possível oferecer aos gestores e planejadores urbanos uma proposta metodológica para análise climática, que oriente e facilite a tomada de decisão quanto ao planejamento urbano, com ênfase na melhoria da condição microclimática.

## 1.1 OBJETIVOS

Com o propósito de avaliar a hipótese formulada e elaborar um delineamento coerente de investigação, foram estabelecidos alguns objetivos para o estudo. Nesse sentido, o **objetivo geral** da pesquisa é propor uma metodologia de mapeamento climático urbano na escala microclimática, visando auxiliar na elaboração de diretrizes capazes de contribuir na melhoria térmica do microclima de aglomerados urbanos. Para isso, foram estabelecidos os seguintes **objetivos específicos**:



1. Identificar métodos existentes de mapeamento climático urbano, visando à delimitação de procedimentos e variáveis compatíveis aos propósitos da pesquisa;
2. Identificar parâmetros do desenho urbano adotados no planejamento de ambientes urbanos de clima tropical, capazes de influenciar na condição térmica do microclima;
3. Realizar um estudo de caso piloto em recorte territorial situado na cidade de Vitória (Espírito Santo) para avaliar a aplicabilidade da metodologia proposta.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O clima urbano, objeto deste estudo, revela-se como fator preponderante para o equilíbrio da ambiência urbana e auxílio na busca pela melhoria da qualidade de vida nas cidades. Logo, compreender suas implicações auxilia na elaboração de estratégias que resultem em melhores condições de vida aos seus usuários, arranjos espaciais mais eficientes e a redução dos riscos relacionados à saúde e à segurança humana (LIU; SONG; YU, 2017; LEMOS; OSCAR JÚNIOR; MENDONÇA, 2021). Nesse sentido, ressalta-se que o planejamento bioclimático das cidades contribui para a preservação da paisagem, o equilíbrio dos ecossistemas e, além disso, incentiva a melhoria nas inter-relações entre o meio ambiente natural e construído.

Este estudo justifica-se pela relevância da temática no contexto atual. Conforme enfatiza Vasconcellos (2015), os problemas decorrentes de eventos climáticos extremos provocam cada vez mais perdas financeiras, humanas e ecológicas. Ainda, segundo a autora, o emprego de conhecimento na busca por soluções às adversidades climáticas enfrentadas hoje, além de uma necessidade, é também uma obrigação profissional; recaindo sobre este último, o desafio em buscar novas formas de atuação que possibilitem o desenvolvimento urbano em consonância com as questões ambientais e socioculturais.

Sobretudo, entende-se que os problemas enfrentados pela sociedade não apenas evidenciam os equívocos estabelecidos no modo de habitar e produzir o espaço urbano atual, como também representam oportunidades de análise e



redirecionamento das ações futuras. Nesse sentido, embora possua alguns limites, esta pesquisa visa contribuir no aprimoramento do processo de planejamento urbano e suas implicações práticas que resultem em melhoria na qualidade da ambiência urbana nas cidades.

### 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está organizada em seis capítulos, sendo estruturada conforme detalhado a seguir.

O **primeiro capítulo** consiste na introdução, no qual é realizada a inserção do tema de pesquisa no contexto atual. Além disso, são apresentados os aspectos que justificaram o desenvolvimento do trabalho, assim como o objeto de análise, a hipótese, as premissas, objetivos da pesquisa e estrutura dos capítulos. É tratada a importância dos centros urbanos diante da problemática de mudança do clima e evidencia-se a necessidade de integração entre os estudos climáticos e o planejamento urbano.

O **segundo capítulo** consiste na fundamentação teórica da pesquisa. Inicialmente, foi realizada uma contextualização acerca da relação entre clima e habitat humano. Em seguida, apresenta-se uma síntese conceitual sobre a temática do clima urbano, princípios relacionados ao desenho urbano e metodologias de monitoramento. Posteriormente, foi realizado um breve histórico acerca do método de mapeamento climático urbano. Por fim, foi abordada a definição, estrutura metodológica e abordagens de investigação usualmente adotadas.

No **terceiro capítulo** é apresentada a metodologia que norteou o desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, foram detalhados os parâmetros e métodos que fundamentaram os procedimentos adotados no escopo preliminar da metodologia de mapeamento climático urbano proposta pela pesquisa, no que diz respeito à coleta, tratamento e análise dos dados. Em seguida, foi definido e caracterizado o recorte territorial no qual foi realizado o estudo de caso para validação da metodologia proposta.

O **quarto capítulo** contempla os resultados da pesquisa. Nesse sentido, foram descritos e analisados os dados obtidos a partir da aplicação da metodologia



---

proposta e da realização do monitoramento climático. Em seguida, foram detalhados os ajustes realizados para aperfeiçoamento do modelo. Por fim, foram definidas diretrizes para o planejamento urbano.

O **quinto capítulo** compreende as considerações finais da pesquisa. Foram abordadas reflexões a respeito do processo de produção do trabalho, tais como contribuições da pesquisa, a aplicabilidade da metodologia proposta, situações não previstas e dificuldades encontradas, avaliação do cumprimento dos objetivos delimitados e orientações para futuras pesquisas.

Por fim, foram listadas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa.

02

---

**REFERENCIAL  
TEÓRICO**



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresenta-se o conteúdo obtido a partir da revisão bibliográfica dos principais assuntos referentes ao tema da pesquisa. Os conceitos detalhados a seguir embasaram o desenvolvimento do trabalho, principalmente no que diz respeito aos procedimentos metodológicos.

### 2.1 CLIMA E CIDADE

O clima consiste em importante fator tanto para o ambiente natural como construído. Como resultado da dinâmica atmosférica de um determinado local, é responsável pela formação e manutenção da biodiversidade, pelo favorecimento de condições adequadas – ou não – de habitabilidade, entre outros aspectos. A relação entre clima e habitat humano é antiga e, ao longo dos anos, foi sendo alterada em função das demandas e forma de vivência de cada sociedade.

Desde a pré-história, os seres humanos vêm modificando o ambiente natural em busca da criação de novas formas de habitabilidade. O princípio de harmonia com a natureza, anteriormente ao advento da tecnologia e da Revolução Industrial, marcou suas construções. Na cultura grega, por exemplo, os espaços eram criados a partir da captação do “espírito do lugar” e geralmente as edificações eram implantadas em função da orientação solar. Por sua vez, no século I d.C., o arquiteto Vitrúvio sugeriu alterações na orientação de ruas e vielas com base em estudos, por ele realizados, sobre a influência da orientação das edificações e assentamentos nas condições de conforto. De forma semelhante, a estrutura das cidades medievais apresentava vários elementos para adaptação ao clima local, tais como a construção de ruas estreitas e com curvas abruptas, como forma de proteção contra o vento frio do inverno (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2016).

Diversos padrões de ocupação foram desenvolvidos em consonância com o condicionamento natural do contexto em que estavam situados. O conhecimento adquirido sobre os princípios climáticos, aliado à evolução das técnicas construtivas, permitiu que os traçados das cidades e as concepções arquitetônicas se ajustassem às demandas sociais da época.



Embora desde a antiguidade a relação entre aspectos climáticos e assentamentos humanos já representasse objeto de observação e análise, segundo Mendonça (2003), apenas a partir da Revolução Industrial que surgiram estudos sobre a condição de vida urbana propriamente dita. Como consequência das significativas modificações introduzidas pelo processo de urbanização, no século XX a temática adquire maior relevância por parte de cientistas, políticos, administradores, entre outros, contribuindo para o desenvolvimento de pesquisas na área.

Dentre os estudos realizados, destaca-se a publicação “O Clima de Londres” do inglês Luke Howard, em 1818. De acordo com Mills (2015), o estudo desenvolvido por Howard registrou, pela primeira vez, o aumento da temperatura nas partes mais densas da metrópole e, por este motivo, é considerado pioneiro na descrição do fenômeno hoje conhecido por ilhas de calor urbanas.

A partir da constatação das diferenças de temperatura verificadas em centros urbanos e áreas do seu entorno imediato, surgiram uma variedade de estudos analíticos com ênfase na identificação das diferenças físicas existentes na camada limite atmosférica dessas áreas. Esse período representou o início de uma nova área de conhecimento e o fenômeno passou a ser investigado em outros países da Europa, como Alemanha e França (LANDSBERG, 1981).

Dessa forma, o tópico de pesquisa adquiriu grande relevância em virtude das significativas influências ocasionadas pelas atividades humanas na atmosfera local das cidades. Desde então, foi observado um crescente fenômeno de expansão dos centros urbanos e aumento demográfico. Como consequência, uma série de impactos foram verificados na qualidade do ar, temperatura, recursos naturais, entre outros aspectos. Desse modo, apresenta-se a seguir uma síntese conceitual sobre o clima urbano, sua relação com o planejamento das cidades e as principais metodologias de monitoramento climático.

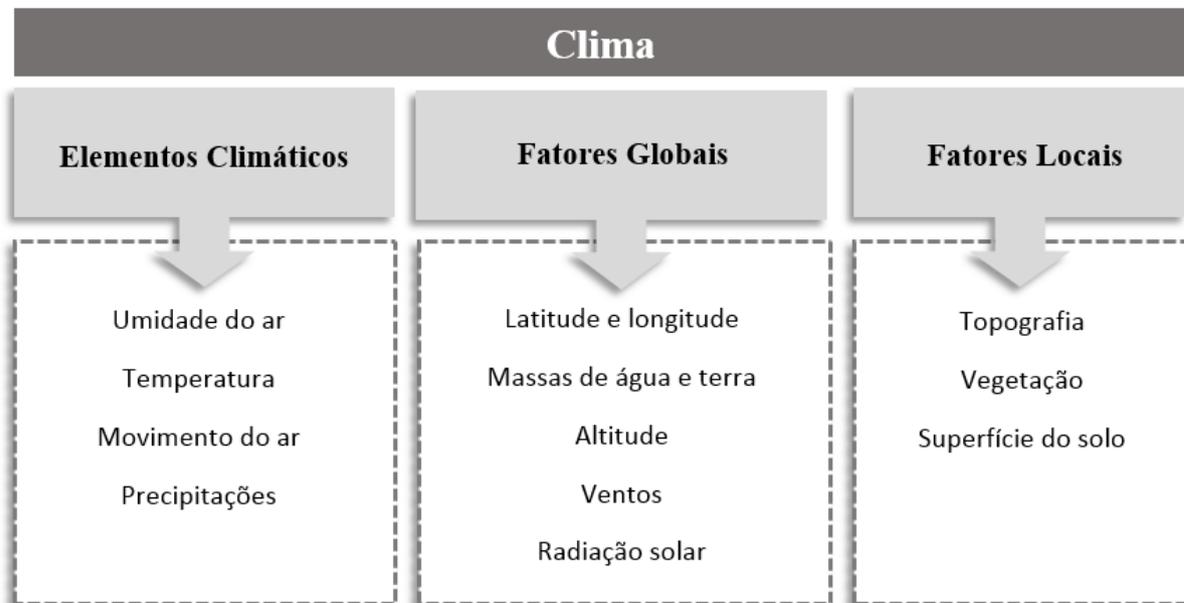
### **2.1.1 Clima urbano**

O clima é o resultado dinâmico de fatores globais, locais e elementos que caracterizam uma determinada localidade. Por este motivo, pode-se dizer que consiste na integração dos estados físicos característicos e permanentes do



ambiente atmosférico de um determinado local geográfico (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2016). Na Figura 1, apresentam-se os principais aspectos que contribuem para a formação do clima.

Figura 1 – Principais componentes climáticos.



Fonte: elaborado a partir de Barbirato, Souza e Torres (2016).

Segundo Romero (2013), os elementos climáticos são aspectos que representam os valores relativos a cada tipo de clima e possibilitam sua respectiva classificação. Por sua vez, os fatores globais são aqueles que condicionam, determinam e originam o clima. Por sua vez, os fatores locais são atributos relacionados às características de um determinado lugar – seja uma cidade, bairro ou rua – que condicionam, determinam e dão origem ao microclima daquele ambiente específico.

Desse modo, compreende-se que o clima de uma determinada região resulta da combinação de fatores espaciais e geomorfológicos. Ressalta-se, ainda, que os elementos climáticos constituem aspectos que possibilitam não apenas a classificação quanto ao tipo de clima, mas também o entendimento em relação à dinâmica atmosférica de um determinado ambiente.

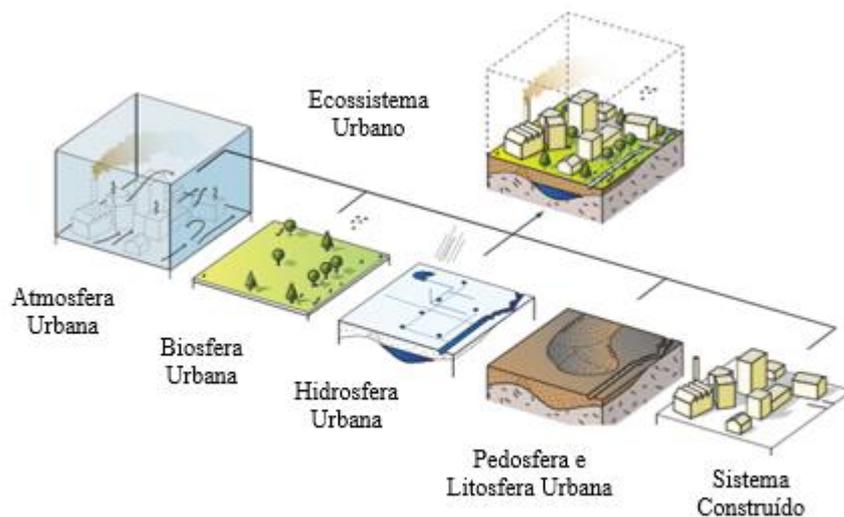
O clima urbano, segundo Mascaró (2004, p. 31.), “[...] é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”. Nesse sentido, Oke *et al.* (2017) explicam que a cidade é considerada um sistema aberto no qual seres vivos interagem com o ambiente físico circundante. Como tal, a associação dos seus



componentes implica influências mútuas, ou seja, ao mesmo tempo em que as atividades humanas contribuem para a modificação do clima, a atmosfera provoca impactos na infraestrutura, saúde e segurança das cidades.

Ainda segundo os autores, os ecossistemas urbanos são formados pela população biológica de organismos – como vegetação, animais e pessoas – e pelo ambiente abiótico dos centros urbanos. No que diz respeito ao ambiente biofísico, o ecossistema urbano pode ser dividido em subsistemas, conforme observado na Figura 2.

Figura 2 – Subsistemas do ecossistema urbano.



Fonte: adaptado de Oke *et al.* (2017, p.3).

O clima urbano é o resultado das dinâmicas desenvolvidas nos diferentes subsistemas que compõem o ecossistema urbano. De acordo com Mills (2015), as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera local são significativamente alteradas nas cidades. A supressão da cobertura natural do solo resulta na redução da capacidade de infiltração das águas pluviais, ocasionando frequentes episódios de inundações. Por sua vez, a ausência de corpos d'água e vegetação possibilita que as superfícies transmitam energia para a atmosfera na forma de calor direto, resultando no aumento da temperatura do ar.

Ainda segundo o autor, a própria geometria urbana influencia no ambiente, por meio do retardamento e canalização do fluxo de ar, pela projeção de sombras e obstrução do acesso ao céu. Além disso, sabe-se que as atividades exercidas nas cidades exigem uma produção constante de energia que, conseqüentemente, gera resíduos



– na forma de materiais e/ou energias – que são depositados no meio ambiente e alteram a estrutura térmica da atmosfera urbana.

Um aspecto muito importante na elaboração de estudos sobre clima refere-se ao entendimento do conceito de escalas. Ressalta-se que as mesmas podem ser classificadas segundo dois tipos: escalas horizontais e escalas verticais. No que diz respeito à primeira, Chandler (1976) propôs uma divisão hierárquica que, ainda hoje, é utilizada nos estudos de climatologia.

Assim, foram estabelecidas: (1) a macroescala, que abrange as modificações impostas pelos regimes sazonais de temperatura e precipitação; (2) a mesoescala, que varia de local para local e compreende as alterações ocasionadas pelas características topográficas dos sítios; e (3) a microescala, que corresponde aos climas verificados em ruas, parques e outros espaços abertos da cidade.

Por sua vez, Oke (2002) propôs a divisão da estrutura vertical da atmosfera urbana em duas camadas distintas, como sendo: (1) a *Urban Boundary Layer* (UBL), ou em português, camada limite urbana, que corresponde à área de influência climática da cidade, que pode se estender sobre a camada limite rural e originar as chamadas plumas urbanas; e (2) a *Urban Canopy Layer* (UCL), ou em português, camada de cobertura urbana, que consiste na camada de ar situada entre o solo e a altura média dos elementos presentes na estrutura urbana que, dependendo do contexto adota-se como referência as árvores ou edifícios. Na Figura 3 apresenta-se um esquema para representação das escalas supracitadas.

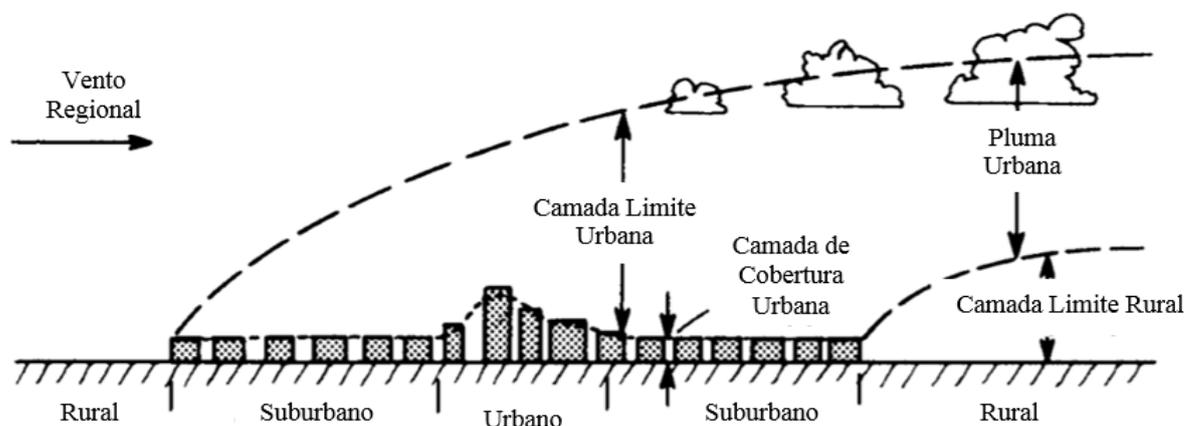


Figura 3 – Esquema das camadas climáticas verticais da atmosfera urbana.



Monteiro (2003) elaborou um quadro para organização das unidades morfoclimáticas, baseado na correlação entre espaços climáticos, ordens de grandeza taxonômica, escalas cartográficas e espaços urbanos. No Quadro 1 são apresentadas as unidades climáticas normalmente utilizadas em estudos de climatologia urbana.

Quadro 1 – Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima.

Ordens de grandeza	Unidades de superfície	Escalas cartográficas de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Meios de observação
II	Milhões de Km	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises
III	Milhões de Km	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas; sondagens aerológicas
IV	Centenas de Km	1:1.000.000 1:5.000.000	Sub-Regional (fácies)	Megalópole; grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície
V	Dezenas de Km	1:250.000 1:25.000	Local	Área metropolitana; metrópole	Posto meteorológico; rede complementar
VI	Centenas de Km	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande; bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis
-	Dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade; fácies de bairro/ subúrbio de cidade	(Detalhe)
-	Metros	1:2.000	Microclima	Grande edificação; habitação; setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais

Fonte: adaptado de Monteiro (2003).

Segundo Barbirato, Souza e Torres (2016), a Ilha de Calor Urbana (ICU) é o fenômeno que mais evidencia as modificações climáticas produzidas pela cidade. Embora na literatura possam ser encontradas pequenas alterações nos termos usados para sua definição, de modo geral, é entendida como uma modificação climática caracterizada pelo aumento da temperatura em áreas urbanas quando comparadas às áreas rurais adjacentes, ocasionada pelas características formais dos centros urbanos, bem como pelas propriedades físicas de seus materiais constituintes e atividades desenvolvidas nessas áreas (BRANEA *et al.*, 2003; FIALHO; FERNANDES; CORREA, 2019).



Em relação à caracterização espacial, Fialho (2012) explica que a ilha de calor urbana pode ser classificada em função do método de coleta de dados empregados e do tipo de temperatura monitorada, conforme detalhado no Quadro 2.

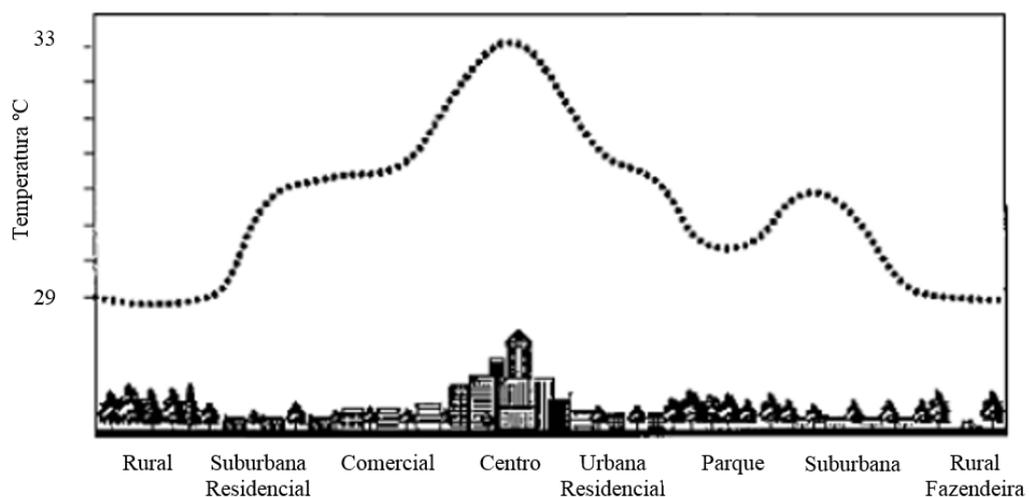
Quadro 2 – Classificação do tipo de ilha de calor urbana.

Classificação	Definição	Método de coleta
Ilha de Calor Atmosférica	Representa a alteração climática ou diferença de temperatura observada em áreas urbanas quando comparadas a áreas rurais, verificada a partir do monitoramento da temperatura do ar.	Monitoramento a partir de transectos móveis, estações meteorológicas e miniabrigos.
Ilha de Calor Vertical	Representa a variação do campo vertical térmico observada na camada limite urbana de cidades quando comparadas à camada limite rural de áreas adjacentes, verificada a partir do monitoramento da temperatura do ar.	Monitoramento a partir de transectos móveis, estações meteorológicas e miniabrigos.
Ilha de Calor de Superfície	Representa a variação térmica observada no mapa termal de áreas urbanas e rurais, produzido com base nas condições térmicas das estruturas e superfícies existentes em cada área.	Uso de dados espaciais, imagens de satélites e análises por meio de mapas termais.

Fonte: elaborado a partir de Fialho (2012).

Conforme ilustrado na Figura 4, geralmente o local de incidência da ilha de calor urbana coincide com os centros das cidades, ou seja, as áreas onde são verificadas as maiores densidades urbanas (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2016).

Figura 4 – Perfil da ilha de calor urbana.



Fonte: adaptado de Giridharan, Ganesan e Lau (2004).



No que diz respeito à variabilidade temporal, Fialho (2012) destaca que enquanto os estudos realizados em cidades de média latitude evidenciaram o caráter noturno do fenômeno, pesquisas desenvolvidas em cidades de clima tropical verificaram que a intensidade da temperatura média ocorreu no período diurno. Segundo o autor, estes resultados podem estar associados a dois fatores distintos: a localização latitudinal, que determina a variabilidade da duração do dia e noite e a oscilação diária de temperatura; e a orientação das vertentes, que influencia na incidência da radiação solar em um determinado local.

### 2.1.2 Desenho urbano e microclima

Autores como Lombardo (1985), Del Rio (1990) e Romero (2013) analisaram a forma da cidade e como sua configuração influencia na qualidade da ambiência urbana. Del Rio (1990, p.54), define o termo desenho urbano como “[...] um campo disciplinar que trata a dimensão físico-ambiental da cidade, enquanto conjunto de sistemas físico-espaciais e sistemas de atividades que interagem com a população através de suas vivências, percepções e ações cotidianas”. Nesse sentido, pode-se afirmar que o desenho urbano influencia a qualidade ambiental urbana a partir da disposição de suas estruturas e da forma como os elementos naturais e artificiais se interrelacionam.

A vegetação consiste em importante aspecto para o equilíbrio térmico em áreas urbanas, pois esse elemento atua como um termorregulador microclimático. A presença da vegetação contribui para a reabsorção da radiação refletida pelas superfícies verticais de edificações (DUARTE, 2015). À semelhança da água, a vegetação modifica o albedo das superfícies e interfere na quantidade de radiação solar armazenada durante o dia e emitida durante a noite.

Além disso, possibilita a amenização da radiação por meio do sombreamento e na atenuação da temperatura e umidade do ar através da fotossíntese e da evapotranspiração (MASCARÓ; MASCARÓ, 2010). Alguns trabalhos identificaram os benefícios da infraestrutura verde na atenuação da ICU e melhoria do conforto térmico em ambientes externos tais como Norton *et al.* (2015), Zölch *et al.* (2016) e Zölch *et al.* (2019).



---

Conforme Fialho (2009), a topografia do sítio urbano pode influenciar a conformação de microclimas distintos, uma vez que a alteração do relevo confere características particulares às áreas urbanas, referentes à orientação, inclinação das vertentes e posição geográfica em relação a trajetória solar. Além disso, as diferenças de altitude podem influenciar na dinâmica climática e principalmente nos valores de temperatura e umidade do ar.

Segundo Oke *et al.* (2017), os materiais empregados nas superfícies horizontais e verticais das estruturas urbanas podem interferir negativamente no microclima, dependendo das características de suas propriedades radioativas. Em climas quentes, devem ser priorizados revestimentos com alto coeficiente de reflexão (albedo) e baixa capacidade de emissão de energia (emissividade). Ressalta-se que superfícies mais escuras e com baixo albedo tendem a armazenar mais energia, favorecendo o ganho térmico.

Denomina-se albedo ( $\alpha$ ) o índice de reflectância de uma superfície. Em outras palavras, é a razão entre a radiação refletida pela superfície e a radiação incidente sobre ela. O albedo é medido numa escala de 0 a 1, sendo atribuído valor zero para uma superfície sem capacidade de reflexão (corpo negro) e um para uma altamente reflexiva – geralmente superfícies de cores claras (KOWALSKI *et al.*, 2021).

As coberturas e pavimentos reflexivos – também denominados como frios, podem ser utilizados como estratégia para mitigação da ICU. A temperatura das superfícies expostas à radiação solar geralmente é mais alta que a temperatura do ar em áreas adjacentes, devido ao aquecimento provocado pela radiação absorvida. Situação semelhante à quando comparada uma superfície composta por material de baixa reflectância e outro de alta reflectância (LI, 2016).

Por sua vez, a emissividade ( $\epsilon$ ) é o quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a). Quanto maior a capacidade de absorção da radiação menor a emissividade da superfície. Geralmente, áreas com a presença de vegetação e corpos hídricos apresentam menor temperatura do ar, visto que esses elementos possuem alta capacidade de absorção da radiação solar incidente (SANTOS, *et al.* 2016).



Conforme abordado por Romero (2013), a geometria urbana pode influenciar o movimento do ar no meio urbano, em virtude da disposição, forma e dimensões das massas edificadas. Em escala microclimática, são identificados uma série de efeitos aerodinâmicos do vento sobre as edificações. Os principais efeitos produzidos são o efeito de barreira, de canalização, de pilotis, de esquina e Venturi.

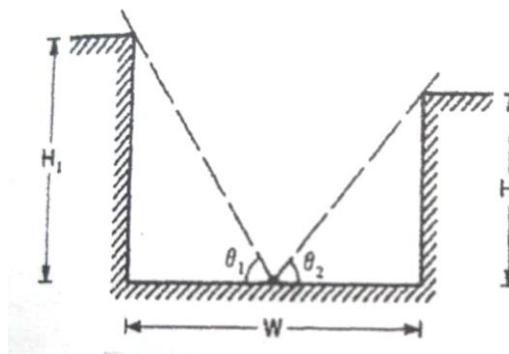
Quando controlado, esse fenômeno pode ser positivo para a ambiência urbana, contudo, em outros casos pode ocasionar o impedimento e má distribuição da ventilação natural no território. Uma boa distribuição da ventilação natural é imprescindível para o controle da qualidade do ar e equilíbrio térmico. Segundo Monteiro (2003), a circulação do ar permite a dispersão de poluentes atmosféricos; fator de extrema importância se considerado o intenso trânsito de veículos verificados nos centros urbanos.

A característica dos recintos urbanos pode ocasionar alterações no comportamento e na distribuição espacial da temperatura e umidade do ar. A configuração dos espaços abertos, edificações e vegetação associada à propriedade térmica dos materiais e à ação antropogênica podem contribuir para a formação de microclimas de condição climática potencialmente mais quente (WERNECK; ROMERO, 2018). No que diz respeito ao desempenho ambiental, as dimensões dos planos horizontais e verticais que compõem os recintos urbanos interferem na quantidade de radiação solar incidente na superfície e na capacidade de dispersão térmica no período noturno (MASCARÓ, 2004).

Segundo Barbirato, Souza e Torres (2016), nos estudos sobre a forma urbana é observado o emprego de duas principais técnicas para análise da dinâmica microclimática. A primeira, denominada canyon urbano<sup>1</sup>, considera um perfil de via urbana de forma retangular, orientado sob um ângulo  $\theta$  para a análise do balanço energético no interior do recinto. A unidade geométrica, composta por duas superfícies verticais de altura (H) e uma superfície horizontal (W), são representativas das fachadas e vias observadas na estrutura urbana, conforme ilustra a Figura 5.

---

<sup>1</sup> O termo canyon urbano “[...] consiste na principal unidade da camada intraurbana, e refere-se ao volume de ar delimitado pelas paredes e o solo entre dois edifícios adjacentes, e as interreflexões produzidas nas superfícies que o compõe, resultando em microclimas particulares dentro do macroclima da cidade” (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2016, p. 57).

Figura 5 – Unidade geométrica do *canyon* urbano.

Fonte: Oke (1988) apud Barbirato, Souza e Torres (2016).

Ainda segundo as autoras, a análise é realizada com base na razão  $H/W$ , podendo ser extraídas as seguintes informações: quanto mais afastadas as edificações estiverem uma das outras, menores serão os valores  $H/W$  obtidos e mais afastados ficarão os campos de turbulência das mesmas. Quando estiverem próximas, os campos de turbulência irão interagir, formando um campo isolado e dificultado a penetração do fluxo de ar. Esses dados podem ser utilizados para determinação da largura de vias e na análise da capacidade de absorção da radiação solar das geometrias urbanas.

A segunda técnica empregada em estudos de recintos urbanos utiliza um parâmetro adimensional denominado Fator de Visão do Céu (FVC). O parâmetro, representado pelo símbolo  $\Psi_s$ , é uma estimativa da obstrução do céu por parte da estrutura urbana (MASCARÓ, 2004). A estimativa do FVC pode ser realizada por processos analíticos, fotografias hemisféricas, processamento de imagens, diagramas ou gráficos – como exemplificado na Figura 6.

Figura 6 – Exemplo de fotografias hemisféricas utilizadas para o cálculo do FVC, em estudo na cidade de Curitiba.



Fonte: Minella, Rossi e Krüger (2009).



O parâmetro é classificado em valores que variam de 1 a 0, onde o primeiro representa uma situação em que se tem 100% da visão do céu livre de obstruções. À medida que a área de visão do céu diminui, menor será a capacidade de dispersão da radiação para o entorno. Para o clima tropical, em que é observado um desconforto térmico ocasionado pelas temperaturas elevadas, é preferível um recinto que possibilite a dispersão do volume de ar quente, promovendo o resfriamento.

### **2.1.3 Metodologias de monitoramento do microclima**

O monitoramento de variáveis climáticas possibilita o estudo do clima urbano a partir de dados reais, permitindo assim compreender a dinâmica climática existente na região de estudo, bem como desenvolver diretrizes e orientações quanto ao desenvolvimento de determinadas áreas. Na literatura observam-se três principais métodos para o levantamento de informações climáticas: a aquisição de dados a partir de estações fixas ou convencionais; por meio de transectos urbanos; e através de sensoriamento remoto (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2016).

O levantamento de dados a partir do método de monitoramento fixo pode ser realizado com base na obtenção de dados meteorológicos aferidos em estações convencionais ou por meio de trabalho de campo com emprego de uma miniestação meteorológica instalada em um determinado local da área de estudo. Esta última, pode ser equipada com sensores Data Logger, pluviômetros, anemômetros e demais equipamentos para fins de coleta (MENDONÇA, 2003).

A obtenção de dados em estações convencionais permite uma maior agilidade no desenvolvimento da pesquisa, visto que não há a necessidade de realizar um trabalho de campo. Contudo, por vezes, um problema observado para adoção deste método é a inexistência de estações automáticas instaladas em áreas urbanas ou próximas ao local de estudo. Se as configurações urbanas forem muito distintas, os dados podem não ser adequados para utilização.

A vantagem do uso de miniestações é justamente a flexibilidade para a escolha dos pontos de coleta. A mesma pode ser instalada em um único local (pontos fixos) ou pode ser acoplada a algum tipo de veículo visando a realização de medições



móveis, por toda a extensão da área de estudo (medições móveis). Fialho (2009) elencou uma série de vantagens e desvantagens da coleta de dados com emprego de miniestações instaladas em pontos fixos e em transectos móveis (Quadro 3). Segundo o autor, não existe um método melhor que o outro, visto que o procedimento de coleta deve ser compatível com o tipo de estudo e análise pretendida.

Quadro 3 – Vantagens e desvantagens do método de obtenção de dados por meio de pontos fixos e transectos móveis.

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

Fonte: adaptado de Fialho (2009).

Não há uma regra quanto ao tipo de equipamento a ser utilizado, os procedimentos a serem realizados, o número mínimo de pontos de medição, o horário de coleta e a quantidade de dias de trabalho de campo. A decisão deve considerar a disponibilidade de tempo e os recursos disponíveis (materiais, financeiros e humanos). Em geral, para o monitoramento em escala microclimática com emprego de pontos fixos recomenda-se a instalação do equipamento em ambiente aberto, com sensor posicionado entre 1,50m a 2,00m do solo, voltado para a direção predominante dos ventos, afastado de fontes concentradas de calor e em local com



---

estrutura, cobertura e materiais semelhantes aos encontrados nas demais áreas da região investigada (OKE *et al.*, 2017).

Em geral, para a realização dos transectos móveis sugere-se que o sensor esteja instalado na mesma faixa de altura dos postos fixos, posicionado de modo a não sofrer interferência da movimentação de ar ocasionada pelo deslocamento do veículo e protegido da radiação solar direta. Além disso, é recomendado que o automóvel não ultrapasse a velocidade de 50 Km/h e que a duração da coleta não ultrapasse 60 minutos, a fim de facilitar a correção de defasagem de tempo necessária para dados móveis (BRANDÃO, 2000; AZEREDO; BRANDÃO, 2000; MALHEIROS; BRANDÃO, 2001; FIALHO, 2010; LUCENA; CORREA; VALE, 2016; VALIN JUNIOR; SANTOS, 2018).

Para a elaboração de estudos climáticos em cidades, a partir do sensoriamento remoto, são utilizadas imagens de satélite de alta resolução. Especificamente para o estudo do campo térmico, podem ser empregadas imagens de satélite da banda do infravermelho, como as disponibilizadas gratuitamente no *website* do *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA). Segundo MENDONÇA (2003), o estudo desenvolvido a partir dessa técnica pode ser considerado satisfatório.

O sensoriamento remoto permite captar dados digitais de reflectância das superfícies urbanas, possibilitando a observação da distribuição espacial da temperatura na região de estudo. Porém, para fins de aplicação, faz-se necessário o pré-processamento das imagens, procedimento esse, em que é feita a correção da atmosfera e realizadas algumas operações matemáticas para a conversão dos dados digitais de reflectância para temperatura em graus Celsius (VIANNA, 2018).

Ressalta-se que essa técnica pode ser uma importante alternativa para a elaboração de pesquisas em áreas que não possuem estações convencionais e nem permitem a realização transectos urbanos. Contudo, pode não ser adequada para pesquisas voltadas para a análise microclimática, em virtude do rigor e nível de detalhe exigido nessa escala de trabalho.



---

## 2.2 MAPEAMENTO CLIMÁTICO URBANO

O UCMMap é uma ferramenta de informação que integra considerações sobre o planejamento urbano, dados meteorológicos e aspectos geomorfológicos, representadas cartograficamente, que possibilita a realização de avaliações sobre o ambiente urbano e pode auxiliar gestores e planejadores urbanos na tomada de decisão quanto ao planejamento das cidades (FIALHO; FERNANDES; CORREA, 2019).

A metodologia teve como precursor o estudo desenvolvido pelo professor alemão Kar Knoch, em meados da década de 1950. Na ocasião, foi elaborada uma série de mapas climáticos de escalas diversas, visando à caracterização do sistema local e aplicação das informações levantadas no planejamento urbano. Com base nesta experiência, na década de 1970, foi realizado o primeiro estudo de UCMMap, que teve por objetivo conduzir análises climáticas no intuito de identificar soluções para mitigação dos problemas de poluição do ar, fundamentado no planejamento ambiental e na delimitação de diretrizes de uso e ocupação do solo para a cidade de Stuttgart, na Alemanha (REN, 2015).

Na década de 1980, a Associação de Autoridades Locais de Áreas do Ruhr, na Alemanha, implementou programas de gestão de ar limpo usando o conceito do UCMMap com o objetivo de gerenciar a política de poluição de metais pesados nas antigas áreas industriais locais. Este foi o primeiro projeto que associou fatores climáticos urbanos e informações espaciais e da estrutura urbana, com base em dados do uso do solo e suas respectivas características climáticas (REN; NG; KATZSCHNER, 2011).

Ainda segundo os autores, nos anos posteriores, projetos semelhantes foram desenvolvidos em outros estados alemães (Bavária, Kassel e Berlin) e em países da Europa como França, Suíça, Áustria, Portugal e Reino Unido. Diante da difusão dos estudos de UCMMap na Alemanha, no ano de 1993, um grupo de trabalho do Comitê Nacional Alemão de Climatologia Urbana Aplicada elaborou a primeira normativa nacional para orientação das práticas e estudos, a *National Guideline-VDI 3787*. Essa norma, trouxe importantes contribuições na padronização de símbolos e representações dos mapas e, por este motivo, se tornou uma referência para estudos realizados em outras partes do mundo.



Katzschner (1997) propôs uma metodologia de caráter qualitativo para a avaliação climática de uma cidade, tendo como premissas o conforto térmico e a qualidade do ar. A caracterização climática é realizada com base nos efeitos da carga térmica e do potencial dinâmico no balanço de energia. A primeira, diz respeito a intensidade de calor emitida e armazenada na estrutura urbana, enquanto, o segundo, refere-se à ventilação urbana e seu respectivo potencial de escoamento dos ventos e trocas de calor local (SOUZA; KATZSCHNER, 2018).

A referida metodologia parte da análise geográfica da localidade, por meio do mapeamento de quatro aspectos físicos urbanos: volume, altura das edificações, presença de vegetação e uso do solo. A partir da caracterização espacial de cada parâmetro foi originado um mapa, também denominado como camada; no qual cada uma delas representa uma contribuição para o balanço de energia em determinada área urbana.

Fundamentado no conhecimento científico, cada parâmetro é avaliado em função do efeito positivo ou negativo para o balanço de energia que, respectivamente, reduz ou aumenta a carga térmica no nível urbano (FERREIRA; ASSIS; KATZSCHNER, 2017). O mapa de análise climática é originado a partir da sobreposição das camadas, sendo possível identificar e representar espacialmente áreas de características climáticas semelhantes (climatopos<sup>2</sup>) ou distintas, por meio da correlação entre as camadas e da quantificação de seus respectivos impactos.

Por meio da descrição da qualidade climática de cada área, é possível classificá-las de acordo com as seguintes categorias: áreas que devem ser preservadas, devido sua importância na condição de conforto térmico e circulação local; áreas a serem protegidas por razões climáticas, dada sua localização geográfica estratégica para escoamento dos ventos da região; e áreas que devem ser melhoradas por razões climáticas (MELO, 2009).

A metodologia supracitada se tornou referência para vários estudos de UCMaP desenvolvidos no Brasil, como o realizado por Nery *et al.* (2006) para a cidade de

---

<sup>2</sup> Termo definido por Scherer *et al.* (1999) como áreas geográficas com características microclimáticas similares, que impactam o ambiente circunvizinho de forma análoga e podem apresentar diferentes escalas espaciais. Embora o termo “climatopo” não tenha sido utilizado por Katzschner (1997), o trabalho utiliza o referido conceito e reconhece a existência de áreas de condições climáticas semelhantes (FERREIRA; ASSIS; KATZSCHNER, 2017).



Salvador-BA, Melo (2009) em Maceió-AL e Barbosa e Rocha (2016) para a cidade de Fortaleza-CE. Cabe salientar que a análise qualitativa possibilita avaliações climáticas em localidades que não possuem estações automáticas distribuídas em todo o perímetro urbano para o fornecimento de dados climáticos.

Desde então, o UCMMap tem sido adotado em pesquisas realizadas em diferentes contextos urbanos. Segundo He *et al.* (2015), um número considerável de países desenvolveu programas de atuação e sistemas próprios de UCMMap. Contudo, observa-se que grande parte dessas pesquisas foram realizadas apenas em países desenvolvidos.

Considerando a projeção da população urbana mundial em 2050 (cerca de 68%) e os grandes desafios no que diz respeito às questões urbanas emergentes (UNITED NATIONS, 2019), torna-se primordial o desenvolvimento de tais estudos, com vistas à identificação de oportunidades para nortear o planejamento urbano e ambiental das cidades situadas nesse contexto. Um dos principais benefícios da ferramenta é a possibilidade de diferentes aplicações e abordagens, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Tipos de abordagens do sistema UCMMap observadas na literatura científica.

(continua)

Abordagem	Descrição	Referências
Avaliação da sensação térmica humana	Avaliação de aspectos climáticos e dados topográficos de um local com objetivo de elaborar mapas temáticos para investigação associada à aplicação de um índice que representa a sensação térmica humana ao ar livre.	AKASAKA; MIKI, 1991/91.
Avaliação de aspectos turísticos	Avaliação de aspectos climáticos, dados geocológicos e monitoramento climático, com objetivo de elaborar e disponibilizar informações climáticas de um determinado local para turistas.	MATZARAKIS, 2001.
Classificação de zona climática local	Avaliação de aspectos climáticos e da morfologia urbana com objetivo de desenvolver um mapa de classificação da zona climática local, como subsídio à tomada de decisão quanto ao planejamento urbano.	HOUET; PIGEON, 2011; ZHENG <i>et al.</i> , 2018; WANG <i>et al.</i> , 2016; LECONTE <i>et al.</i> , 2015; CHEN, <i>et al.</i> 2019.
Definição de diretrizes de uso e ocupação do solo	Mapeamento de fenômenos físicos, coleta de dados microclimáticos e levantamento de informações da estrutura urbana, visando o estabelecimento de diretrizes de cenários de uso e ocupação do solo.	NG, 2015; MASIERO; SOUZA, 2018.



(conclusão)

Abordagem	Descrição	Referências
Elaboração de Atlas Climático	Elaboração de um conjunto de mapas de uma determinada região ou cidade, com base em análise climática local de importantes aspectos do clima urbano.	BAUMÜLLER <i>et al</i> , 2009;
Investigação do campo térmico	Investigação e mapeamento do potencial térmico e dinâmico urbano a partir do levantamento de informações espaciais e do monitoramento climático, como suporte à caracterização de campos térmicos.	FERREIRA; PIMENTEL; VIANNA, 2019.
Mapeamento de ilha de calor urbana	Investigação das características geoecológicas, de informações da ocupação do solo e do comportamento atmosférico local, a fim de mapear e compreender a constituição espacial do fenômeno de ilha de calor urbana (ICU) presente em determinada área urbana.	BARROS; LOMBARDO, 2017.
Mapeamento de padrões de circulação do ar e poluição do ar	Avaliação de aspectos climáticos, dados geoecológicos e monitoramento da velocidade e direção dos ventos, com objetivo de compreender a dinâmica atmosférica e classificar padrões de circulação do ar.	MATZARAKIS; MAYER, 1992.
Mapeamento de unidades topoclimáticas	Investigação das características geoecológicas, de informações da ocupação do solo e do comportamento atmosférico local, visando a delimitação de unidades topoclimáticas de uma determinada localidade.	PASZYNSKI, 1990/91; MORA, 2010; MACHADO; ASSIS, 2017.
Enfrentamento do fenômeno das mudanças climáticas	Investigação da evolução do clima urbano e análise de fenômenos climáticos atuais de um determinado local, com o objetivo de avaliar o impacto das mudanças climáticas no clima urbano e estabelecer estratégias de adaptação.	DESPLAT <i>et al</i> , 2009.
Planejamento e desenvolvimento urbano	Avaliação de aspectos do clima e da morfologia urbana com objetivo de elaborar mapas temáticos para compreensão das demandas climáticas locais, como subsídio ao planejamento urbano.	KATZSCHNER, 1988; ALCOFORADO <i>et al</i> , 2009; HE <i>et al.</i> , 2015.

Fonte: adaptado de Ren, Ng e Katzschner (2011).

### 2.2.1 Estrutura do sistema UCMMap

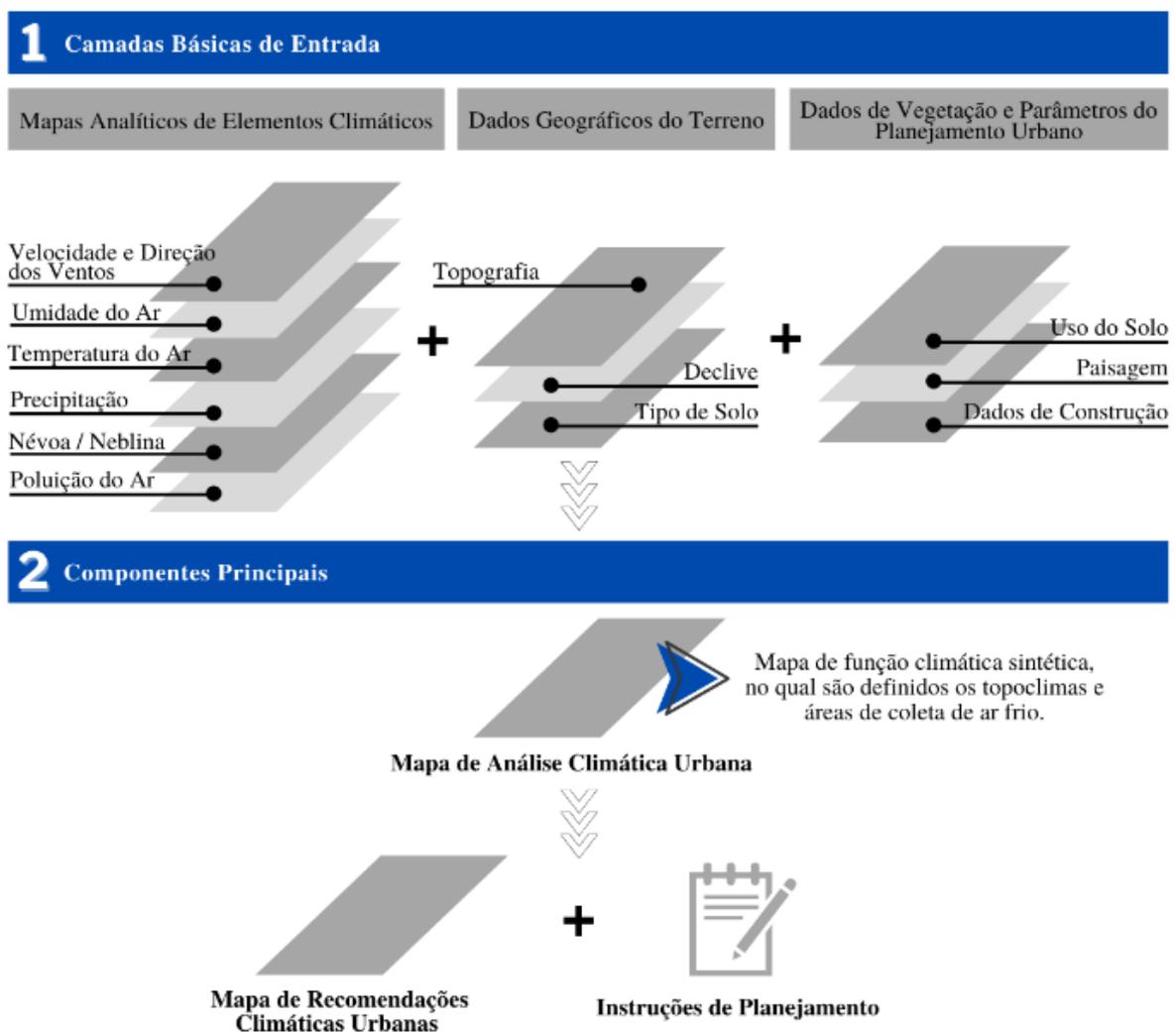
Os estudos de UCMMap são desenvolvidos a partir de dados espaciais integrados a um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que possibilita a construção de um banco de dados geográficos, bem como a visualização espacial das informações obtidas, a realização de análises baseadas na correspondência entre diferentes dados e a produção de mapas temáticos. Por este motivo, tais ferramentas são de grande relevância no suporte das análises climáticas.



Ferreira (2014) destaca que o uso de métodos geoestatísticos acoplados ao SIG, propicia a caracterização de fenômenos espaciais, quantificação do seu conhecimento e análise do comportamento de uma variável em determinada área. Permite, por sua vez, a identificação de regiões com diferentes comportamentos térmicos ou, ainda, precisar quais elementos presentes na superfície urbana exercem maior influência nas diferenças térmicas verificadas.

O sistema UCMaP (Figura 7) é formado por uma série de camadas básicas de entrada que alimentam dois componentes principais: o *Urban climatic analysis map* (UC-AnMap) e o *Urban climatic recommendations map and planning instructions* (UC-ReMap). Em português, adotam-se os seguintes termos respectivamente: Mapa climático urbano analítico e Mapa climático de recomendações para o planejamento.

Figura 7 – Sistema do UCMaP.



Fonte: adaptado de Ren, Ng e Katzschner (2011). Traduzido pela autora.



As camadas básicas consistem em mapas de aspectos físicos locais como elementos climáticos, dados geomorfológicos ou informações sobre vegetação e parâmetros do planejamento urbano. O UC-AnMap resulta da compilação desses dados de entrada e possibilita a caracterização espacial da realidade climática local.

Com base nessa avaliação, é elaborado o UC-ReMap, no qual são identificadas as zonas mais afetadas pelas mudanças do uso e ocupação do solo e, ainda, são delimitadas as recomendações para o planejamento urbano da área analisada. É importante ressaltar que tais diretrizes devem ser planejadas de forma integrada e podem ser conduzidas em diferentes escalas de atuação.

Para a produção de cada mapa analítico, pressupõe-se a realização de um conjunto de procedimentos metodológicos que vão embasar o protocolo de seleção e tratamento dos dados utilizados. Conforme observado na revisão bibliográfica, não há uma regra para escolha dos procedimentos a serem adotados na pesquisa. Geralmente, os mesmos são delimitados a partir da identificação das oportunidades e limitações de cada pesquisa, tais como a disponibilidade de dados espaciais, equipamentos para monitoramento, entre outros aspectos.

De acordo com Katzschner (2015), as análises climáticas podem ser elaboradas em diferentes escalas. Nesse sentido, ressalta-se que a escolha da resolução espacial do estudo depende do nível de planejamento urbano e administração no qual se pretende elaborar as diretrizes e recomendações de atuação. Do mesmo modo, os métodos de pesquisa e avaliação precisam ser adequados à escala de investigação e ao comportamento climático da resolução espacial adotada. Destaca-se que a avaliação climática pode, inclusive, ser desenvolvida associando diferentes escalas de atuação no intuito de subsidiar um processo de planejamento urbano integrado.

Ainda segundo o autor, cada escala de atuação apresenta abordagens distintas, sendo que a escala regional geralmente está associada à elaboração de diretrizes voltadas a planos diretores e visa a identificação de áreas naturais estratégicas para manutenção e a definição de estratégias relacionadas aos aspectos climáticos regionais e sazonais. Por sua vez, a avaliação intraurbana em mesoescala ou microescala, visa a elaboração de zoneamentos e diretrizes urbanísticas para mitigação das ilhas de calor urbanas, otimização da ventilação natural, promoção das trocas de ar, etc.



Conforme Baumüller (2015), para obtenção de uma avaliação climática eficiente, recomenda-se a consideração de três etapas de pesquisa: (1) investigação, que engloba as atividades de monitoramento e tratamento dos dados; (2) diagnóstico, que constitui a etapa de elaboração das análises e identificação das vulnerabilidades; e (3) intervenção, que se refere a elaboração das recomendações e medidas de adaptação e mitigação.

Ainda segundo o autor, a obtenção das informações de entrada pode ocorrer por meio de dados de estações convencionais, monitoramento móvel, sensoriamento remoto ou simulações computacionais. No que diz respeito à análise climática, sugere-se a utilização de pelo menos três mapas básicos: modelo de elevação; dados sobre uso e ocupação do solo; e termografia infravermelha.

No Quadro 5 estão descritos os principais aspectos abordados nas recomendações de planejamento urbano dos estudos.

Quadro 5 – Principais aspectos abordados nas recomendações.

(continua)

Aspectos	Planos de Ação e estratégias	Operação e escala espacial
Albedo	Resfriamento de material de construção e pavimento.	Intervenção no nível do material e da superfície.
Vegetação	Resfriamento de cobertura e fachada; Área de retenção de água (jardins ou espelhos d'água).	Intervenção no nível do material e da superfície.
	Arborização urbana; Parques e espaços abertos.	Intervenção em nível de planejamento de uso do solo.
	Construção de corredores verdes.	Paisagem e Plano de áreas verdes.
Sombreamento	Morfologia urbana; Desenho urbano; Orientação da rua; Relação altura do edifício / largura da rua.	Planejamento urbano e intervenção em nível de zoneamento e projeto.
	Árvores em ambos os lados das ruas.	Planejamento de uso do solo e paisagem.



(conclusão)

Aspectos	Planos de Ação e estratégias	Operação e escala espacial
Ventilação	Construções escalonadas Relação altura do edifício / largura da rua Orientação da rua Layout de disposições de construção	Planejamento urbano e intervenção em nível de zoneamento e projeto.
	Espaços abertos e áreas verdes.	Planejamento de uso do solo / paisagem.

Fonte: organizado a partir de Ren, Ng e Katzschner (2011).

Um exemplo de estudo desenvolvido com a metodologia do UCMap foi o realizado por He *et al.* (2015) em Beijing (China). O trabalho teve por objetivo avaliar o impacto ocasionado pelo ambiente natural e pelas características morfológicas na carga térmica e no potencial de ventilação, visando propor medidas de mitigação e diretrizes para o planejamento climático local, que contribuíssem para a melhoria da condição climática urbana.

O UC-AnMap de Beijim baseou-se na análise da condição climática local, a partir dos mapas de campo térmico e de potencial de ventilação, concebidos mediante a análise espacial de alguns parâmetros da morfologia urbana como a topografia, uso do solo, forma urbana, FVC, áreas verdes e outros, associada à análise espaço-temporal de dados meteorológicos de variáveis climáticas (Figura 8).

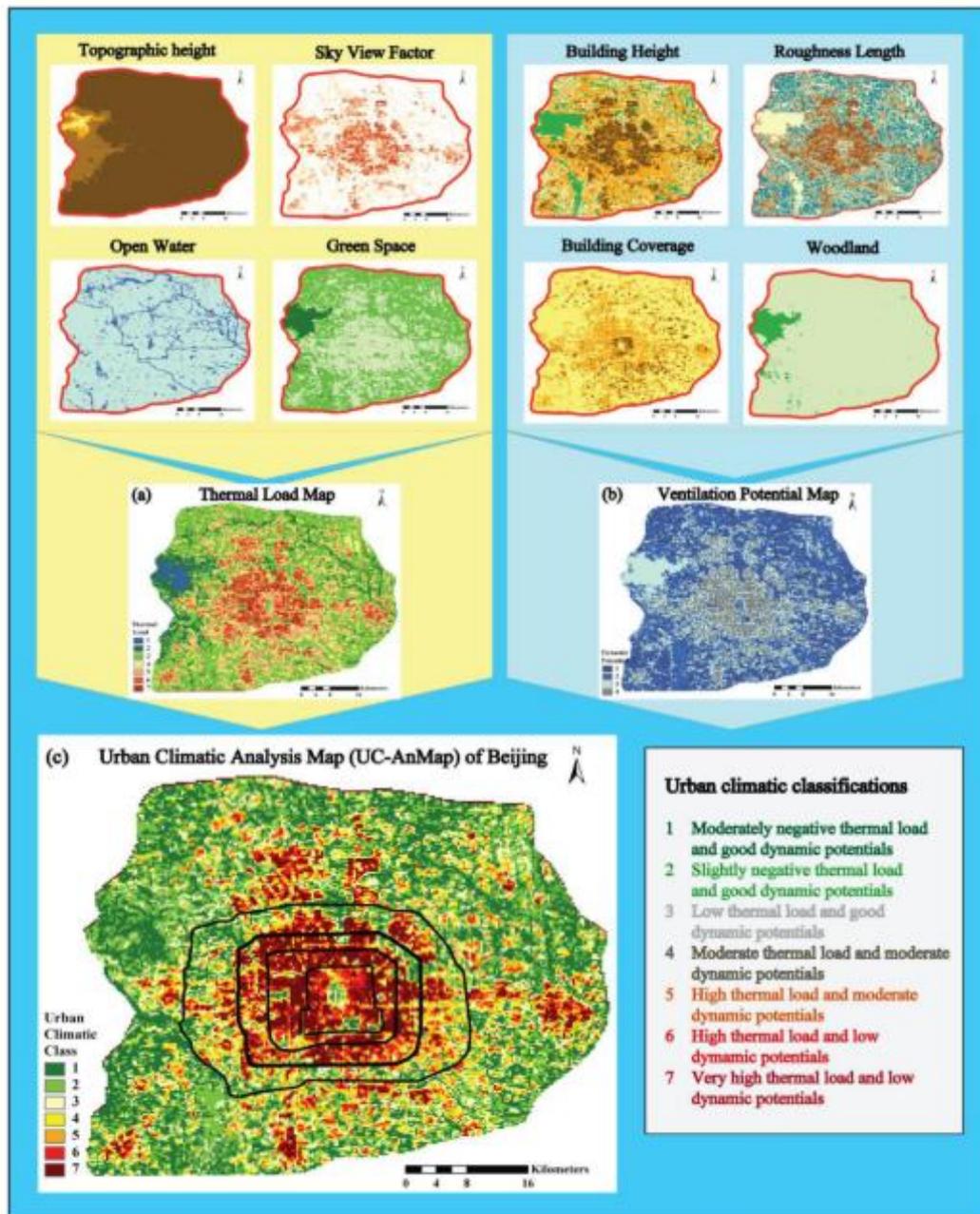
Assim, foram delimitadas 7 classes climáticas: a classe 1, apresenta carga térmica moderadamente negativa e bom potencial dinâmico; a classe 2, possui carga térmica ligeiramente negativa e bom potencial dinâmico; a classe 3, contém uma carga térmica baixa e bom potencial dinâmico; a classe 4, detém carga térmica e potencial dinâmico moderado; a classe 5, possui alta carga térmica e potencial dinâmico moderado; a classe 6, apresenta alta carga térmica e baixo potencial dinâmico; e a classe 7, detém um campo térmico muito alto e baixo potencial dinâmico.

Para a elaboração do UC-ReMap e as recomendações para o planejamento urbano, foi associado ao UC-AnMap de Beijim análises a respeito da dinâmica dos ventos



locais, obtidas a partir de simulações numéricas e observações dos padrões de vento monitorados em estação meteorológica localizada na área de estudo.

Figura 8 – Conjunto de camadas para elaboração do UC-AnMap de Beijing.

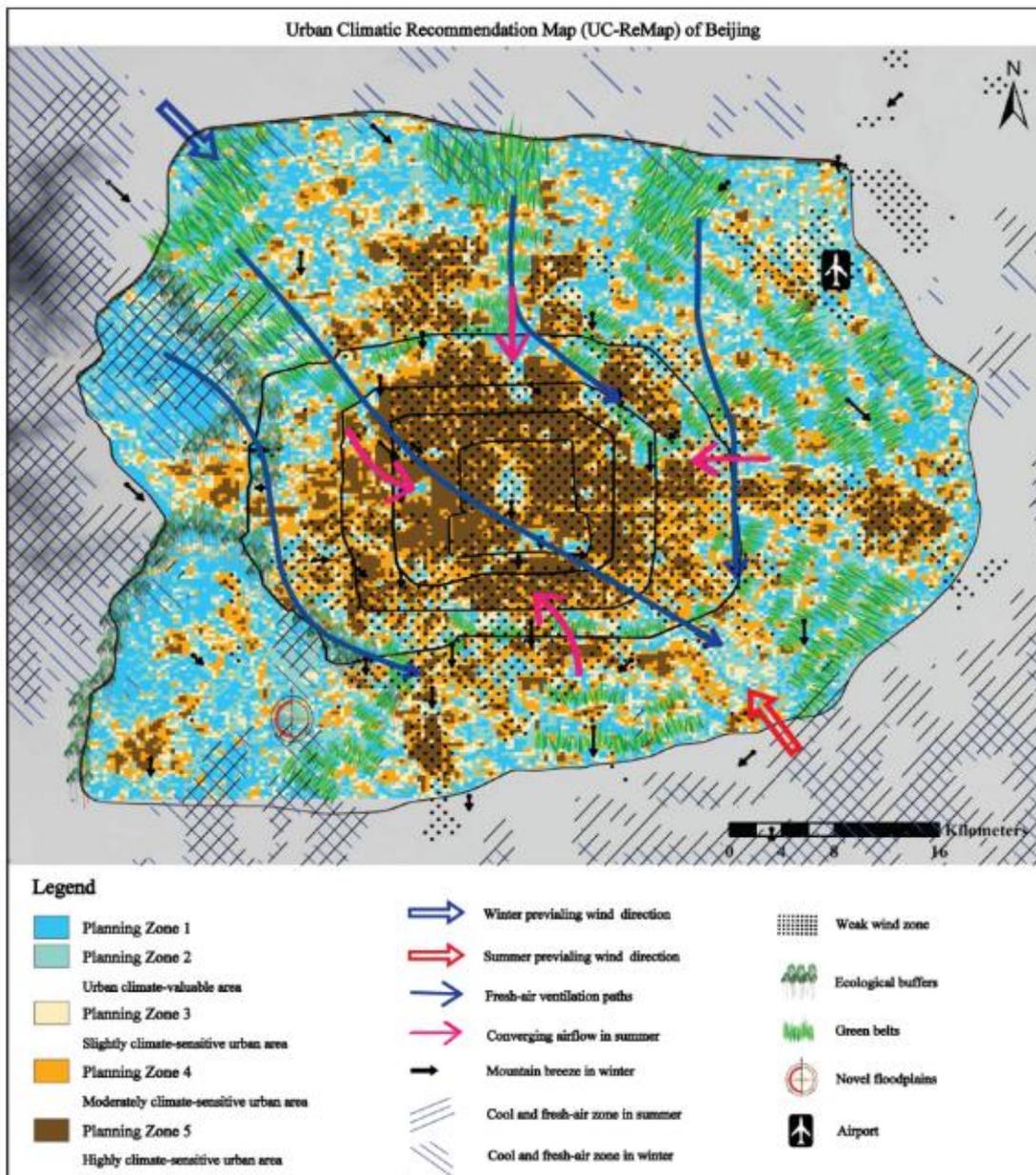


Fonte: He *et al.* (2015, p. 672).

As recomendações produzidas visaram, principalmente, a redução da carga térmica e melhoria da ventilação urbana, aspectos que segundo He *et al.* (2015), já estão incluídos no Plano Diretor de Beijing. Como resultado, foram delimitadas 5 zonas de planejamento climático, conforme ilustra a Figura 9.



Figura 9 – UC-ReMap de Beijing.



Fonte: He *et al.* (2015, p. 676).

A Zona de Planejamento 1 consiste em área valiosa para o clima urbano que deve ser preservada, em virtude do canal de ventilação existente. Nesse sentido, foi sugerido um especial cuidado em relação à altura e disposição das construções locais, no intuito de evitar o bloqueio do fluxo de ar fresco. Por sua vez, a Zona de Planejamento 2 representa área com ampla cobertura vegetal e, portanto, de importante impacto ecológico para a qualidade do ar e mitigação da carga térmica, sendo recomendada a maximização desses espaços.



A Zona de Planejamento 3 engloba áreas menos adensadas situadas na orla do centro da cidade e pouco sensíveis ao clima. Denominadas como áreas de transição entre regiões sensíveis ao clima e locais de relevância climática, foi proposta a inserção de áreas verdes ao redor dos corpos hídricos para proteção desses elementos, bem como o controle das edificações locais, no que diz respeito à altura, disposição, materiais empregados e o potencial construtivo.

Já a Zona de Planejamento 4 foi considerada área de sensibilidade climática moderada, em virtude da alta densidade, elevada carga térmica e baixa ventilação. Para evitar ainda mais a deterioração das condições climáticas, definiu-se que o planejamento estratégico deve evitar a expansão urbana local e direcionar o desenvolvimento para áreas vizinhas. Ademais, foi aconselhado o uso de cobertura com materiais de alta reflectância, a implementação de pavimentos frios e permeáveis, o alargamento das ruas e a inserção de áreas verdes, como medidas para mitigação do efeito adverso da carga térmica.

Por fim, a Zona de Planejamento 5 consiste em área densamente construída e de alta sensibilidade climática, em decorrência da elevada carga térmica e baixíssimo potencial de ventilação. Dado o exposto, as medidas de correção e mitigação foram consideradas urgentes. Visando minimizar os problemas climáticos foi sugerida a realocação de empresas, assim como a limitação da altura de edifícios e inserção de áreas verdes novas e em edifícios existentes.

### **2.2.2 Estudos de UCMaP no Brasil**

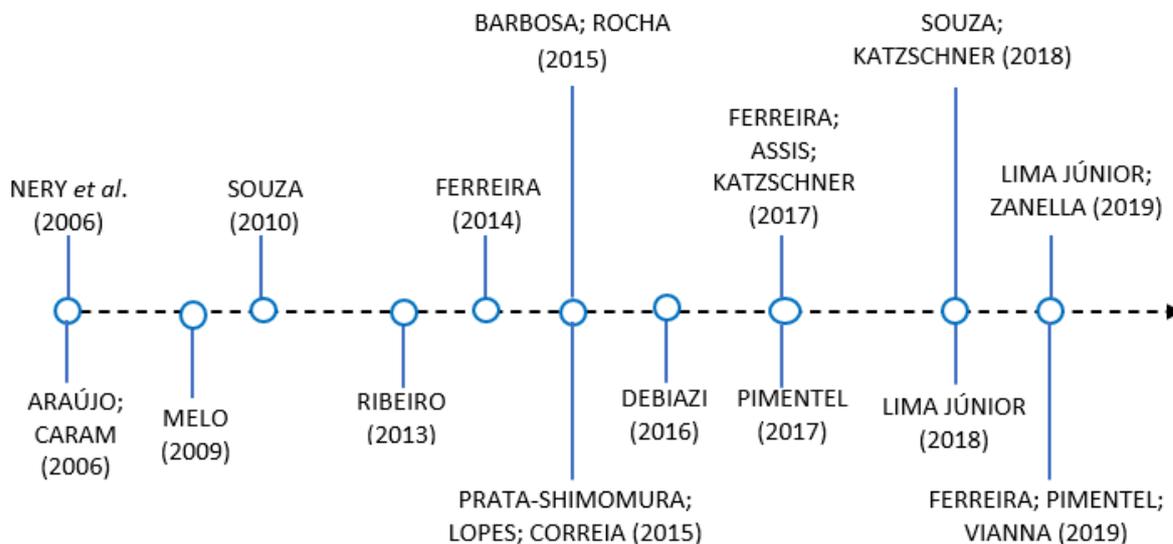
No Brasil, os estudos de UCMaP ainda são escassos, contudo, é possível encontrar algumas iniciativas por parte de pesquisadores brasileiros na aplicação da metodologia alemã de mapeamento climático. Ao longo dos últimos 15 anos, a temática foi desenvolvida em artigos, dissertações e teses. A fim de compreender melhor a metodologia adotada em tais trabalhos, foi organizada uma síntese das iniciativas realizadas (Figura 10).

No ano de 2005, em participação no VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC), Katzschner apresentou uma metodologia para avaliação das condições climáticas para fins de planejamento urbano, baseado no



conceito de climatopos e no UCMMap (FERREIRA, ASSIS, KATZSCHNER, 2017). A cidade de Salvador-Bahia é pioneira na aplicação da metodologia supracitada.

Figura 10 – Estudos de UCMMap no Brasil.



Fonte: organizado pela autora (2021).

No intuito de identificar as condições de conforto térmico em áreas urbanas da cidade de Salvador (Bahia), Nery *et al.* (2006) realizaram uma análise qualitativa, por meio da elaboração de um modelo baseado em SIG, considerando os seguintes aspectos: topografia, declividade, uso do solo e potencial de ventilação. Cada variável foi caracterizada espacialmente e, em seguida, dividida em classes.

A cada classe foi atribuído um fator de ponderação (peso) em função da sua capacidade em influenciar a condição de conforto térmico. Como resultado, foi desenvolvido um mapa climático urbano composto por 7 categorias topo-climáticas, no qual foram verificados diferentes níveis de ilha de calor urbana.

Araújo e Caram (2005) elaboraram um estudo para o bairro Ribeira, localizado na cidade Natal (Rio Grande do Norte). Baseado em Katzschner (1997), foram elaborados mapas temáticos a respeito da topografia, uso do solo, áreas verdes e altura das edificações. Em seguida, foi realizada a análise qualitativa do bairro que culminou na identificação de áreas com características climáticas semelhantes. A partir da referida análise, foram delimitadas três classes, sendo: área 1, a menos favorecida em termos bioclimáticos; área 2, correspondente ao centro histórico e



também desfavorecida em termos bioclimáticos; e área 3, a mais favorável em termos bioclimáticos.

Para validação da classificação, a análise qualitativa foi comparada a dados climáticos das variáveis de velocidade dos ventos, temperatura e umidade do ar monitoradas em seis pontos do bairro, nos meses de fevereiro e julho. Como resultado, foram identificados os pontos do bairro com condições climáticas mais desfavoráveis.

Melo (2009) buscou caracterizar a cidade de Maceió (Alagoas) segundo princípios climáticos, no intuito de auxiliar o planejamento urbano local no que diz respeito à tomada de decisão quanto ao ordenamento do uso e ocupação do território. A pesquisa utilizou os mesmos parâmetros adotados por Araújo e Caram (2005) para elaboração dos mapas temáticos.

O mapa climático urbano da cidade de Maceió foi classificado em zonas climáticas, definidas em função da orientação climática proposta para cada local (áreas que devem ser protegidas por razões climatológicas, áreas que devem ser preservadas e áreas que precisam ser melhoradas). Por fim, o zoneamento proposto pelo estudo foi comparado ao macrozoneamento proposto pelo Plano Diretor de Maceió e ao zoneamento previsto pelo Código de Edificações de Maceió, visando a elaboração de recomendações gerais para o ordenamento urbano do município.

Souza (2010) produziu um mapa climático urbano para a cidade de João Pessoa (Paraíba), baseado na metodologia elaborada por Katzschner (2006) para o desenvolvimento do mapa climático urbano de Hong Kong. O estudo utilizou 3 camadas (mapas temáticos): volume das construções, espaços verdes e topografia para a produção do mapa de carga térmica. Por sua vez, o mapa de potencial dinâmico foi elaborado a partir dos mapas de cobertura do solo, paisagens naturais e proximidade a espaços abertos.

A partir da adição dos valores verificados nos dois mapas foi obtido o mapa climático urbano da cidade de João Pessoa, com 11 classificações climáticas distintas. Posteriormente, com o propósito de facilitar o entendimento dos aspectos climáticos, o autor simplificou e reagrupou os valores em 8 classes climáticas. Com o mapeamento, foi observado que as áreas da classe 1 (importantes para amenização



da carga térmica) estavam situadas em elevadas altitudes ou próximas a corpos d'água e áreas da classe 2 (importantes para circulação dos ventos) se caracterizavam pela presença de matas, bosques, campos verdes e planícies fluviais.

Por outro lado, foi identificado que as áreas com impacto negativo no conforto térmico em maior ou menor grau (classes de 4 a 8) se caracterizavam pela presença de edificações, baixa porosidade da estrutura urbana, escassez de vegetação e espaços abertos. Além disso, algumas áreas da orla marítima caracterizadas pelo alto adensamento, inexistência de vegetação e elevada impermeabilização do solo foram agrupadas na classe 8.

O estudo não propôs um mapa ou recomendações para o planejamento urbano. Segundo o autor, pretendia-se fazê-lo após a elaboração de uma análise comparativa entre os resultados obtidos e conforto térmico da população e, também, com os atuais índices e diretrizes de planejamento do território.

Ribeiro (2013) realizou um estudo visando a atualização e aprimoramento do mapa climático urbano da cidade de João Pessoa (Paraíba), desenvolvido por Souza (2010). No que diz respeito aos dados, foram atualizadas as informações relativas às edificações e o uso do solo. Na metodologia adotada foram suprimidos os mapas de topografia e paisagem natural, tendo em vista que as cotas altimétricas locais são inferiores a 50m em mais de 90% do território e devido aos elementos vegetativos já serem abordados em outros mapas.

O procedimento de adição dos mapas de carga térmica e potencial dinâmico resultou em 11 categorias de classificação numa escala de valores que varia de -5 a +5. A fim de simplificar a análise, as categorias foram agrupadas em 8 classes climáticas. Como resultado da pesquisa, foi verificado que as áreas de maior comprometimento térmico estão concentradas na região central do território, onde há um grande volume construído, baixa rugosidade e porosidade.

Foi observado que as áreas mais favorecidas pela ventilação estão situadas em uma região do município no qual a vegetação e a baixa rugosidade atuam como elementos favoráveis para circulação do ar. Além disso, foi percebido o efeito favorável da presença de áreas verdes na amenização dos efeitos da radiação solar



no ambiente urbano, contudo, conforme destacado no estudo, tais espaços apresentam-se de forma concentrada apenas em pequenas regiões do território.

Em comparação aos resultados obtidos por Souza (2010), foram identificadas diferenças na área (m<sup>2</sup>) e porcentagem (%) do território coberta por cada classe climática, que segundo o autor, pode ser consequência do processo de expansão urbana e adensamento local. Ademais, foi observada a alteração dos valores finais das classes e a redução de áreas que possuem bom potencial dinâmico.

Ferreira (2014) elaborou um modelo para análise das variáveis de cobertura do solo e identificação de microclimas, baseado na metodologia de análise climática do UCMMap. Diferentemente dos trabalhos de Melo (2009), Souza (2010) e Ribeiro (2013), no qual a análise climática foi realizada tendo como base todo o limite territorial da cidade (escala regional), o estudo adotou uma escala local e visou caracterizar o comportamento térmico urbano da área do território correspondente à Região Centro de Juiz de Fora (Minas Gerais).

O estudo supracitado fez o uso de SIG para o mapeamento, tratamento e análise de diferentes dados e, ainda, utilizou o método de análise multicritério para classificação e atribuição de valores a cada variável. Foi selecionado um conjunto de variáveis consideradas relevantes para a conformação do campo térmico urbano e, em seguida, organizadas em 2 grupos, segundo o modo de interferência no microclima: maximização ou mitigação da temperatura do ar. Cada variável deu origem a um mapa básico, posteriormente utilizado para a produção de nove mapas temáticos (Figura 11).

Todos os mapas temáticos foram classificados em 5 classes, na qual foram associados valores numéricos (pesos de 1 a 5) de acordo com o grau de interferência da variável no comportamento da temperatura do ar. A análise integrada das informações levantadas ocorreu a partir da elaboração de uma matriz no software ArcGis 10, no qual foram cruzados os dados dos 9 mapas e somados os pesos atribuídos a cada feição do modelo (lotes).

Como produto foi gerado um mapa síntese final, denominado mapa de potencial de aquecimento, onde foi possível identificar áreas com diferentes capacidades térmicas. Para validação do modelo, foram comparados os resultados do mapa



síntese final com os dados de temperatura do ar obtidos em duas estações meteorológicas localizadas na região do estudo.

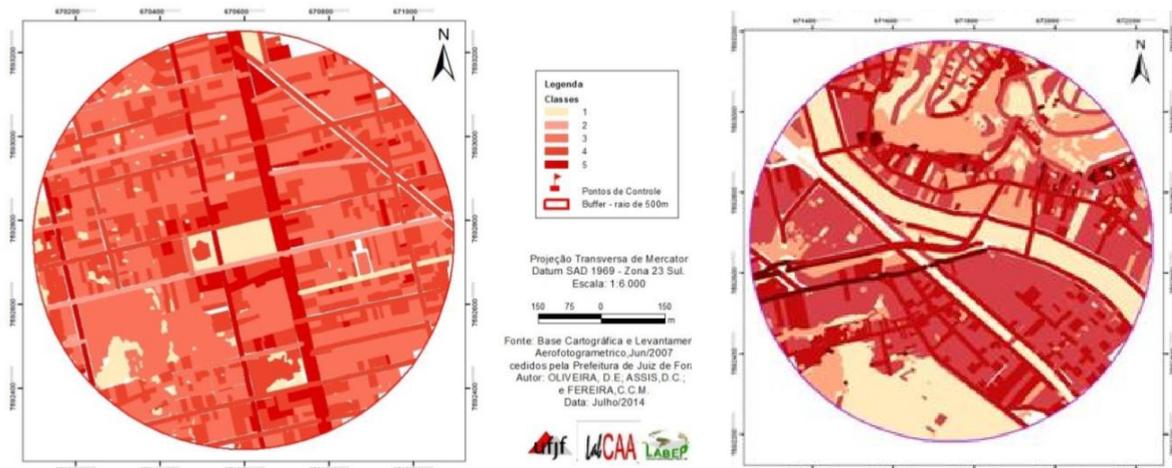
Figura 11 – Síntese dos mapas utilizados para produção do mapa de potencial térmico.

MAPAS BÁSICOS	MAPAS TEMÁTICOS	MAPA SÍNTESE
Altura das edificações	1. Massa construída 2. Fator de visão do céu 3. Sombreamento	Potencial térmico
Densidade de construção		
Distância das edificações		
Quadras		
Lotes		
Direção predominante das construções	4. Albedo 5. Emissividade	
Cânions Urbanos		
Revestimento das edificações e pavimentos		
Cor das edificações e pavimentos	6. Ventilação 7. Calor antrópico/poluição	
Tipo de cobertura das edificações		
Largura das vias	8. Áreas verdes e água 9. Taxa de impermeabilização	
Tipo de vias		
Fluxo de veículos		
Área das áreas verdes, água		
Área de influência		
Tipo de áreas verdes, água		
Densidade habitacional/edificação		

Fonte: Ferreira (2014, p. 59).

Por fim, foi constatada uma similaridade entre a classificação do mapa de potencial térmico do modelo e os dados registrados nos pontos de monitoramento. A Figura 12 apresenta o mapa síntese dos pontos de controle 1 e 2.

Figura 12 – Mapa síntese dos pontos de controle 1 (esquerda) e 2 (direita).



Fonte: adaptado de Ferreira (2014, p. 67).

Prata-Shimomura, Lopes e Correia (2015) utilizaram dados horários de vento obtidos a partir do *software* de simulação de fluídos *Wind Atlas Analysis and Application*



*Program (WAsP)* para criação do mapa climático urbano da cidade de Campinas (São Paulo). Embora tenham sido avaliados outros parâmetros urbanos como a rugosidade e topografia, a ventilação urbana (direção e velocidade dos ventos) constituiu o foco principal do estudo. Como subsídio ao planejamento urbano de Campinas, foi elaborado um mapa de unidades climáticas (macrozonas) da cidade, a partir das características físicas e territoriais observadas em cada local.

Barbosa e Rocha (2016) elaboraram um mapa climático como subsídio para a elaboração de diretrizes urbanas para o município de Arapiraca, segunda maior cidade do estado de Alagoas. Fundamentado na metodologia desenvolvida por Katzschner (1997), foram utilizados os parâmetros da topografia, uso e ocupação do solo, rugosidade, vegetação e ventos para a elaboração do mapa síntese.

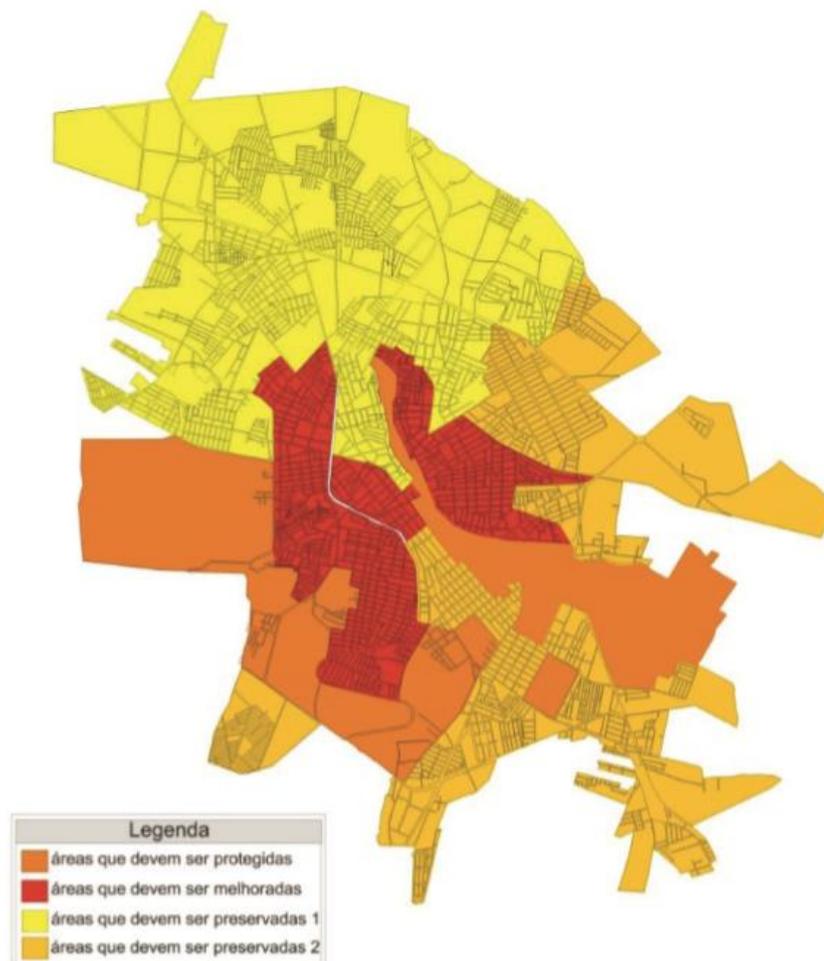
Assim como Melo (2009), o mapa climático de Arapiraca foi classificado em classes, definidas em função da carga térmica e do potencial dinâmico. Conforme observado na Figura 13, foi apresentado um mapa com 4 classes, denominadas como: (1) áreas que devem ser protegidas; (2) áreas que devem ser melhoradas; (3) áreas que devem ser preservadas 1; e (4) áreas que devem ser preservadas 2.

As áreas que devem ser protegidas tiveram por premissa a preservação dos canais de ventilação e preservação de áreas verdes existentes no perímetro urbano. As áreas que devem ser melhoradas, situadas no centro do território, apresentaram alta densidade, grande fluxo de veículos, alta declividade e exposição à radiação solar. Nas áreas que devem ser preservadas 1 e 2 foi verificado um bom potencial de ventilação, contudo, devido esta segunda estar situada em uma zona de entrada de vento, foi ressaltado a necessidade de delimitar diretrizes urbanas específicas que assegurem a qualidade climática nas demais regiões da cidade.

O estudo identificou que o padrão de configuração urbana da cidade não corresponde às recomendações contidas na metodologia de análise de adequação urbana. No que diz respeito às recomendações de planejamento, identificou-se a necessidade de estabelecer padrões com baixa ou média taxa de ocupação, como estratégia para evitar a alta impermeabilização do solo. Além disso, destacou-se a importância em delimitar índices de aproveitamento do solo diferenciados para cada bairro, visando estimular o aumento da rugosidade e o processo de verticalização em áreas adequadas.



Figura 13 – Mapa climático da cidade de Arapiraca (AL).



Fonte: Barbosa e Rocha (2016, p. 65).

Debiazi (2016) avaliou o campo térmico do campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Foram comparados dados de temperatura do ar, coletados em diferentes pontos da área de estudo, à índices urbanísticos locais, obtidos a partir da aplicação da técnica de Redes Neurais Artificiais (RNA) para elaboração de um modelo matemático. Como resultado, foram identificados diferentes campos térmicos no campus da universidade e foi elaborado um mapa classificação térmica local.

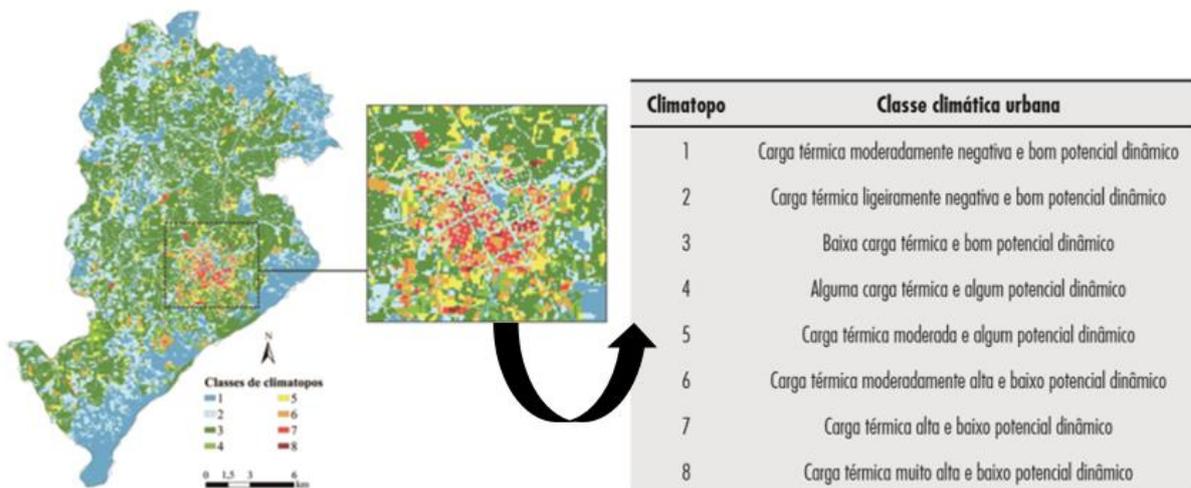
Ferreira, Assis e Katzschner (2017) adaptaram e aplicaram a metodologia do UCMaP visando a elaboração de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte. O trabalho adotou o método de análise multicritério para construção do modelo descritivo do território e o conceito de climatopos para a definição de classes climáticas. Para a coleta dos dados foram utilizados arquivos em formato vetorial e imagem classificada do satélite *Landsat 5*.



Foram elaborados 5 mapas básicos (ocupação urbana, áreas verdes, declividade, cobertura do solo e redução da velocidade do vento), utilizados na construção de 5 mapas temáticos (volume edificado, áreas verdes, declividade, áreas não permeáveis e rugosidade), analisados segundo o tipo de efeito produzido no clima urbano (negativo, se contribui para o armazenamento de calor; e positivo, se proporciona resfriamento) e o critério físico (térmico, se interfere na carga térmica local; e dinâmico, se interfere na circulação de ar local).

Assim como no estudo de Ferreira (2014), os mapas de Ferreira, Assis e Katzschner (2017) foram classificados e, posteriormente, atribuiu-se pesos a cada classe. O cruzamento dos dados ocorreu no *software* ArcGis, por meio da ferramenta de álgebra de mapas, que possibilitou a construção do mapa climático analítico. Como resultado, foram definidas 8 classes climáticas, sendo cada uma delas caracterizada pelos autores segundo sua carga térmica e o potencial dinâmico (Figura 14). Não foi elaborado um mapa de recomendações de planejamento urbano, embora os autores tivessem manifestado essa intenção à época da publicação do trabalho.

Figura 14 – Mapa climático analítico de Belo horizonte e classes de climatopos.



Fonte: adaptado de Ferreira, Assis e Katzschner (2017, p. 266).

Por sua vez, Pimentel (2017) aplicou o modelo matemático elaborado por Ferreira (2014) para a identificação de áreas com maior ou menor potencial de aquecimento, em 35 regiões urbanas da cidade de Juiz de Fora (Minas Gerais). As variáveis utilizadas para a construção do mapa síntese de potencial de aquecimento são apresentadas na Figura 15.



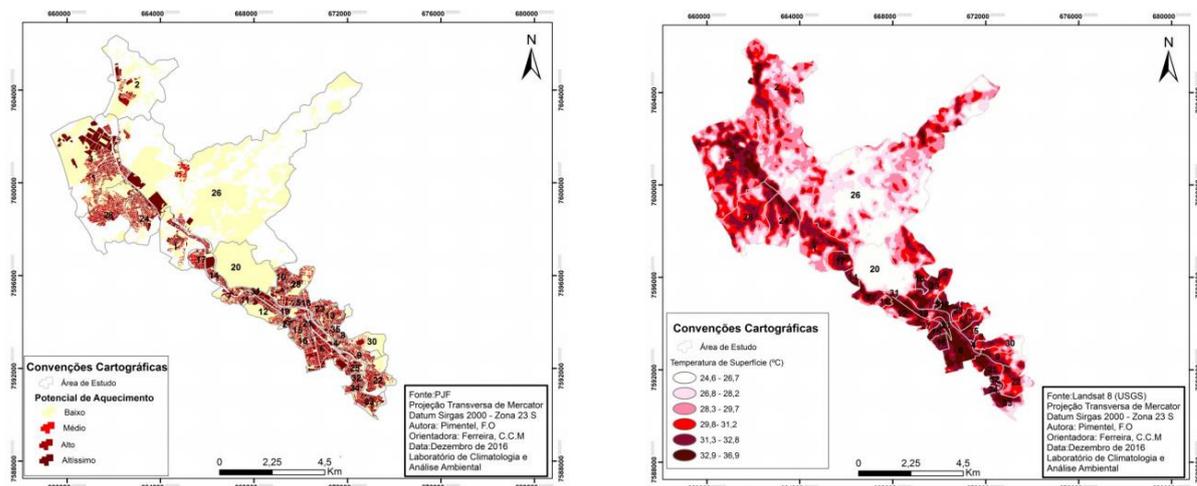
Figura 15 – Variáveis utilizadas para a construção do mapa síntese de potencial de aquecimento.

Mapas Básicos	Mapas Temáticos	Mapa Final
Altura das Edificações	Massa Construída Absoluta	Potencial de Aquecimento
Número de Pavimentos	Massa Construída Relativa Altura das Edificações	
Revestimento das Edificações	Albedo	
Cobertura das Edificações	Emissividade	
Tamanho das Áreas Verdes e Corpos Hídricos	Áreas Verdes e Corpos Hídricos	

Fonte: Pimentel (2017, p. 109).

Como resultado, no mapa síntese foram delimitadas 4 classes caracterizadas em função do potencial de aquecimento (baixo, médio, alto ou muito alto). Para a validação das informações qualitativas apresentadas no mesmo, optou-se por elaborar um mapa de temperatura de superfície, obtido a partir de uma imagem do satélite *Landsat-8* (Figura 16).

Figura 16 – Mapas produzidos pelo estudo.



(a) Mapa de potencial de aquecimento.

(b) Mapa de temperatura de superfície.

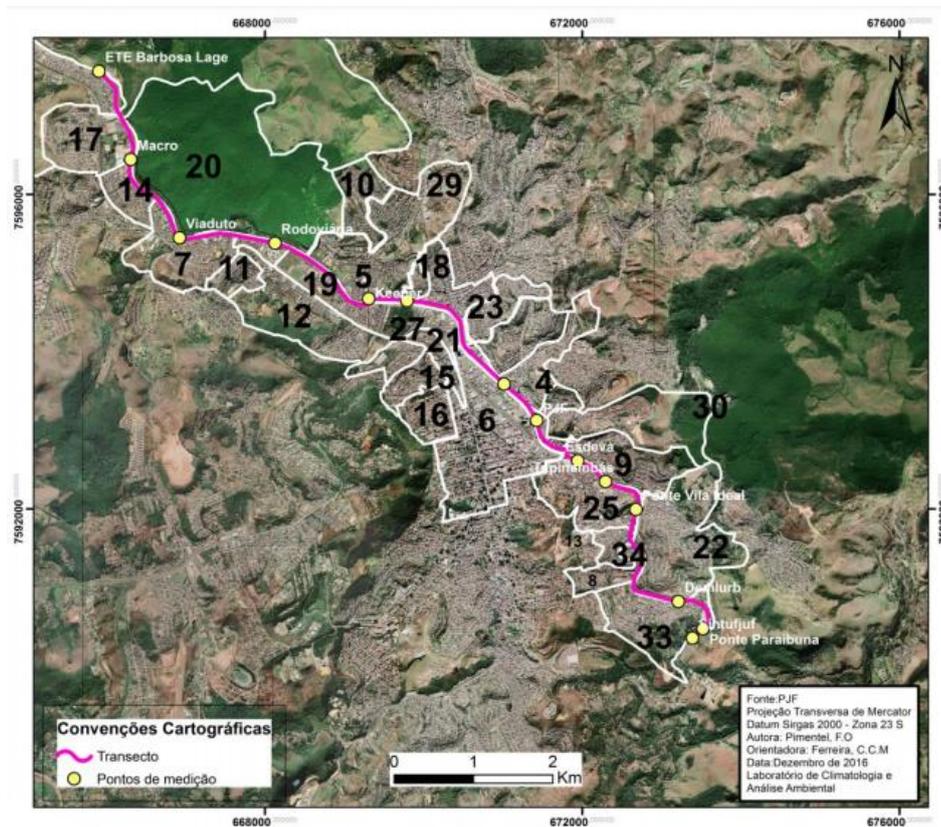
Fonte: Pimentel (2017, p. 133).

Em seguida, foi realizado um estudo de monitoramento climático para obtenção de dados locais de temperatura do ar, com base no método de transecto móveis.



Conforme ilustrado na Figura 17, foram delimitados diversos pontos de coleta pela extensão da área de interesse.

Figura 17 – Localização dos pontos de coleta do transecto móvel.



Fonte: Pimentel (2017, p. 136).

O estudo adotou o Coeficiente de correlação linear de Pearson para mensuração do grau de correlação de diferentes pontos aleatórios delimitados nos mapas “a” e “b” da Figura 13. O resultado apresentou boa correspondência (valor de 0,85), tendo em vista que o coeficiente varia entre os valores de -1 e 1 e quanto mais próximo deste último, maior o grau de correlação.

Pimentel (2017) verificou que as áreas de menor temperatura estavam associadas à presença de vegetação e menor potencial de aquecimento. Em ambos mapas (“a” e “b”), pôde-se identificar que a região urbana do centro apresentava maior propensão à formação de ilhas de calor urbana, em virtude da elevada massa construída e verticalização local; análise que foi posteriormente reforçada com o resultado do monitoramento climático.



Souza e Katzschner (2018) publicaram um artigo baseado no estudo desenvolvido por Souza (2010) em sua dissertação de mestrado, já explanado anteriormente. Lima Júnior (2018) também abordou o tema do UCMaP em sua dissertação e posteriormente em artigo elaborado por Lima Júnior e Zanella (2019). Do mesmo modo que Barbosa e Rocha (2016), o estudo adotou a metodologia de Katzschner (1997) para a elaboração do mapa climático urbano do município de Fortaleza (Ceará).

No estudo de Lima Júnior (2018) o mapa de carga térmica foi constituído por 4 camadas: volume edificado, potencial de calor antropogênico, altimetria e vegetação. O mapa de potencial dinâmico também foi elaborado a partir de 4 camadas, denominadas como: cobertura do solo, paisagens naturais, orientação das vertentes e rugosidade. O processo de adição dos mapas resultou em 21 categorias de classificação, com escala de valores que variou entre -6 e 7. Assim como realizado por Katzschner (2005), Souza (2010) e Ribeiro (2013), os valores foram simplificados e agrupados em 8 classes climáticas.

Dentre os resultados mais relevantes do estudo, destaca-se que as áreas das classes 6 e 7 (com carga térmica alta), caracterizadas pelo alto adensamento, baixos índices de vegetação e espaços abertos, representam a maior parte do território analisado. As áreas críticas termicamente (classe 8), consideradas no estudo como uma ilha de calor urbana, foram caracterizadas por intenso adensamento, baixa permeabilidade do solo, alta rugosidade, escassa vegetação e espaços verdes.

Ferreira, Pimentel e Vianna (2019) aprimoraram o modelo desenvolvido por Pimentel (2017) para análise do potencial de aquecimento de 35 regiões urbanas da cidade de Juiz de Fora (Minas Gerais). O estudo considerou o mesmo recorte territorial, contudo, a metodologia se diferenciou pelas variáveis selecionadas. O mapa de potencial térmico (mapa síntese final) foi produzido a partir da álgebra dos mapas de massa construída, albedo, emissividade, impermeabilidade do solo, declividade, altimetria e de forma analítica, o FVC.

Foram definidas 5 classes climáticas no mapa de potencial térmico. Como resultado, foi verificado que as áreas densamente ocupadas por edificações altas, elevada concentração de vias asfaltadas com grande fluxo de veículos, baixa ocorrência de



---

cobertura vegetal e água, alta impermeabilidade do solo, baixo albedo, elevada emissividade, baixa declividade e altitude são mais propensas a apresentar menor capacidade de resfriamento noturno, devido a carga térmica acumulada durante o dia e o baixo potencial dinâmico local. Por sua vez, tais fatores podem ocasionar um aumento da temperatura do ar local, maior desconforto térmico para os usuários e o aumento pela demanda de equipamentos de refrigeração.

De forma semelhante, a pesquisa identificou que as áreas com alta ocorrência de cobertura vegetal e água, áreas livres e permeáveis, baixa densidade construtiva, vias com baixo fluxo de veículos e não asfaltadas, albedo elevado, baixa emissividade, maior declividade e altitude possuem maior potencial dinâmico e, por consequência, consistem em ambientes mais frescos e com temperatura de superfície mais baixas. Além disso, foi observado que tais áreas corresponderam, principalmente, à periferia da área de estudo.

Para a validação do modelo foi realizado o mesmo procedimento de correlação estatística realizado por Pimentel (2017). Nesse sentido, foi verificado um alto grau de correlação entre os valores de temperatura de superfície registrados no mapa termal e as áreas de maior ou menor potencial de aquecimento delimitadas no modelo.

Conforme demonstrado na síntese, os estudos de UCMap desenvolvidos no Brasil apresentaram escopos metodológicos e escalas de atuação diversas, definidos em função do objetivo e da proposta de análise de cada pesquisa.

03

---

# **METODOLOGIA**



---

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO**

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos realizados para alcance dos objetivos da pesquisa. Ademais, estão descritos os estudos e referências utilizadas para subsidiar os métodos e técnicas empregados no trabalho.

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES PARA A PESQUISA**

Inicialmente, é apresentada e justificada a escolha pela escala espacial de análise selecionada para o desenvolvimento da pesquisa, bem como o motivo pela adoção da metodologia do UCMMap para realização da análise climática e a estruturação das etapas de pesquisa.

##### **3.1.1 A opção pela metodologia do UCMMap**

Os estudos acerca do clima urbano não são recentes. Na literatura podem ser observadas diferentes abordagens e métodos de investigação (MENDONÇA, 2003; UGEDA JÚNIOR; AMORIM, 2016; FIALHO; FERNANDES; CORREA, 2019). No intuito de estruturar e conduzir de forma coerente o estudo de análise climática, optou-se por adotar como referência um escopo metodológico com reconhecimento na comunidade científica. Além disso, para a seleção dos estudos de referência foram priorizados trabalhos que houvessem passado pelo processo de revisão por pares e que possuíssem abordagens alinhadas aos objetivos da pesquisa.

Nesse sentido, entende-se que a metodologia do UCMMap é extremamente fortuita, uma vez que apresenta um escopo básico de procedimentos e, ainda, permite que os autores realizem pequenas adequações para compatibilização da estrutura metodológica aos diferentes propósitos e objetos de pesquisa.

##### **3.1.2 A opção pela escala espacial de análise**

Cabe salientar que o UCMMap tem por objetivo prover informações climáticas na escala da cidade e a resolução típica adotada nos mapas é de 100m (ACERO *et al.*, 2013). Por este motivo, a maioria dos estudos de UCMMap até então desenvolvidos



tiveram como referência de análise climática a mesoescala, cujo recorte engloba toda ou parte da malha urbana de uma cidade. Contudo, considerando que o conforto térmico do transeunte é um fator preponderante para o presente estudo, ficou evidente a necessidade em se adotar uma escala de trabalho que garanta uma boa exposição e representatividade da condição climática característica da camada intraurbana, na qual as condições sinóticas somadas aos efeitos da urbanização afetam diretamente os moradores de uma cidade. Por conta disto, foi constatado que a microescala é a que melhor se adequa aos objetivos da pesquisa.

Sabe-se que a limitação de trabalhos de UCMMap que explorem a escala microclimática obviamente constitui um desafio, mas, sobretudo, representa uma oportunidade para se explorar novas propostas de investigação que possam contribuir para o enriquecimento da literatura existente.

### **3.1.3 Delimitação das etapas de pesquisa**

A fim de conduzir de maneira apropriada o processo de estruturação da metodologia proposta optou-se por dividir o trabalho em três etapas. Para facilitar a compreensão quanto ao fluxo de trabalho foi elaborado um mapa conceitual da pesquisa (Figura 18), no qual são caracterizadas as etapas percorridas e representadas visualmente as inter-relações entre conceitos teóricos e procedimentos metodológicos adotados.

Por conveniência, as três etapas foram denominadas da seguinte maneira:

ETAPA 1: concepção e estruturação;

ETAPA 2: aplicação e avaliação; e

ETAPA 3: análise e proposição.

Cada etapa de pesquisa englobou um conjunto de procedimentos específicos que serão detalhados posteriormente. Embora tenha-se optado pela organização dos procedimentos metodológicos em etapas de trabalho, é importante ressaltar que, dependendo dos resultados obtidos na avaliação preliminar, foi previsto na proposta metodológica revisões e retroalimentação das informações previamente delimitadas.

Na primeira etapa foi realizada uma revisão bibliográfica que consistiu na coleta de dados sobre os principais temas abordados na pesquisa. O conteúdo obtido na



---

revisão está sintetizado no segundo capítulo da dissertação. A revisão possibilitou a aproximação com o universo da pesquisa e forneceu informações atuais sobre a problemática estudada. O levantamento foi necessário especialmente para o delineamento dos procedimentos metodológicos a seguir apresentados.

Além disso, ainda nesta etapa, foi delimitado o escopo preliminar da metodologia proposta e os protocolos de coleta e análise dos elementos climáticos, dados geográficos do terreno, vegetação e parâmetros do planejamento urbano que compõem a estrutura da mesma.

Por sua vez, na segunda etapa houve a realização do estudo de caso piloto. Esse procedimento teve por objetivo testar a aplicabilidade da versão preliminar da metodologia proposta, visando o aperfeiçoamento da estrutura inicialmente delimitada. Sua execução também possibilitou a identificação de possíveis dificuldades encontradas na obtenção dos dados, problemas verificados no fluxo do processo e empecilhos encontrados no tratamento dos dados e no método de produção dos mapas.

Após a realização do estudo de caso piloto, foram avaliados os dados de campo obtidos e os procedimentos metodológicos delimitados. Por fim, na terceira e última etapa da pesquisa foram apresentadas as adequações realizadas após a avaliação dos resultados preliminares. Esses ajustes visaram garantir a viabilidade de aplicação do modelo, assim como sua eficácia no diagnóstico e proposição das diretrizes urbanas.

Figura 18 – Mapa conceitual da pesquisa.



Fonte: elaborada pela autora (2021).



## 3.2 CONCEPÇÃO E ESTRUTURAÇÃO

A pesquisa, de natureza aplicada, procurou produzir conhecimentos para a prática do planejamento urbano visando suprir a demanda por conhecimento sobre o clima urbano e a necessidade de integração dos dados climáticos ao processo de planejamento das cidades. Nesse sentido, os procedimentos metodológicos e parâmetros físicos adotados na metodologia foram delimitados levando em consideração a viabilidade, disponibilidade e praticidade de obtenção e/ou aplicação por parte de pesquisadores, arquitetos e urbanistas, gestores urbanos, entre outros.

### 3.2.1 Escopo preliminar da metodologia proposta

A abordagem qualitativa é derivada da linha de investigação alemã de mapeamento climático urbano proposta por Katzschner (1997) associada à estrutura metodológica elaborada por Ferreira (2014). Cabe salientar que a escolha pela estrutura metodológica desenvolvida por esta última se mostrou mais adequada, uma vez que a modelagem permite definir padrões térmicos diferenciados no espaço, em escala microclimática, bem como analisar os principais elementos causadores de campos térmicos, por meio da caracterização de elementos que compõe e revestem a superfície.

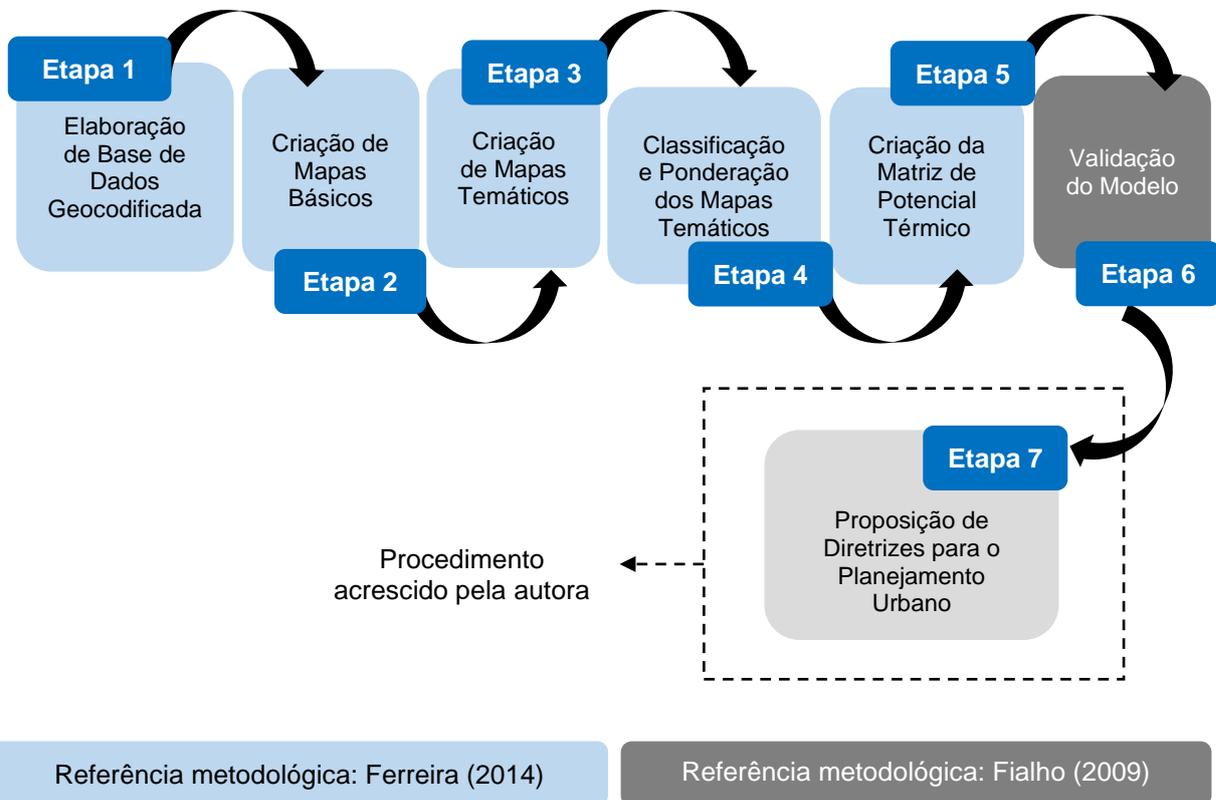
Na Figura 15 é apresentado um esquema simplificado das etapas que compõem o modelo analítico desenvolvido na pesquisa. Conforme detalhado a seguir, os procedimentos para a elaboração da matriz de potencial térmico foram fundamentados na proposta elaborada por Ferreira (2014). Já os procedimentos inerentes à etapa de validação do modelo, sofreram adequações devido a inviabilidade de obtenção de dados de temperatura e umidade do ar registrados a partir de estações automáticas instaladas na área de estudo.

Nesse sentido, recorreu-se a técnicas de monitoramento urbano com auxílio de miniestações meteorológicas para aferição das condições climáticas *in loco*. Além disso, buscou-se contribuições de outros autores para a definição dos procedimentos necessários para análise da correlação entre as áreas de maior



potencial de aquecimento constatadas pelo modelo e os mapas de distribuição da temperatura e umidade do ar elaborados a partir dos dados medidos.

Figura 19 – Esquema simplificado das etapas que compõem o modelo.



Fonte: elaborada pela autora (2021).

A Etapa 1 consistiu na elaboração de uma base de dados geocodificada da área a ser analisada, em escala 1:2000; visto que, segundo Monteiro (2003), essa escala cartográfica permite caracterizar melhor a realidade microclimática. Para o armazenamento e tratamento dos dados foi adotado o sistema de informação geográfica QGIS 3.16 (2021), tendo em vista: (1) sua ampla aplicação na área de geoprocessamento; (2) confiabilidade; (3) facilidade de operação; e (4) viabilidade financeira (*software* livre e aberto).

Para a análise do potencial de aquecimento foi necessário delimitar variáveis relacionadas à natureza da superfície e da forma urbana, que pudessem contribuir na formação dos campos térmicos. No Quadro 6 estão listadas as variáveis utilizadas na presente pesquisa. Por conveniência, as mesmas foram organizadas em categorias delimitadas em função do objeto a que se referem.



Quadro 6 – Relação das variáveis utilizadas para a identificação de campos térmicos.

(continua)

FORMA URBANA			
Nº	Variável	Fonte do dado	Método de obtenção
01	Altura das Edificações	Vitória (2020)	Ribeiro; Carvalho; Santos (2010)
02	Distância entre as edificações	Vitória (2020)	Medição manual a partir de <i>shapefile</i> das edificações
03	<i>Cânyons</i> urbanos	Vitória (2020)	Medição manual a partir de <i>shapefile</i> das edificações
04	Geometria urbana	Vitória (2020)	-
EDIFÍCIOS			
Nº	Variável	Fonte do dado	Método de obtenção
05	Revestimento	Google Earth (2021) e pesquisa de campo	Classificação manual com base em pesquisa de campo e imagem de satélite
06	Tipo de cobertura		
07	Cor		
08	Valores de albedo	Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005b) e Oke <i>et al.</i> (2017)	Classificação com base em valores de referência
09	Valores de emissividade		
SÍTIO URBANO			
Nº	Variável	Fonte do dado	Método de obtenção
10	Topografia	Vitória (2020)	Obtenção com base em curvas de nível
11	Frequência de ocorrência e direção predominante dos ventos	Lamberts e Maciel (2021)	Obtenção a partir de <i>software</i> gráfico de visualização de dados-
RUAS, AVENIDAS E ESTRADAS			
Nº	Variável	Fonte do dado	Método de obtenção
12	Hierarquia viária	Vitória (2018)	-
13	Largura	Vitória (2020)	Medição manual a partir de <i>shapefile</i> do sistema viário
14	Tipo de superfície	Google Earth (2021) e pesquisa de campo	Classificação manual com base em pesquisa de campo e imagem de satélite



(conclusão)

ÁREAS VERDES			
Nº	Variável	Fonte do dado	Método de obtenção
15	Área	Vitória (2020)	Vetorização manual com base em imagem de satélite e <i>shapefile</i> de arborização
16	Tipo de vegetação	Vitória (2020)	Classificação manual com base em pesquisa de campo e imagem de satélite
ÁGUA			
Nº	Variável	Fonte do dado	Método de obtenção
17	Área	Vitória (2020)	-
18	Tipo	Vitória (2020)	-
POLUIÇÃO DO AR			
Nº	Variável	Fonte do dado	Método de obtenção
19	Fluxo de veículos automotores	Vitória (2018)	Classificação com base em hierarquia viária

Fonte: adaptado de Ferreira (2014).

Em relação às variáveis originalmente selecionadas por Ferreira (2014), ressalta-se que as informações acerca da área e tipo dos espaços livres foram incorporadas na variável de geometria urbana. Ademais, foi optado por acrescentar a variável de direção predominante do vento à categoria de sítio urbano, uma vez que esse dado é de extrema relevância para o estudo da ventilação.

Visando evitar prolixidade, o método de coleta e tratamento dos dados referentes a cada variável listada na Tabela 2 foram detalhados no item 3.2, no qual há a descrição dos procedimentos realizados no estudo de caso para testagem do modelo. A partir do conjunto de informações levantadas, na segunda etapa, foram elaborados mapas básicos no próprio ambiente do QGIS, visando a organização e caracterização espacial de cada variável ao longo da área de estudo.

Os mapas básicos serviram de suporte para a elaboração de um conjunto de mapas temáticos acerca dos principais parâmetros, considerados por estudiosos da área do clima urbano, como preponderantes para a determinação da condição climática de uma área urbana (Etapa 3). No Quadro 7 podem ser observados os parâmetros adotados na pesquisa, bem como o tipo de efeito que os mesmos produzem no



balanço térmico urbano e as variáveis utilizadas para a produção dos mapas temáticos.

Quadro 7 – Parâmetros utilizados no modelo para simulação dos campos térmicos.

(continua)

Nº	Mapa temático	Variáveis (utilizadas)	Efeito no clima urbano	Critério Físico	Classificação
01	Massa construída	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altura das Edificações</li> <li>- Geometria Urbana</li> </ul>	Armazenamento de calor	Térmico (efeito negativo)	Volume (kg/m <sup>3</sup> )
02	Fator de visão do céu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altura das Edificações</li> <li>- Cântons urbanos</li> <li>- Geometria Urbana</li> <li>- Topografia</li> </ul>	Armazenamento de calor	Térmico (efeito negativo)	Índice (varia de 0 a 1)
03	Sombreamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altura das Edificações</li> <li>- Cântons urbanos</li> <li>- Geometria Urbana</li> </ul>	Resfriamento diurno	Térmico (efeito positivo)	Presença de áreas sombreadas ( <i>pixel</i> )
04	Albedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geometria Urbana</li> <li>- Revestimento</li> <li>- Tipo de cobertura</li> <li>- Área e tipo de superfícies (áreas verdes)</li> <li>- Valores de albedo</li> </ul>	Armazenamento de calor	Térmico (efeito negativo)	Índice (varia de 0 a 1)
05	Emissividade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geometria Urbana</li> <li>- Revestimento</li> <li>- Tipo de cobertura</li> <li>- Área e tipo de superfícies (áreas verdes)</li> <li>- Valores de Emissividade</li> </ul>	Armazenamento de calor	Térmico (efeito negativo)	Índice (varia de 0 a 1)



(conclusão)

Nº	Mapa temático	Variáveis (utilizadas)	Efeito no clima urbano	Critério Físico	Classificação
06	Ventilação	- Largura das vias - Frequência de ocorrência e direção predominante do vento	Circulação local de vento	Dinâmico (efeito positivo)	Potencial de ventilação por via
07	Poluição do ar	- Hierarquia viária	Armazenamento de calor	Térmico (efeito negativo)	Fluxo de veículos por via
08	Áreas Verdes e Água	- Geometria Urbana - Área e tipo de superfícies (áreas verdes)	Resfriamento noturno e mitigação de efeitos adversos do aumento da carga térmica	Térmico (efeito positivo)	Presença de áreas verdes e lâminas d'água
09	Áreas impermeáveis	- Geometria Urbana - Área e tipo de superfícies (áreas verdes)	Armazenamento de calor e redução dos fluxos de ar	Térmico (efeito negativo)	Presença de áreas impermeáveis
10	Topografia	- Topografia	Circulação local de ar induzida termicamente pelo relevo	Dinâmico (efeito positivo)	Elevação (m)

Fonte: elaborado a partir de Ferreira (2014) e Ferreira, Assis e Katzchner (2017).

Na Etapa 4 foi realizada a reclassificação dos mapas temáticos, mediante a atribuição de pesos a cada parâmetro avaliado. A padronização da escala de valores seguiu a proposta de Ferreira (2014), em que foi estabelecida uma faixa de pesos que varia de 1 a 5. Desse modo, foi atribuído peso 1 aos parâmetros com menor potencial de aquecimento e 5 para os que possuem maior influência no ganho térmico. Cabe salientar que a distribuição dos pesos foi efetuada considerando os princípios, efeitos e relações de cada parâmetro dentro do sistema clima urbano, encontrados na literatura científica do tema.

Em seguida, foi aplicada a técnica de comparação denominada como análise multicritérios, no intuito de estruturar o processo de definição das áreas de maior potencial de aquecimento, com base no tratamento dos diferentes dados (parâmetros) que condicionam e influenciam o balanço energético do ambiente urbano (Etapa 5). Assim, com o auxílio da ferramenta “Álgebra de mapas” disponível



---

no ambiente do QGIS, foi possível analisar as áreas do recorte de estudo com maior suscetibilidade ao aquecimento, a partir da aplicação de operações aritméticas associadas aos diferentes valores (pesos) atribuídos ao componente de legenda de cada parâmetro.

Mediante a combinação, integração e correlação dos mapas temáticos e seus respectivos pesos, na Etapa 5, foi obtido um mapa síntese final denominado como mapa de potencial de aquecimento, no qual puderam ser identificados os diferentes campos térmicos presentes na área de estudo e, conseqüentemente, aqueles mais suscetíveis ao armazenamento de calor.

Por sua vez, a Etapa 6 consistiu na realização de um trabalho de campo para monitoramento das variáveis de temperatura e umidade do ar. O procedimento teve por objetivo compreender a dinâmica climática da área de estudo, visando a validação dos resultados alcançados pelo modelo. Portanto, foi realizada uma análise comparativa entre os dados monitorados no trabalho de campo e o potencial de aquecimento determinado no mapa síntese final, para diferentes pontos do recorte de estudo.

Por fim, na última etapa, foram formuladas diretrizes para o planejamento urbano da área de estudo fundamentadas nas análises derivadas do modelo. Nesse sentido, foram: (1) avaliados os parâmetros que mais contribuiram para o aquecimento; e (2) determinadas possíveis formas de implementação e preservação de elementos que propiciem a mitigação dos efeitos adversos do aumento da carga térmica.

### 3.3 APLICAÇÃO

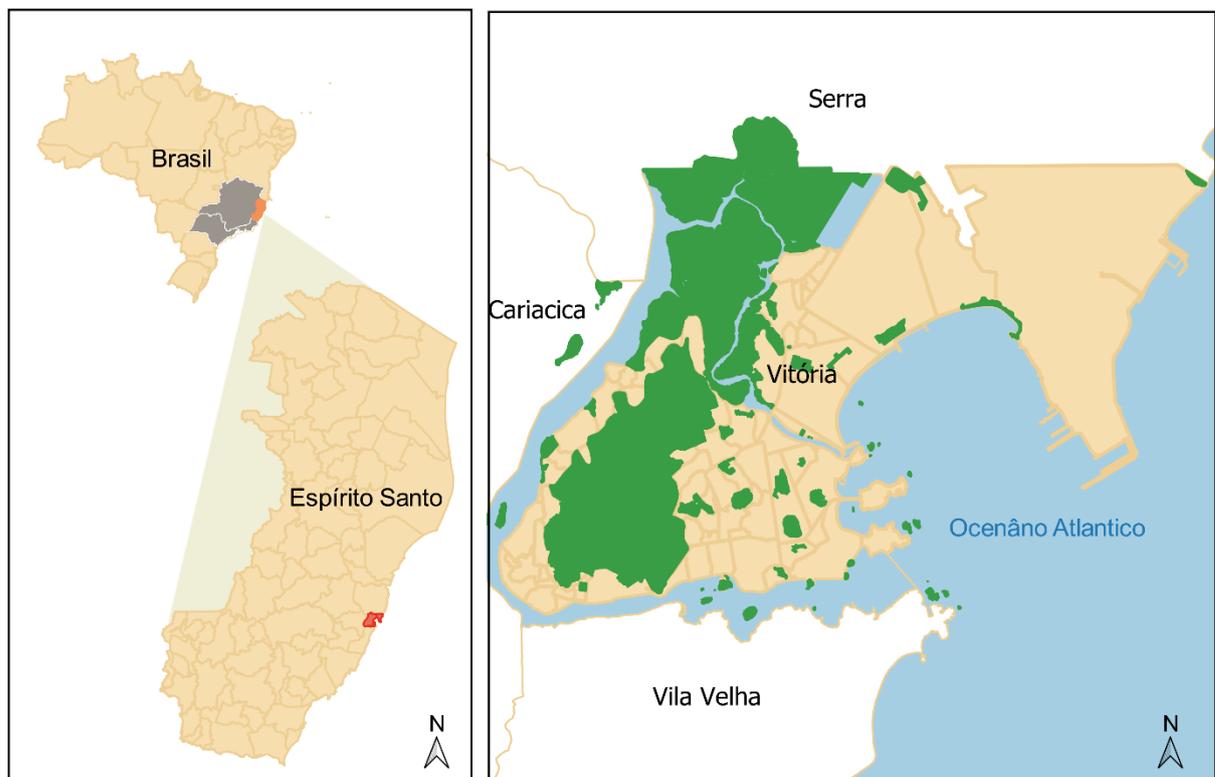
Para a realização do estudo de caso piloto, foi delimitada uma parcela territorial da cidade de Vitória, capital do estado do Espírito Santo. A opção pelo município se deu em vista da disponibilidade de dados geográficos e pela viabilidade para a realização do trabalho de campo. Além disso, observa-se que Vitória possui alguns bairros com configurações e tipologias urbanas muito representativas, o que os tornam adequados para o tipo de avaliação pretendida na pesquisa.



### 3.3.1 Caracterização climática da cidade de Vitória

Vitória é uma cidade litorânea localizada na região sudeste do Brasil, situada nas coordenadas geográficas LAT 20°19'20" e LONG 40°20'17" (CIDADE-BRASIL, 2020). A capital possui 97,123km<sup>2</sup> de área territorial e uma população estimada em 369.534 pessoas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021a; 2021b). Conforme o zoneamento climático brasileiro delimitado na NBR 15.220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c), a cidade está localizada na zona bioclimática 8 (Figura 20).

Figura 20 – Mapa de localização da cidade de Vitória no Brasil.



Legenda: ■ Espírito Santo ■ Sudeste ■ Vitória ■ Parques e áreas protegidas ■ Território

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).

Torna-se importante pontuar que, desde o ano de 2012, há um consenso por parte da comunidade científica a respeito da necessidade de aperfeiçoamento do zoneamento climático brasileiro (RORIZ, 2012). Desde então, foram elaboradas algumas propostas de revisão, sendo a mais recente datada no ano de 2014 (RORIZ, 2014). Apesar do aprimoramento técnico dos métodos de análise adotados nessa última versão, bem como a ampliação dos dados avaliados e a maior discriminação climática dos municípios, ressalta-se que o zoneamento oficial

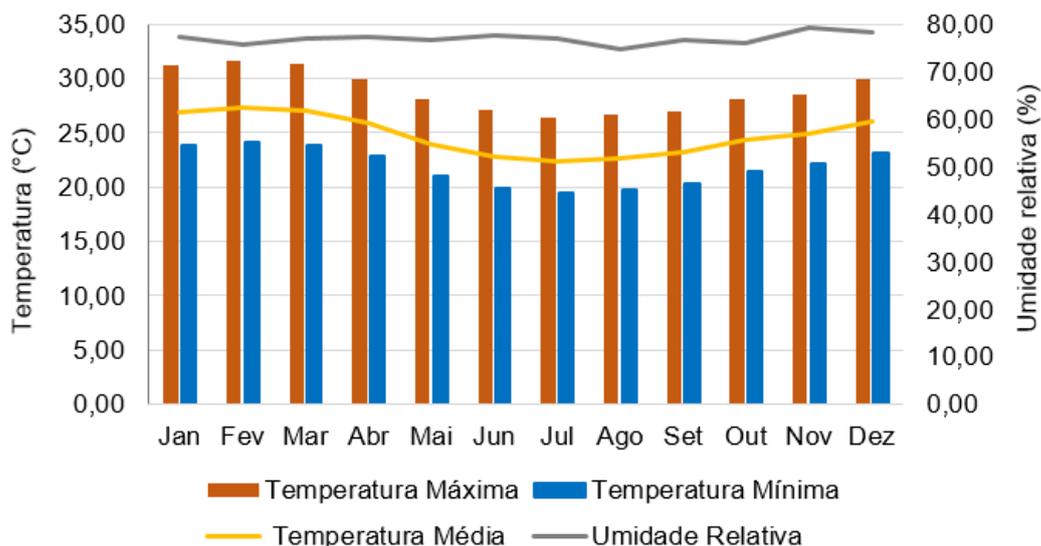


continua sendo o especificado na NBR 15.220-3 e, por este motivo, foi citado na pesquisa.

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima de Vitória pode ser definido como Tropical Quente do tipo Aw, apresentando uma área de transição do tipo Am (CORREA, 2014). No que diz respeito à sua caracterização, o clima Aw dispõe de estação chuvosa no verão, estação seca no inverno, temperatura média do mês mais frio superior a 18°C e precipitações superiores a 750 mm anuais. (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2020).

Segundo Romero (2013), o clima tropical quente e úmido apresenta pequena variação entre as estações de verão e inverno e alto teor de umidade relativa do ar. De modo geral, ao observar as normais climatológicas para a cidade de Vitória referente ao período de 1981 a 2010 (Gráfico 1) disponibilizadas no *website* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), verifica-se que nos meses de janeiro, fevereiro e março foram registrados os maiores valores médios de temperatura máxima, respectivamente 31,2°C, 31,7°C e 31,4°C (INMET, 2021a).

Gráfico 1 – Normais climatológicas para Vitória referente ao período de 1981 a 2010.



Fonte: adaptado de Instituto Nacional de Meteorologia (2021a).

Nos meses supracitados também foram observadas as maiores médias de temperatura, respectivamente 26,9°C, 27,4°C e 27,1°C. Por sua vez, os menores valores médios de temperatura mínima foram verificados nos meses de junho, julho e agosto, todos na faixa de 19°C. Conforme observado no Gráfico 1, durante o ano



todo foram observados valores de umidade relativa acima de 70%, com destaque para os meses de novembro e dezembro.

### 3.3.2 Recorte Territorial

Conforme abordado previamente, foi necessária a delimitação de um recorte territorial para realização do estudo de caso e validação do modelo desenvolvido na pesquisa. O procedimento buscou selecionar uma área que atendesse as premissas listadas a seguir:

- Disponibilidade de dados, tendo em vista que a metodologia empregada no modelo envolve o uso de programa de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados;
- Viabilidade para realização do trabalho de campo, pois a realização do monitoramento climático consiste em procedimento de grande relevância para a validação dos resultados concebidos pelo modelo. Nesse sentido, foram ponderados os seguintes aspectos: segurança dos equipamentos e pessoas envolvidas; viabilidade de deslocamento ao longo da área de estudo; e facilidade para instalação e permanência da miniestação meteorológica em um ponto fixo, durante o período de monitoramento;
- Conformação urbana consolidada, que garanta a substituição do ambiente natural pelo construído e, conseqüentemente, possibilite a análise da dinâmica microclimática em ambiente modificado pela ação antropogênica;
- Diversidade do conjunto edificado, que permita a análise de diferentes arranjos urbanos (em termos de número de pavimentos, usos, volume edificado, etc.) e possibilite verificar a existência de áreas mais suscetíveis ao aquecimento ou arrefecimento;
- Traçado relativamente regular, no intuito de viabilizar a modelagem da área de estudo, tendo em vista as limitações do programa quanto à representação de objetos muito complexos.

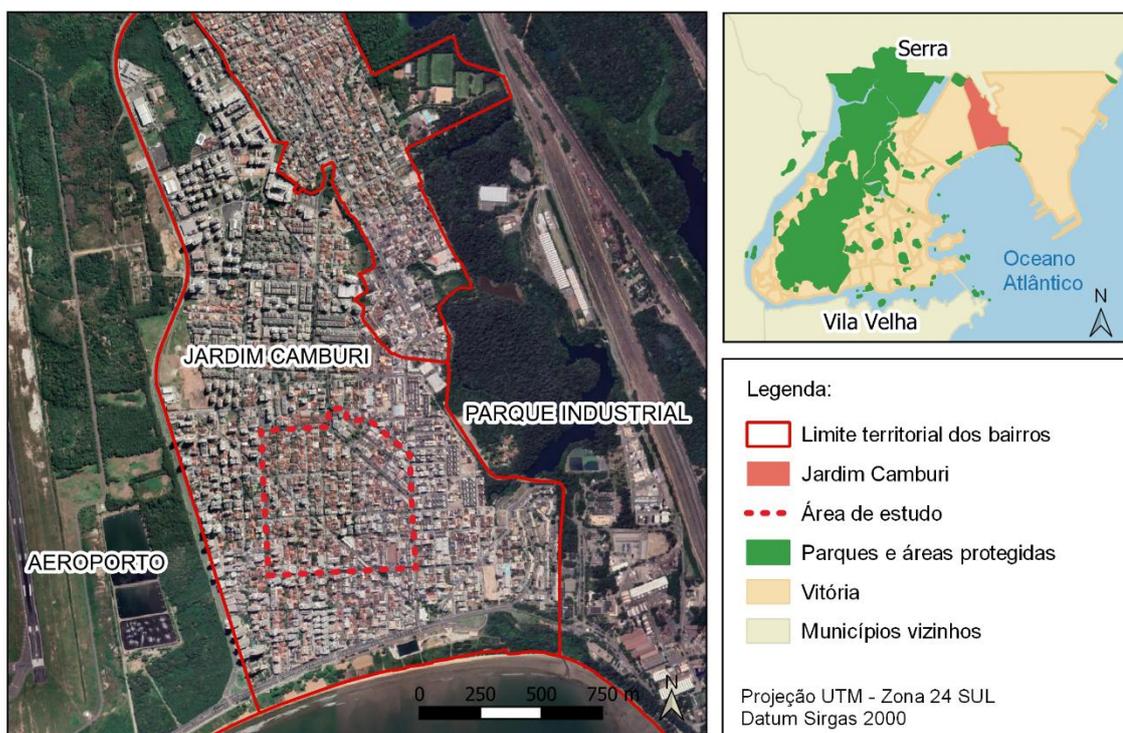


Diante do exposto, foi selecionada uma área com aproximadamente 230.000m<sup>2</sup>, situada no bairro Jardim Camburi. O recorte territorial se caracteriza por ser uma zona majoritariamente residencial que dispõe de boa diversidade de serviços, infraestrutura e comércio local. Em relação à tipologia construtiva, observa-se tanto residências de 1 a 3 pavimentos como edifícios de até 11 pavimentos.

Para a delimitação do recorte, optou-se por selecionar uma área central do bairro, com o intuito de priorizar a análise dos elementos inerentes à forma urbana na dinâmica microclimática local. Nesse sentido, foram evitadas áreas próximas ao limite territorial do bairro, em virtude da presença de elementos naturais (orla, parque e áreas protegidas) que certamente exercem forte influência no balanço térmico e poderiam até mascarar a real contribuição das estruturas artificiais para o armazenamento de calor.

Na Figura 21 apresenta-se o mapa de localização da área de estudo. Cabe salientar que no censo demográfico de 2010, Jardim Camburi foi considerado o bairro mais populoso de todo o estado do Espírito Santo, com 39.157 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011).

Figura 21 – Mapa de localização da área de estudo.

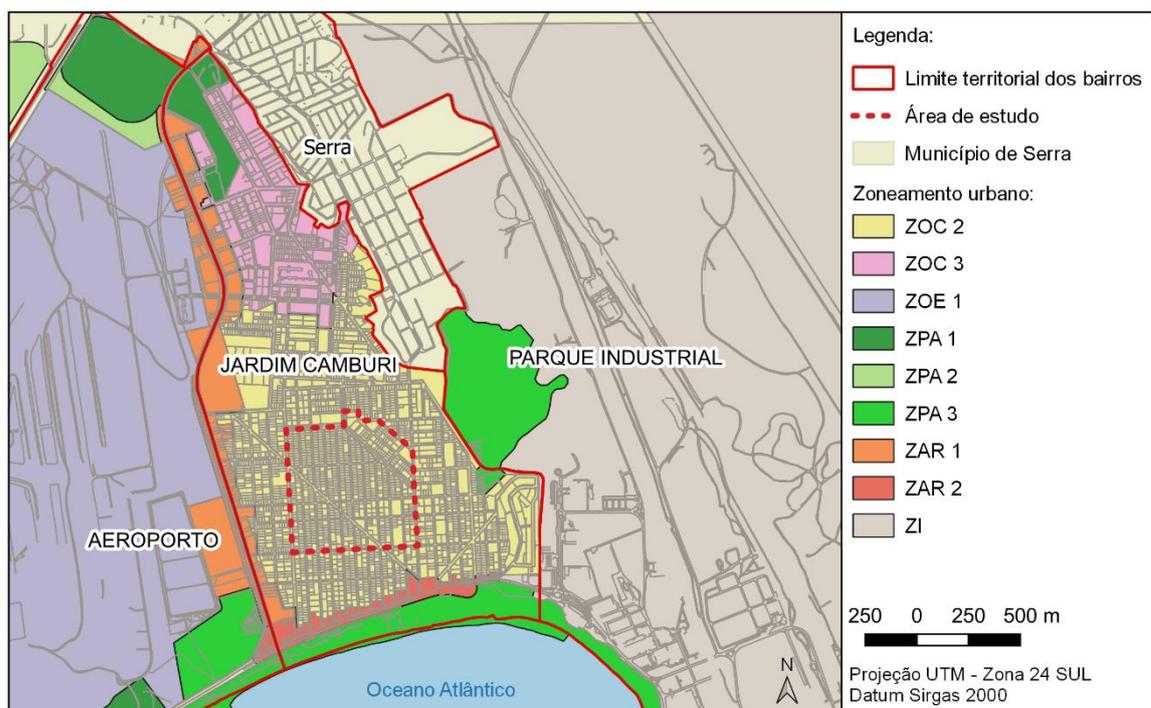


Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020) e Google Earth (2021).



Em relação ao enquadramento de Jardim Camburi no zoneamento urbanístico definido pela Lei 9.271/2018 que instituiu o Plano Diretor de Vitória (VITÓRIA, 2018), destaca-se que o espaço urbano do bairro é classificado em 5 zonas distintas: a zona arterial - ZAR 1 e ZAR 2, nos lotes situados em frente a avenida Norte-Sul e a orla marítima, respectivamente; a zona de proteção ambiental - ZPA 1, ZPA 2 e ZPA 3, nas áreas de proteção ambiental de parques e na orla marítima; a zona de ocupação controlada - ZOC 3, na porção norte do bairro; e a zona de ocupação controlada - ZOC 2, nas demais áreas do território. Na Figura 22 pode ser observado o mapa de zoneamento urbano do bairro.

Figura 22 – Mapa de zoneamento urbano do bairro Jardim Camburi.



Fonte: elaborado a partir de Vitória (2018) e Vitória (2020).

Conforme observado, o recorte de estudo está situado em área classificada como ZOC 2; essa zona é caracterizada por áreas com a predominância de uso misto, adequada oferta de equipamentos públicos e infraestrutura urbana. O direcionamento da legislação urbana para a zona tem por objetivo: (1) compatibilizar o adensamento construtivo com a estrutura do sistema viário e marcos visuais relevantes da paisagem urbana do bairro; (2) melhorar as condições de mobilidade urbana; e (3) preservar os marcos visuais mais significativos da paisagem (VITÓRIA, 2018).



A Tabela 1 apresenta uma síntese dos índices de controle urbanísticos da área de estudo.

Tabela 1 – Índices urbanísticos da área de estudo.

Taxa de permeabilidade mínima (TP)	Coefficiente de aproveitamento mínimo (CA)	Coefficiente de aproveitamento máximo (CA)	Taxa de ocupação (TO)	Afastamento frontal mín.
10%	0,2	2,25	60%	3,0m

Fonte: adaptado de Vitória (2018)

O coeficiente de aproveitamento (CA) máximo se aplica a construções não residenciais como hotel, apart hotel e similares situadas em vias principais locais e coletoras. Ressalta-se que, no caso de primeiro pavimento não em subsolo destinado ao uso comum em edifícios residenciais multifamiliares ou não residenciais em construções de uso misto, admite-se ocupar toda a área remanescente do terreno após a aplicação do afastamento frontal. Ademais, a legislação urbana prevê que a altura da edificação deverá ser proporcional à largura da via.

### 3.3.3 Elaboração de base de dados geocodificada e mapas básicos

A base de dados geocodificada do estudo foi elaborada a partir de dados disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Vitória (PMV), por meio do seu *website* de georreferenciamento denominado GeoWeb (VITÓRIA, 2021). Assim, foi possível obter arquivos no formato *shapefile*<sup>3</sup> da estrutura viária, quadras, lotes, edificações, vegetação arbórea, entre outros. A data de modificação dos arquivos utilizados, ou seja, sua última atualização, é datada em 26 de agosto de 2020.

Os dados relativos à geometria urbana e à topografia puderam ser obtidos diretamente no *website* GeoWeb. Por sua vez, as informações acerca dos parâmetros de distância entre as edificações, *cânions* urbanos e largura de ruas, avenidas e estradas foram alcançadas por meio de medição manual do comprimento (m) existente entre os vértices das geometrias. Já o cálculo da área (m<sup>2</sup>) dos

<sup>3</sup> Formato de arquivo desenvolvido pela empresa norte-americana Esri, contendo dados geoespaciais em formato de vetor usados por sistemas de informação geográfica (SHAPEFILES..., 2021).



espaços livres e áreas verdes foi realizado no ambiente do QGIS com auxílio da ferramenta “Calculadora de campo”, que permite mensurar a área e perímetro de polígonos.

As informações sobre o tipo, material e cor da cobertura dos edifícios foram coletadas por meio de pesquisa de campo. O mesmo ocorreu para o levantamento do tipo de vegetação e superfícies das ruas, avenidas e estradas. Os dados obtidos foram acrescentados como uma nova coluna na tabela de atributos das camadas de edifícios, áreas verdes e sistema viário.

A hierarquia viária foi delimitada levando em consideração o padrão definido no Anexo 4 da Lei 9.271/2018 - Plano Diretor de Vitória (VITÓRIA, 2018). Ressalta-se que a informação serviu como base para a classificação do fluxo de veículos automotores. Nesse sentido, foi adotada a correlação descrita no Quadro 8.

Quadro 8 – Padrão estabelecido para a classificação do fluxo de veículos automotores.

Hierarquia viária	Padrão do fluxo de veículos automotores
Via coletora	Alto
Via local principal	Médio
Via local secundária	Baixo
Via de pedestres	Não se aplica

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2018).

A definição da altura das edificações foi realizada com base na proposta de Ribeiro, Carvalho e Santos (2010); método igualmente utilizado por Ferreira (2014). Inicialmente, no portal *Geoweb*, foi obtido o *shapfile* dos lotes com a informação do número de pavimentos das edificações. Com auxílio da ferramenta de união espacial existente no *plugin Spacial Join*, foi possível copiar os dados do número de pavimentos para a tabela de atributos da camada de edifícios, a partir da sobreposição desta última com a camada dos lotes.

No intuito de verificar a existência de edifícios construídos após a data da última atualização da base cartográfica da PMV, foi realizado um segundo procedimento



para conferência das edificações existentes no arquivo *shapefile*, em comparação a imagens recentes disponibilizadas pelo Google Earth (2020), capturadas pelo satélite *Landsat 8* do NOAA - instituição ligada ao governo norte-americano.

O *plugin QuickMapServices* permitiu adicionar uma camada web (imagem de satélite online) da área de estudo ao ambiente do QGIS. Desse modo foi possível sobrepor à camada *shapefile* dos edifícios à imagem de satélite e identificar edificações não cadastradas. Conforme exemplificado na Figura 23, foram adicionadas novas geometrias (feições) com base no perímetro de cobertura das edificações novas e, em seguida, realizado o seu ajuste de posicionamento visando corrigir o efeito de perspectiva da imagem. Nesse sentido, as geometrias foram reposicionadas tendo como referência um ponto situado na base da edificação e os vértices das geometrias dos edifícios vizinhos.

Figura 23 – Demonstração dos procedimentos realizados para inserção de novas edificações.



Fonte: modificado a partir de Google Earth (2021).

Após a atualização do arquivo, foi associado um valor de altura para cada edificação, a partir do número de pavimentos obtidos no GeoWeb e confirmado na pesquisa de campo, multiplicado por 3,0m. Segundo Ribeiro, Carvalho e Santos (2010), essa medida representa um valor médio para a altura de cada pavimento.

Já os valores típicos de albedo ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\epsilon$ ) para os diversos materiais de superfície delimitados na pesquisa de campo foram definidos considerando como referência as informações contidas no anexo B da NBR 15.220-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). Diante da necessidade de complementação dos dados a respeito de alguns materiais, optou-se por adotar os valores sugeridos por Oke *et al.* (2017). A decisão foi tomada, tendo em vista a



extensa revisão de literatura realizada pelos autores. Na Tabela 2 estão sintetizados os valores típicos adotados para cada tipo de material de superfície.

Tabela 2 – Valores de albedo ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\epsilon$ ) para cada tipo de material de superfície.

Superfícies	Albedo ( $\alpha$ )	Emissividade ( $\epsilon$ )
Água	0,05 – 0,10	0,92 – 0,97
Asfalto	0,05 – 0,27	0,90 – 0,98
Areia	0,20 – 0,45	0,84 – 0,92
Concreto	0,10 – 0,35	0,85 – 0,95
Gramma (baixa)	0,26	0,90
Telha de aço galvanizada	0,37 – 0,45	0,25
Telha de barro	0,10 – 0,35	0,85 – 0,95
Solo (escuro e seco)	0,10 – 0,13	0,98

Fonte: adaptado de Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005b) e Oke *et al.* (2017).

Por sua vez, as informações relativas à frequência de ocorrência dos ventos e velocidades predominantes por direção foram obtidas com auxílio do *software* Analysis SOL-AR (LAMBERTS; MACIEL, 2021). Conforme descrito pelos autores, o programa permite a simulação da Rosa dos Ventos para cada estação do ano em 8 orientações distintas (N, NE, L, SE, S, SO, O e NO).

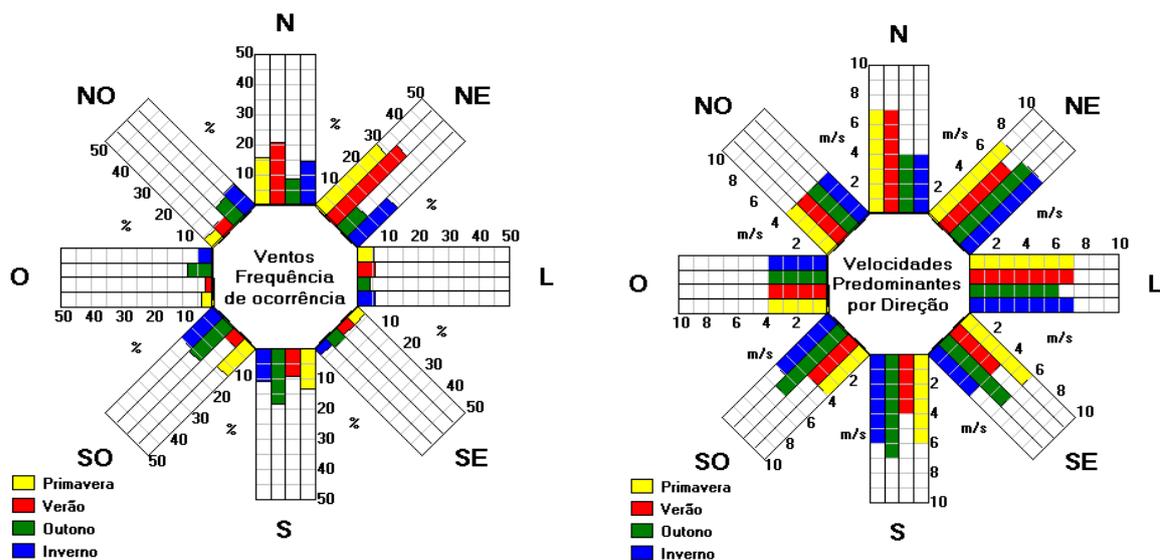
Os gráficos são gerados a partir de informações armazenadas na base de dados do programa. Destaca-se que a configuração original do *software* já dispõe dos dados de latitude, longitude, temperatura e ventos para as cidades de Belém, Brasília, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Maceió, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Luís, São Paulo e Vitória.

O programa consiste em importante ferramenta para auxílio no desenvolvimento de projeto arquitetônico e na elaboração de análises climáticas. Na literatura científica, podem ser encontradas diversas aplicações, como nos trabalhos de Bernabé, Alvarez e Souza (2009) para a cidade de Vitória (Espírito Santo); Grigoletti, Flores e Santos (2016) em estudo na cidade de Santa Maria (Rio Grande do Sul); e Tork, Tibiriçá A. e Tibiriçá Á. (2017) na cidade de Belém (Pará).



Na Figura 24 é apresentada a Rosa dos Ventos para frequência de ocorrência dos ventos e velocidade predominante por direção, para a cidade de Vitória. Conforme observado, na estação de inverno é mais frequente a ocorrência de ventos na orientação nordeste, seguidas pelas orientações norte e sudoeste. Já em relação a velocidade, os maiores valores foram verificados nas orientações nordeste e leste, embora se perceba que todas as orientações apresentam média acima de 4m/s.

Figura 24 – Gráfico de frequência de ocorrência dos ventos (esquerda) e velocidade predominante por direção (direita) para a cidade de Vitória.



Fonte: adaptado de Lamberts e Maciel (2021).

Em relação aos parâmetros delimitados no escopo preliminar do modelo, apenas não foram incluídas informações a respeito de cursos d'água, tendo em vista a inexistência do elemento na área de estudo. Conforme abordado anteriormente, os parâmetros analisados serviram como base para a elaboração dos mapas temáticos detalhados a seguir.

### 3.3.4 Elaboração dos mapas temáticos

Conforme demonstrado no Quadro 7, cada mapa temático foi elaborado a partir de um conjunto de variáveis e procedimentos específicos. Visando facilitar a leitura e detalhamento dos processos realizados, optou-se por organizá-los em alíneas, como observado a seguir.



(a) Mapa temático: massa construída

A massa construída consiste em importante parâmetro para o balanço térmico, tendo em vista que o volume das construções influencia na capacidade de armazenamento de calor em ambientes urbanos. Conforme discorrido no capítulo 2, a alta densidade construtiva pode retardar o resfriamento do volume de ar inserido em recintos urbanos, por meio da obstrução da visão do céu; condição que favorece a ocorrência de ICU noturna. Além disso, ressalta-se que áreas com grande volume de construção também podem apresentar maior capacidade térmica devido as características dos materiais empregados no local (OKE, 1981).

Para o cálculo do parâmetro de massa construída foi adotada a proposta de Vianna, Pimentel e Ferreira (2020). A escolha é fortuita pois possibilitou a mensuração dos valores no próprio ambiente do QGIS, facilitando a organização e o gerenciamento do fluxo de trabalho. Primeiramente, foi utilizada a ferramenta “Calculadora de campo” para realizar o cálculo da área (em m<sup>2</sup>) e do perímetro (em metros) das geometrias das edificações. Os valores computados foram então associados à tabela de atributos da camada edifícios, originando duas novas colunas de informações.

Ainda com auxílio da mesma ferramenta, foi criado um novo campo na tabela de atributos referente à massa construída. Os dados foram preenchidos com base em uma expressão condicional, concebida a partir da fórmula adaptada do trabalho de Tso, Chan e Hashim (1990), representada na Equação 2.

$$M_c = (P \cdot h \cdot E_{c1} \cdot \gamma_a) + (A \cdot NL \cdot E_{c2} \cdot \gamma_c) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$M_c$  = massa construída (Kg);

$P$  = perímetro da edificação (m);

$h$  = altura da edificação (m);

$E_{c1}$  = espessura média do concreto nas construções, sendo adotado o valor de 0,14m para paredes externas;

$\gamma_a$  = densidade da alvenaria = 1650 kg/m<sup>3</sup>;

$A$  = área da edificação (m<sup>2</sup>);

$NL$  = número de lajes +1;



---

$E_c2$  = espessura média das lajes de concreto das construções, sendo adotado o valor de 0,10m como referência;

$\gamma_c$  = densidade do concreto = 2400 kg/m<sup>3</sup>.

Com o auxílio da ferramenta “Converter vetor para raster” do QGIS, foi possível elaborar uma imagem raster<sup>4</sup> tendo como arquivo de entrada a camada vetorial de edifícios e como campo de referência para a classificação, os valores pertencentes ao atributo de massa construída. Como resultado, foram definidas 5 classes distintas em função do volume das construções situadas na área de estudo (Figura 25). Cabe salientar que áreas com tons de vermelho escuro representam locais com elevado volume construído e, portanto, maior capacidade de armazenamento e de calor.

---

<sup>4</sup> Imagem formada por uma matriz de pixels, onde cada célula contém um valor que representa a condições da área coberta (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2014).

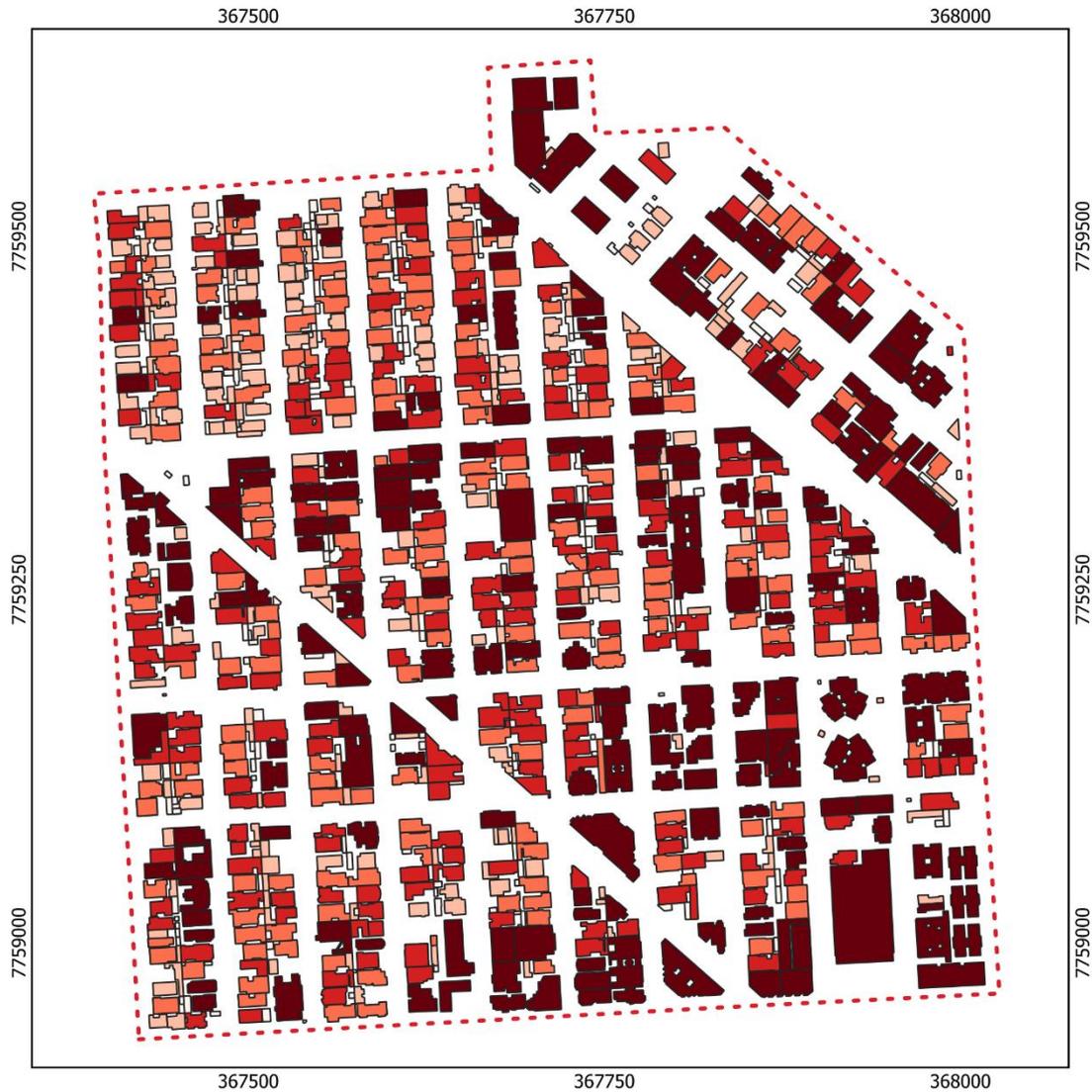


Figura 25 – Mapa de massa construída.

**TÍTULO**

**MAPA DE MASSA CONSTRUÍDA**

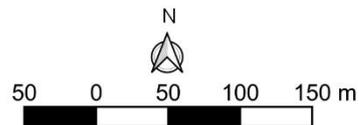
Projeto de Mestrado - Mapas Temáticos



**LEGENDA**

- - - Área de estudo
- Massa construída (kg/m<sup>2</sup>):
- 47,5 - 513
- 513,1 - 1148
- 1148,1 - 1660
- 1660,1 - 2847
- 2847,1 - 34129

**DADOS DO PROJETO**



Projeção UTM - Zona 24 SUL - Datum Sirgas 2000

**PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS**

Fonte: Vitória, 2020.  
 Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.  
 Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



### (b) Mapa temático: Fator de Visão do Céu (FVC)

Conforme detalhado anteriormente, o parâmetro de FVC pode auxiliar na identificação de recintos urbanos mais propícios ao armazenamento de calor. Deste modo, sua inclusão na metodologia proposta, permite avaliar a interferência das construções na incidência da radiação solar na superfície e na dispersão do calor resultante da exposição diurna.

Os valores de FVC foram extraídos a partir do processamento do Modelo Digital de Superfície<sup>5</sup> (MDS) da área de estudo. Conforme afirmam Moreira *et al.* (2021), quando comparada à utilização de fotografias hemisféricas (conhecidas como “olho de peixe”), a estimativa de FVC baseada no MDS promove agilidade na aquisição dos valores e permite o cálculo para áreas mais extensas.

Para tal finalidade foi utilizado o *Urban Multi-scale Environmental Predictor* (UMEP), um *software* livre, de serviços climáticos desenvolvido por Lindberg *et al.* (2018) e projetado para o uso de pesquisadores e prestadores de serviços como arquitetos, climatologistas e planejadores urbanos. A ferramenta fornece recursos para análise, visualização e edição de dados espaciais, permitindo ao usuário delimitar diferentes parâmetros. O acesso aos dados espaciais é realizado no próprio ambiente do QGIS, com o acionamento do *plugin* UMEP (LINDBERG *et al.*, 2019); sendo este, o principal motivo para a escolha da ferramenta.

A metodologia utilizada pelo *software* para o cálculo do FVC, fundamenta-se no método de abordagem baseada em raster, desenvolvido por Lindberg e Grimmond (2010). Conforme explicam os autores, o FVC resulta do processamento de um algoritmo de projeção de sombra alicerçado em dados de altitude e do ângulo azimute de uma fonte de luz (o Sol), obtidos juntamente com a imagem raster do Modelo digital de elevação (MDE)<sup>6</sup> utilizado como arquivo de entrada.

O mapa de sombras produzido pelo algoritmo é calculado a partir de um volume de sombras resultante de uma sequência de movimentos da imagem raster do MDE no ângulo azimute, no qual, para cada interação, simultaneamente é reduzida a altura

---

<sup>5</sup> O termo refere-se à modelos que representam digitalmente a superfície de um terreno, levando em consideração as elevações do terreno e de outros objetos acima dele, como construções e coberturas vegetais (SANTOS *et al.* 2016).

<sup>6</sup> Se diferencia do MDS pelo fato de representar apenas a elevação do terreno.



decorrente do ângulo de elevação do Sol. Desse modo, cada interação contribui para a criação de uma parte do volume total de sombras acumuladas, cujo processo de interação é interrompido se, ao mover a imagem, é empregado um valor de elevação inferior ao verificado no MDE original ou, ainda, se a imagem ficar posicionada fora da área de interesse.

Para a produção do mapa real de sombras é gerada uma imagem booleana<sup>7</sup>, resultante da extração do MDE original do volume total de sombras acumuladas, onde os *pixels* com valor negativo ou zero (que são expostos a luz solar) recebem o valor de FVS igual a 1 (um) e os com valor positivo (que estão sombreados) recebem o valor de FVS igual a 0 (zero), possibilitando a criação de um mapa de sombras baseado nos diferentes valores de FVC derivados.

Inicialmente, para o processamento do FVC pela ferramenta foi necessário um MDS como arquivo de entrada. Este último, foi obtido com a utilização da ferramenta *DSM generator*, localizada no menu de pré-processamento de dados espaciais do UMEP e que permite produzir o MDS a partir de uma imagem raster do MDE, associado a uma camada vetorial contendo as geometrias e valores de altura das construções.

O MDE da área de estudo foi gerado a partir do arquivo de curvas de nível disponibilizado no portal Geoweb. Com o comando *v.to.rast* (localizado no menu processar da caixa de ferramentas do QGIS) foi realizada a conversão da camada vetorial em uma camada raster, onde os contornos (curvas de nível) foram rasterizados, ou seja, transformados em *pixels*. Em seguida, com o auxílio do comando *r.surf.contour* (localizado no mesmo menu) foi gerado um raster de superfície, em função dos contornos rasterizados no procedimento anterior. Os processos descritos estão representados na Figura 26.

Assim, foi possível gerar um raster do MDE com resolução de 2,0m, no qual pôde ser reproduzida digitalmente a superfície do terreno da área de estudo, onde o valor

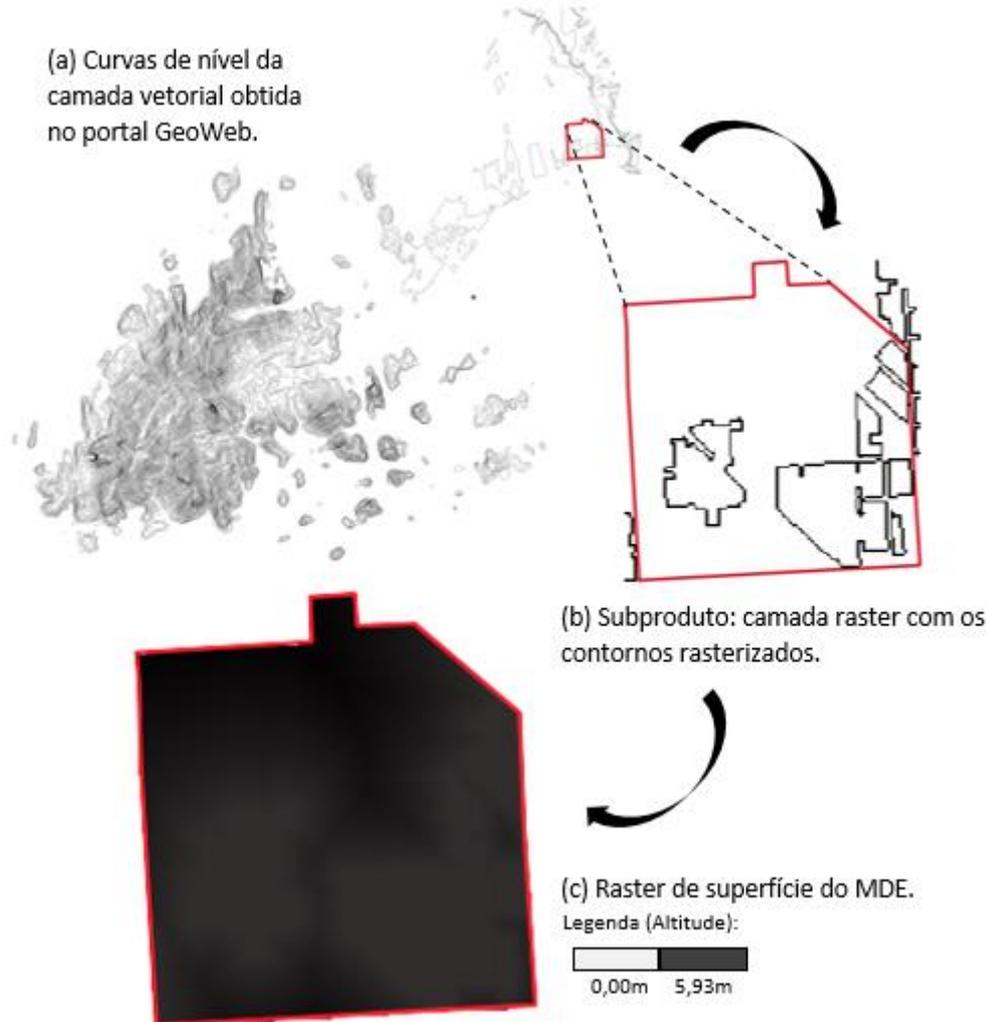
---

<sup>7</sup> Imagem raster concebida por ferramentas matemáticas que executam operações com álgebra booleana. Os dados de cada célula (*pixel*) dos arquivos de entrada (imagens raster de MDE) são interpretados como valores booleanos, onde valores diferentes de 0 (zero) são considerados verdadeiros e o valor 0 (zero) é considerado falso. Desse modo, os rasters de entrada são testados célula a célula (*pixels*) para geração de uma nova imagem, cujos valores resultam da operação supracitada (HOW...2021).



de intensidade de cada *pixel* da imagem, corresponde a um dado de elevação (altitude em relação ao nível do mar) extraído do arquivo de curvas de nível.

Figura 26 – Procedimentos realizados para elaboração da imagem raster do MDE.



Fonte: adaptado a partir de Vitória (2021).

Posteriormente, o raster do MDE produzido e a camada vetorial dos edifícios foram inseridos como arquivos de entrada na ferramenta *DSM generator*, cujo processamento resultou na elaboração do MDS da área de estudo. Conforme apresentado na Figura 27, neste último, foram incluídos não apenas os valores de elevação da superfície, mas também os dados de elevação das construções, com base nos valores de altura especificados na tabela de atributos da camada de edifícios.

Por fim, com o auxílio da ferramenta *Sky View Factor* localizada no menu de pré-processamento de geometrias urbanas do UMEP, foi possível a geração de uma



imagem raster no qual foram representados espacialmente os diferentes valores de FVC verificados na área de estudo, mensurados a partir da imagem raster do MDS.

Figura 27 – Imagem raster do MDS da área de estudo.

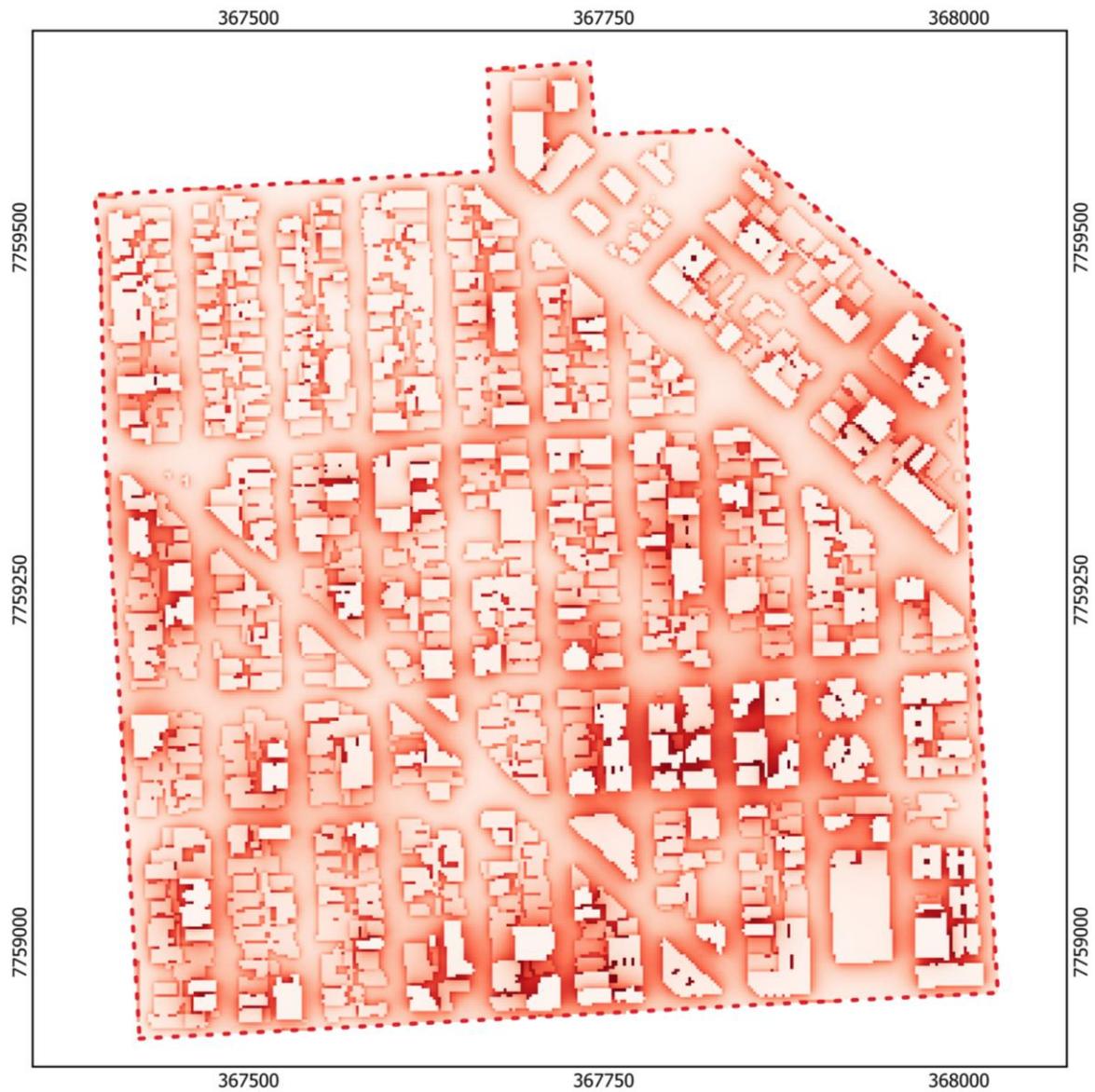


Fonte: adaptado a partir de Vitória (2021).

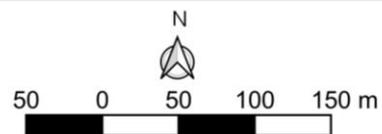
Assim como no mapa de massa construída, foram delimitadas 5 classes em função do valor obtido de FVC. Na Figura 28, pode ser observada a distribuição espacial deste parâmetro pela extensão da área de estudo. Ressalta-se que áreas em tons de vermelho escuro representam recintos com baixo FVS e, portanto, são mais propícias ao armazenamento de calor noturno, devido a maior capacidade em retardar o resfriamento.



Figura 28 – Mapa de Fator de Visão do Céu.

**LEGENDA**

- Área de estudo
- Fator de visão do céu:
- 0,01
  - 0,26
  - 0,51
  - 0,75
  - 1,00

**DADOS DO PROJETO**

Projeção UTM - Zona 24 SUL - Datum Sirgas 2000

**PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS**

Fonte: Vitória, 2020.

Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.

Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



### (c) Mapa temático: sombreamento

O estudo de sombreamento se justifica pela influência deste parâmetro na temperatura e umidade do ar. Em climas quentes, as sombras ocasionadas pelos edifícios e elementos arbóreos podem ser benéficas pela obstrução da radiação solar direta na superfície. Quando adequadamente planejada, tanto a verticalização como a vegetação, podem ser um importante fator para o controle da exposição, possibilitando um microclima com temperaturas mais amenas (ROMERO, 2013).

Para elaboração do mapa de sombreamento, foi utilizada a extensão *Spirix Import Shapefile* para importar os arquivos no formato *shapefile* dos lotes, vias e edifícios para o programa Sketchup Pro. A escolha do *software* é fortuita devido a existência do recurso denominado “sombras”, que permite simular a trajetória solar com base nos parâmetros de latitude, longitude, orientação e fuso horário, extraídos de um modelo georreferenciado.

Desse modo, é possível criar uma representação em 3D da projeção das sombras existentes no “mundo real” para um determinado local reproduzido no modelo (SKETCHUP, 2021). Conforme apresentado na Figura 29, foi elaborado o modelo geolocalizado e em escala, da forma urbana da área estudo, a partir do procedimento de extrusão da geometria das edificações associada aos valores de altura existentes no metadado da camada edifícios.

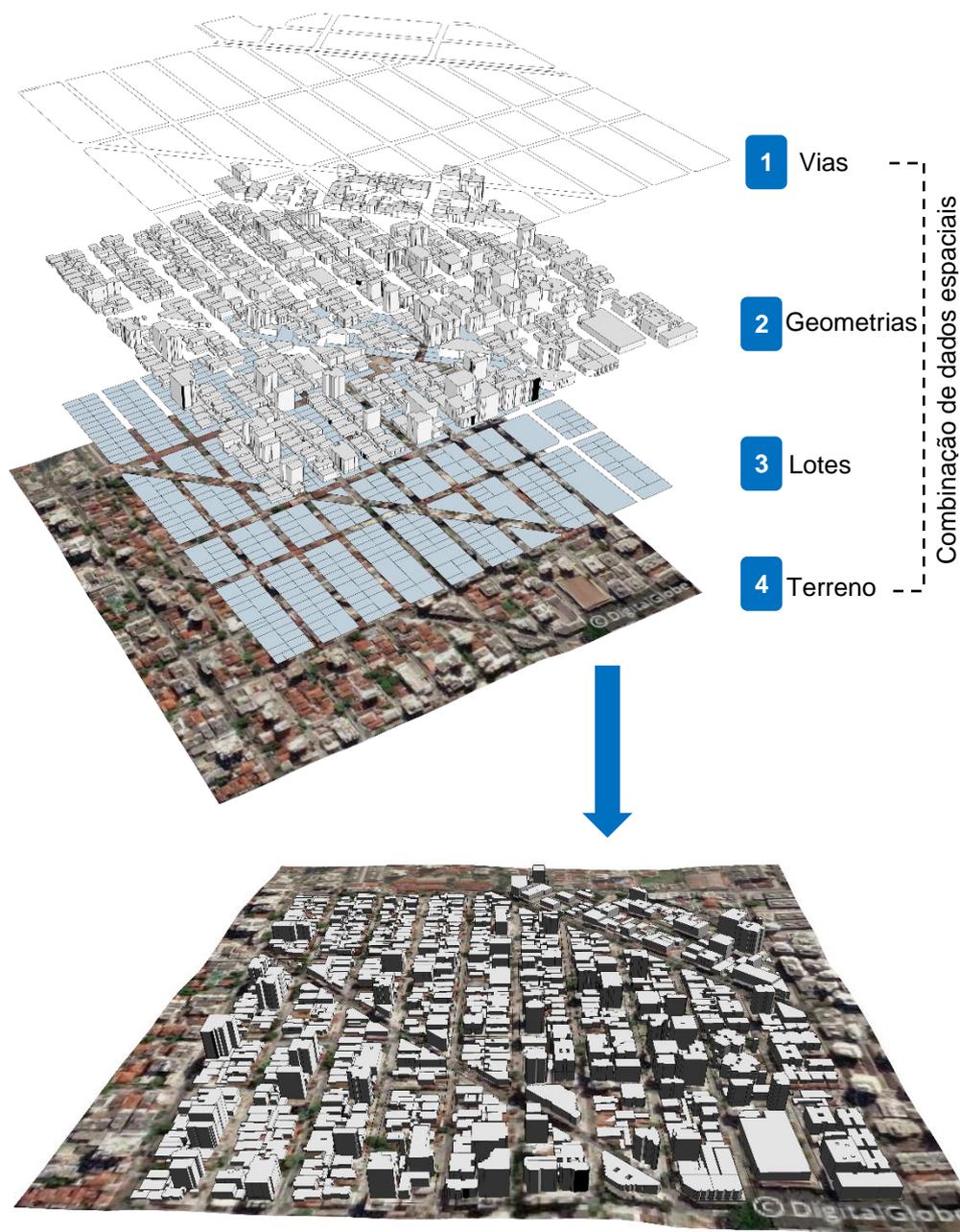
Para o estudo de sombreamento optou-se em escolher a data de 13 de agosto como referência para a representação da trajetória solar, tendo em consideração que este dia pertence à estação do ano (inverno, período seco) adotada na pesquisa para realização do monitoramento climático, visando a validação do modelo. Como a matriz de potencial de aquecimento foi elaborada *à priori* no intuito de atuar como suporte na definição de uma localização mais adequada aos pontos de medição, foi determinada a seleção de uma data aleatória para projeção da trajetória do Sol.

Nesse sentido, houve o cuidado em selecionar um dia próximo à data em que foi realizado o monitoramento climático e afastada dos dias que marcam o início e o fim do inverno, evitando assim, datas próximas aos períodos de transição entre estações (21 de junho - solstício de inverno e 23 de setembro - equinócio de primavera), no qual a trajetória solar pode apresentar maiores alterações. Os



horários para análise do sombreamento foram os mesmos delimitados para a realização das medições (09h00 e 15h00), visando manter, o máximo possível, a correspondência entre o modelo e os dados aferidos *in loco*.

Figura 29 – Modelo 3D geolocalizado da área de estudo.

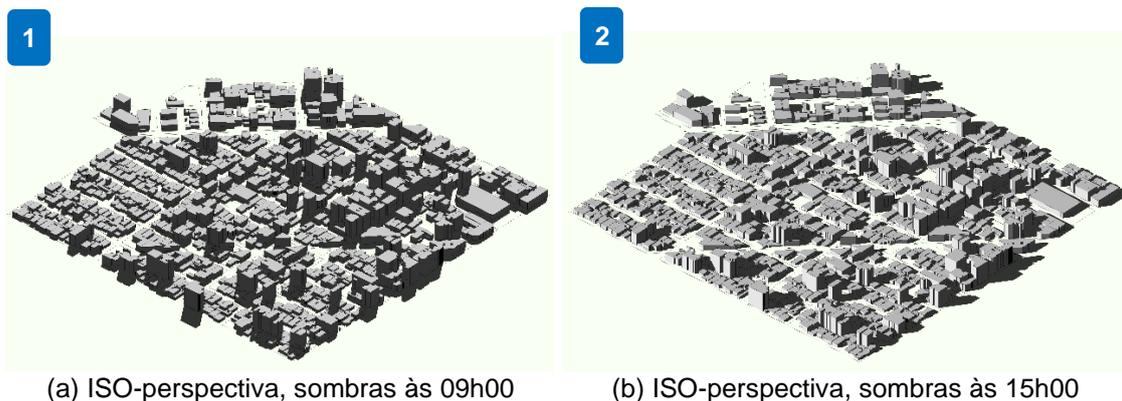


Fonte: modificado a partir de Google Earth (2021).

As projeções de sombra elaboradas pelo Sketchup Pro para os horários de 09h00 e 15h00 do dia 13/08/2021 (demonstradas na Figura 30) foram exportadas como arquivos 2D, ou seja, imagens raster no formato “.geotif”, para posterior inclusão no ambiente do QGIS.



Figura 30 – Projeção de sombra na área de estudo para o dia 13 de agosto.



(a) ISO-perspectiva, sombras às 09h00

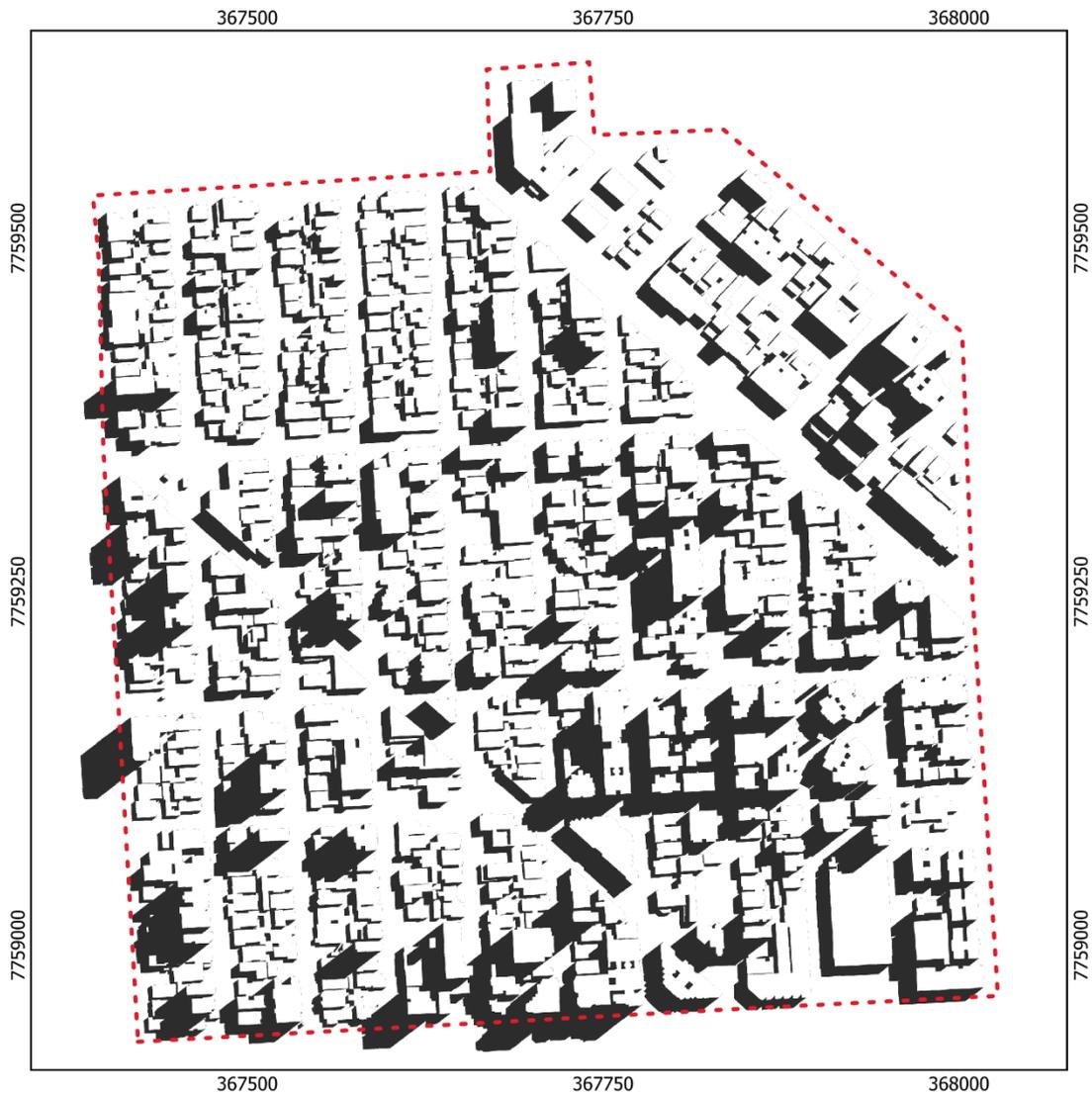
(b) ISO-perspectiva, sombras às 15h00

Fonte: autora (2021).

Por sua vez, foi possível a elaboração do mapa temático de sombreamento, com base na identificação de áreas com e sem a presença de sombras. Nas Figuras 31 e 32 pode ser observada a distribuição espacial deste parâmetro na extensão da área de estudo, para os períodos matutino e vespertino.



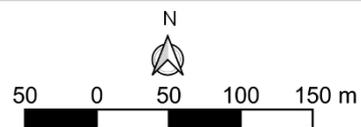
Figura 31 – Mapa de sombreamento às 09h00 do dia 13 de agosto de 2021.



### LEGENDA

- - - Área de estudo
- Sombreamento:
- Sombra
- Sem presença de sombra

### DADOS DO PROJETO



Projeção UTM - Zona 24 SUL - Datum Sirgas 2000

### PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS

Fonte: Vitória, 2020.

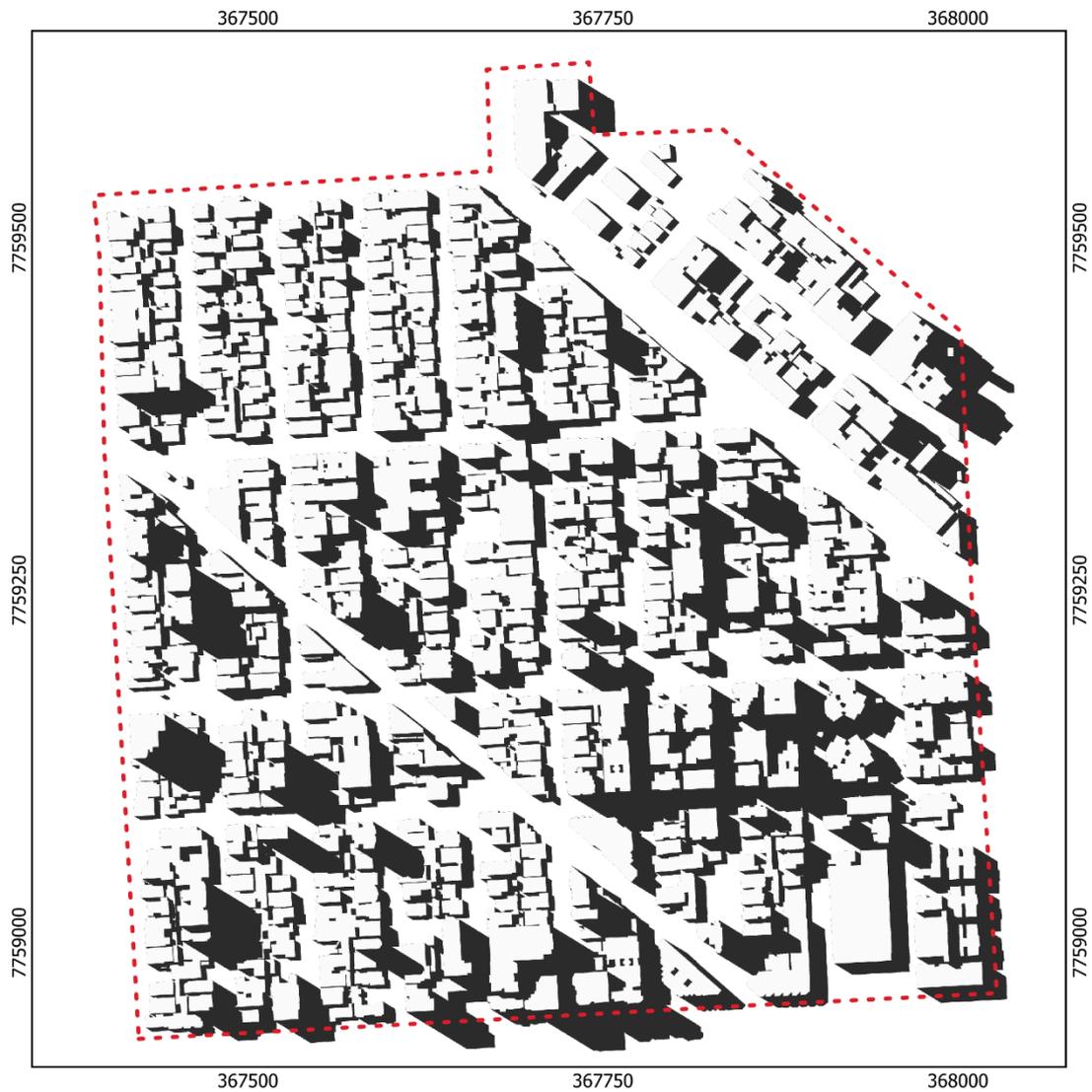
Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.

Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



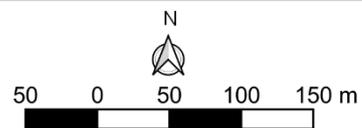
Figura 32 – Mapa de sombreamento às 15h00 do dia 13 de agosto de 2021.



### LEGENDA

- - - Área de estudo
- Sombreamento:
  - Sombra
  - Sem presença de sombra

### DADOS DO PROJETO



Projeção UTM - Zona 24 SUL - Datum Sirgas 2000

### PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS

Fonte: Vitória, 2020.

Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.

Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



(d) Mapas temáticos: albedo e emissividade

Os parâmetros de albedo e emissividade auxiliam na identificação de superfícies e/ou recintos urbanos com maior concentração de materiais, cujas propriedades térmicas favorecem ao armazenamento de calor. Conforme abordado no capítulo de referencial teórico, superfícies mais escuras e, portanto, de albedo menor, tendem a armazenar mais energia, favorecendo o ganho térmico. Já a emissividade representa a resposta térmica do material; sendo que superfícies com alta emissividade possuem maior capacidade de emitir radiação, ocasionando o aquecimento do ambiente (OKE *et al.*, 2017).

Os valores típicos de albedo ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\epsilon$ ) para os diversos materiais de superfícies delimitados na pesquisa de campo foram definidos considerando como referência as informações contidas no anexo B da NBR 15.220-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). Diante da necessidade de complementação dos dados a respeito de alguns materiais, optou-se por adotar os valores sugeridos por Oke *et al.* (2017). A decisão foi tomada, tendo em vista a extensa revisão de literatura realizada pelos autores. Na Tabela 3 estão sintetizados os valores típicos adotados para cada tipo de material de superfície.

Tabela 3 – Valores de albedo ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\epsilon$ ) para cada tipo de material de superfície.

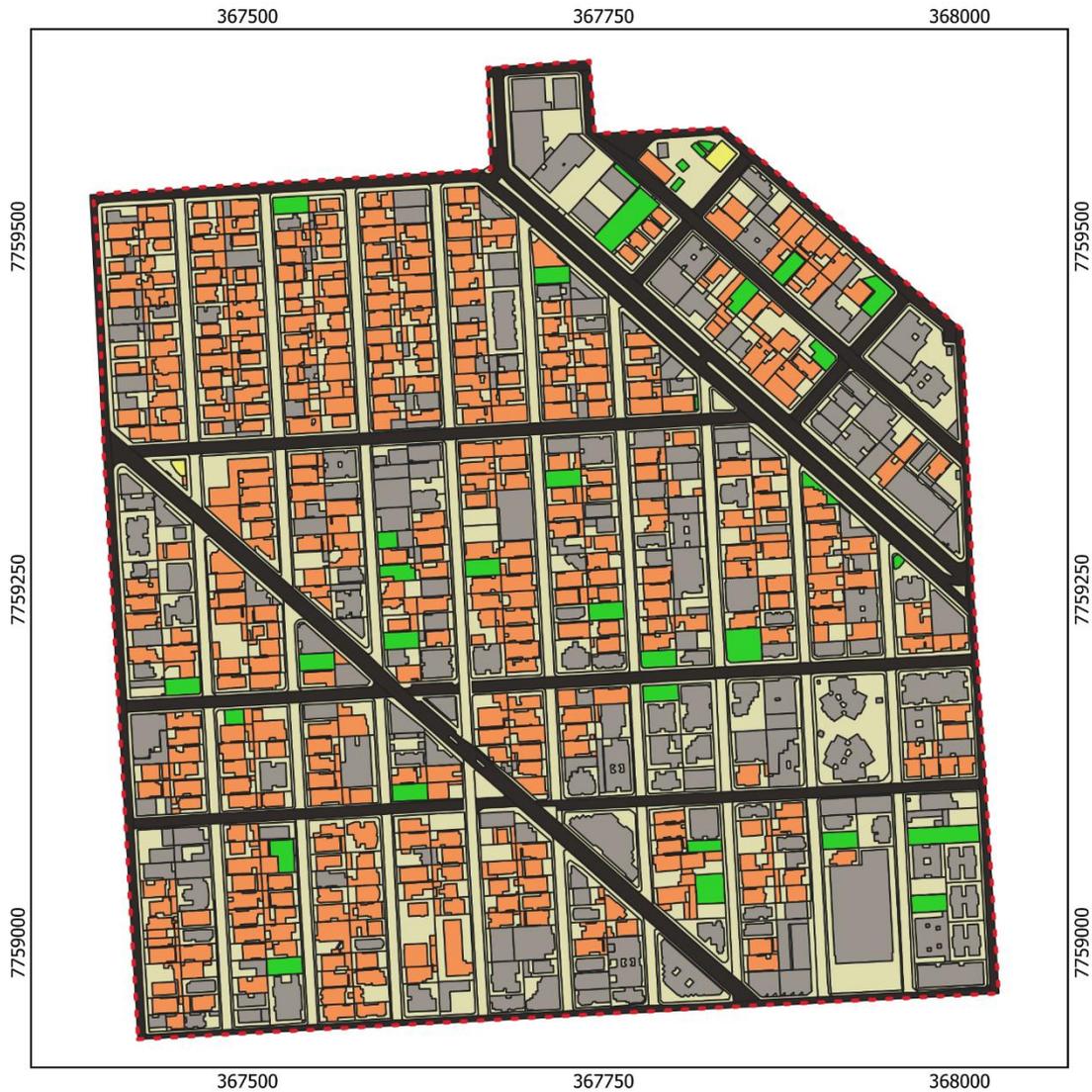
Superfícies	Albedo ( $\alpha$ )	Emissividade ( $\epsilon$ )
Asfalto	0,05 – 0,27.	0,90 – 0,98.
Areia	0,20 – 0,45.	0,84 – 0,92.
Concreto	0,10 – 0,35.	0,85 – 0,95.
Gramma (baixa)	0,26.	0,90.
Telha de aço galvanizada	0,37 – 0,45.	0,25.
Telha de barro	0,10 – 0,35.	0,85 – 0,95.

Fonte: adaptado de Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005b) e Oke *et al.* (2017).

Nas Figuras 33 e 34 foram caracterizados os diversos materiais de superfície verificados na área de estudo, no que diz respeito ao seu valor de albedo e emissividade característico.



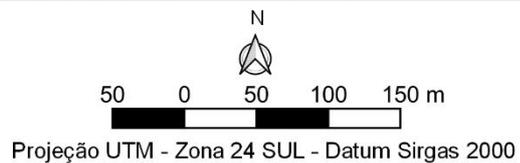
Figura 33 – Mapa de albedo das superfícies da área de estudo.



### LEGENDA

- - - Área de estudo
- Albedo ( $\alpha$ ):
- Areia - 0,20 - 0,45
- Asfalto - 0,05 - 0,27
- Concreto - 0,10 - 0,35
- Grama - 0,26
- Telha de barro - 0,10 - 0,35
- Telha de aço gal. - 0,37 - 0,45

### DADOS DO PROJETO



### PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS

Fonte: Vitória, 2020.

Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.

Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



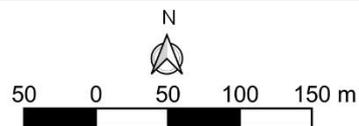
Figura 34 – Mapa de emissividade das superfícies da área de estudo.



### LEGENDA

- - - Área de estudo
- Emissividade ( $\epsilon$ ):
- Areia - 0,84 - 0,92
- Asfalto - 0,90 - 0,98
- Concreto - 0,85 - 0,95
- Grama - 0,90
- Telha de barro - 0,85 - 0,95
- Telha de aço galv. - 0,25

### DADOS DO PROJETO



Projeção UTM - Zona 24 SUL - Datum Sirgas 2000

### PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS

Fonte: Vitória, 2020.

Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.

Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



#### (e) Mapa temático: ventilação

A inclusão do parâmetro de ventilação se justifica pela importância deste elemento, sobretudo em regiões tropicais, onde o mesmo pode atuar como condicionante da ambiência urbana. Na escala microclimática, o movimento do ar contribui para o aumento das perdas de calor tanto por convecção como pela dispersão de material particulado (poluentes) originado das atividades antropogênicas (ROMERO, 2013).

Conforme especificado no Quadro 7, para elaboração do mapa de ventilação foram consideradas a frequência de ocorrência dos ventos (direção predominante) e velocidades características por direção, para a condição sazonal de inverno, bem como a dimensão da largura das vias locais (caixa viária). Desse modo, foram elaboradas 4 classes de ventilação, sendo: classe 1, as vias posicionadas na orientação nordeste; classe 2, as vias posicionadas na orientação norte; classe 3, as vias com caixa viária grande, porém não posicionadas na orientação predominante do vento; e classe 4, as vias com caixa viária de tamanho médio e não posicionadas na orientação predominante do vento (Figura 35).

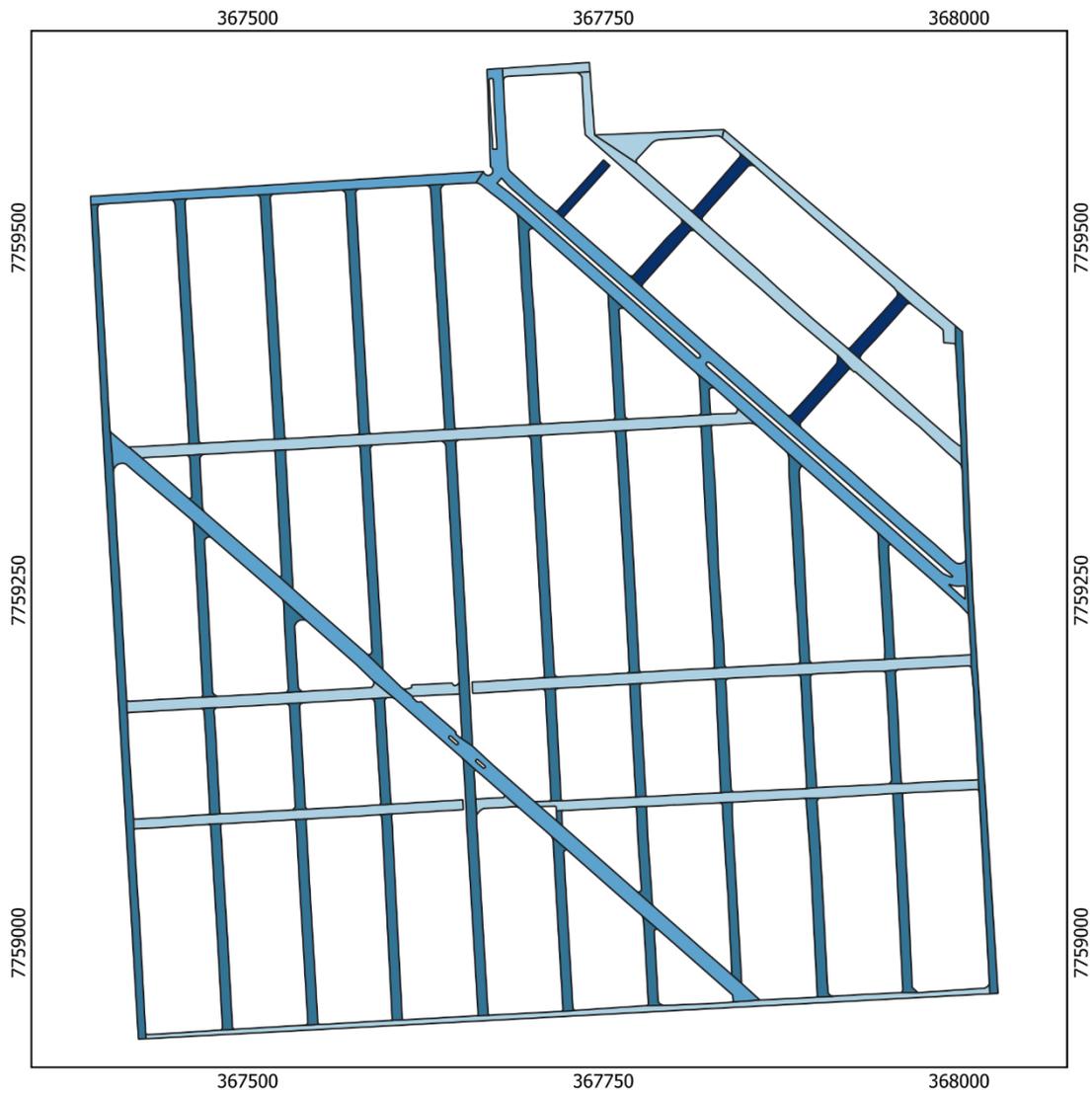
#### (f) Mapa temático: poluição do ar

A análise da poluição do ar é necessária, visto que a concentração das atividades humanas em áreas urbanas resulta em emissões que modificam a composição térmica e química da atmosfera. No âmbito local e na microescala, a poluição do ar é caracterizada por poluentes primários de combustão, que apresentam certa variabilidade em função do arranjo espacial das fontes de emissão. O volume de ar confinado no interior dos *canyons* urbanos restringe a diluição dos poluentes atmosféricos, favorecendo o aquecimento (OKE *et al.*, 2017).

O mapa de poluição do ar (Figura 36) foi elaborado com base no padrão do fluxo de veículos automotores, já detalhado no subitem 3.2.3, extraído a partir da hierarquia viária definida no Plano Diretor de Vitória (VITÓRIA, 2018). Assim, foram elaboradas 4 classes de poluição do ar, sendo: classe 1, vias com alto fluxo de veículos automotores; classe 2, vias com médio fluxo de veículos automotores; classe 3, vias com baixo fluxo de veículos automotores; e classe 4, via sem fluxo de veículos automotores (rua de pedestre).



Figura 35 – Mapa do potencial de ventilação das vias.



### LEGENDA

- - - Área de estudo

Ventilação:

■ Classe 1

■ Classe 2

■ Classe 3

■ Classe 4

### DADOS DO PROJETO

N



50 0 50 100 150 m

Projeção UTM - Zona 24 SUL - Datum Sirgas 2000

### PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS

Fonte: Vitória, 2020.

Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.

Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



Figura 36 – Mapa do potencial de concentração de poluição das vias.



### LEGENDA

--- Área de estudo

Poluição do ar:

■ Classe 1

■ Classe 2

■ Classe 3

■ Classe 4

### DADOS DO PROJETO



50 0 50 100 150 m

Projeção UTM - Zona 24 SUL - Datum Sirgas 2000

### PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS

Fonte: Vitória, 2020.

Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.

Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



---

(g) Mapa temático: áreas verdes

As áreas verdes juntamente com a água são consideradas as principais variáveis que contribuem para a mitigação da carga térmica e para o resfriamento noturno em áreas urbanas (FERREIRA; PIMENTEL; VIANNA, 2019). A inclusão deste parâmetro se justifica pelos diversos benefícios advindos do uso deste elemento na amenização do calor, principalmente em regiões tropicais, de acordo com a abordagem no referencial teórico. Conforme observado na Figura 37, para criação do mapa de áreas verdes foram considerados tanto os elementos arbóreos como as superfícies com cobertura vegetal (áreas gramadas).

(h) Mapa temático: áreas impermeáveis

Como explicado por Ferreira, Assis e Katzschner (2017), o mapa de áreas impermeáveis (Figura 38) visa avaliar o efeito da pavimentação no acúmulo de calor diurno. Para tal finalidade, a área de estudo foi classificada em duas classes ou seja: (1) áreas permeáveis; e (2) áreas compostas por superfícies não permeáveis.

(i) Mapa temático: topografia

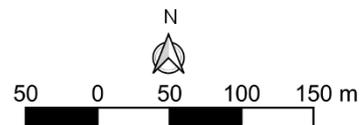
O mapa de topografia (Figura 39) visa avaliar a influência deste parâmetro na circulação do vento local e na incidência da radiação solar nas superfícies. Sabe-se que quanto maior a declividade, maior é o potencial dinâmico, especialmente quando associado a áreas com a presença de cobertura vegetal (FERREIRA; PIMENTEL; VIANNA, 2019). Embora tenha sido elaborado, ressalta-se que não foram verificadas grandes diferenças de elevação na extensão da área de estudo. Desse modo, é pouco provável que o mesmo exerça influência significativa na conformação do microclima local.



Figura 37 – Mapa de área verdes.

**LEGENDA**

- - - Área de estudo
- Áreas Verdes:
- Arborização
- Superfície gramada
- Não se aplica

**DADOS DO PROJETO**

Projeção UTM - Zona 24 SUL - Datum Sirgas 2000

**PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS**

Fonte: Vitória, 2020.

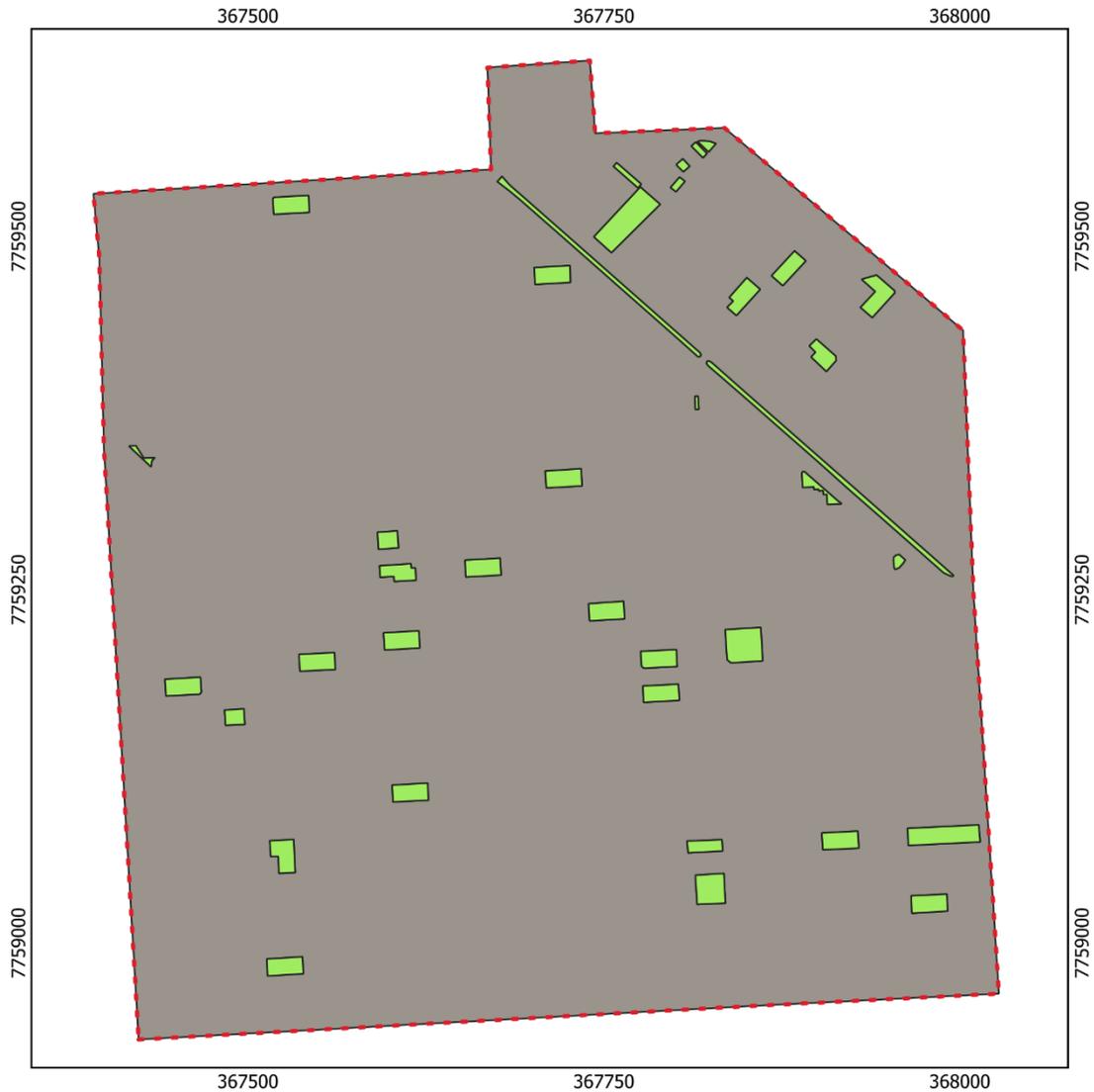
Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.

Data: 16 de agosto de 2021.

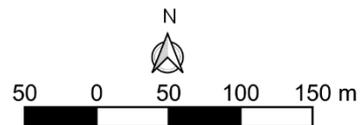
Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



Figura 38 – Mapa de áreas impermeáveis.

**LEGENDA**

- - - Área de estudo
- Classificação:
- Superfícies impermeáveis
- Superfícies permeáveis

**DADOS DO PROJETO**

Projeção UTM - Zona 24 SUL - Datum Sirgas 2000

**PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS**

Fonte: Vitória, 2020.

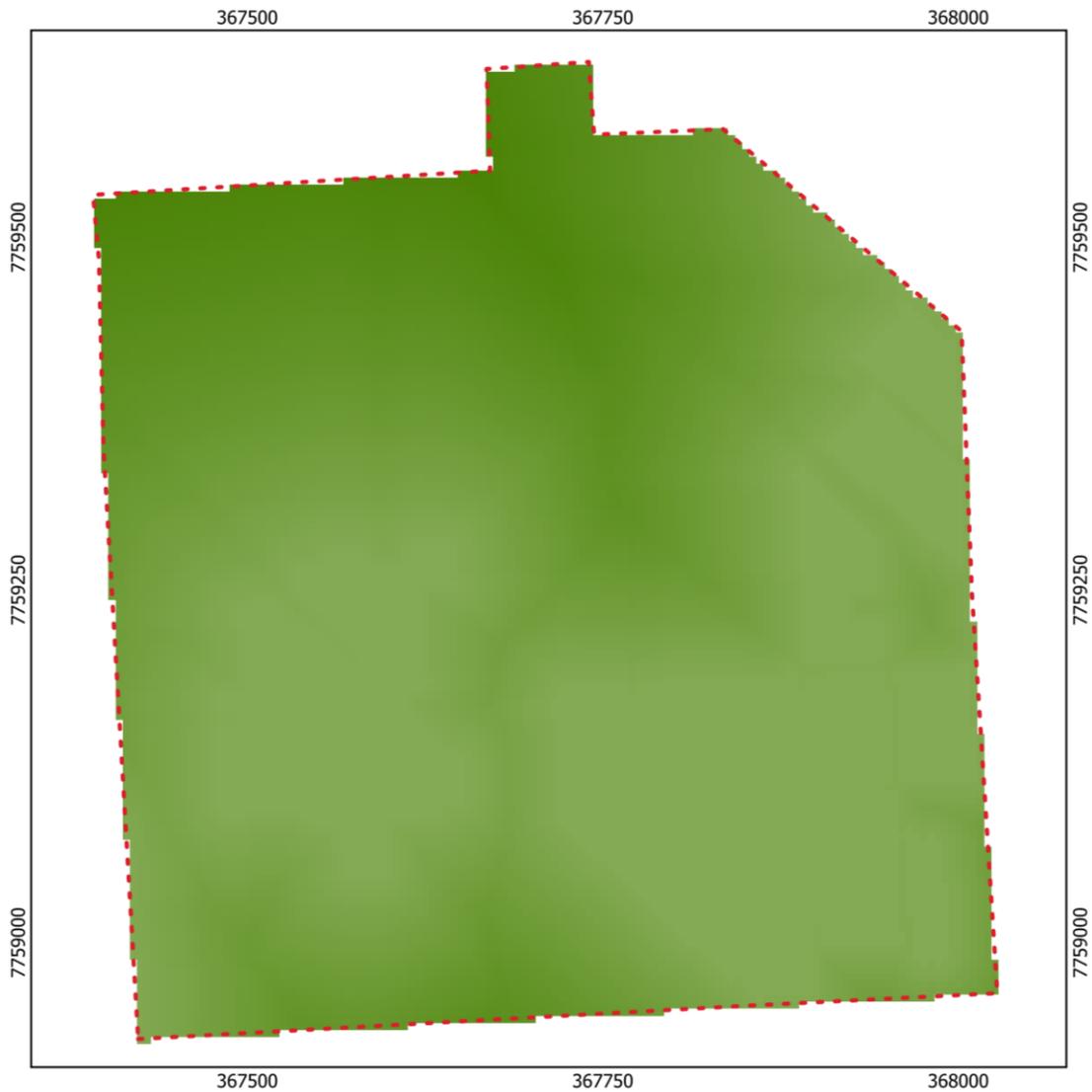
Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.

Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



Figura 39 – Mapa de topografia.

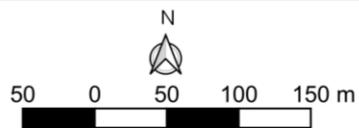
**LEGENDA**

--- Área de estudo

Altitude (m):

□ 2,97

■ 5,94

**DADOS DO PROJETO**

Projeção UTM - Zona 24 SUL - Datum Sirgas 2000

**PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS**

Fonte: Vitória, 2020.

Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.

Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



### 3.3.5 Classificação e ponderação dos mapas temáticos

Conforme mencionado anteriormente, cada componente da legenda dos mapas temáticos foi reclassificado segundo uma escala de valores que varia entre 1 e 5. A padronização seguiu a proposta de Ferreira (2014), em que foi atribuído peso 1 aos parâmetros com menor potencial de aquecimento e 5 aos que possuem maior influência no ganho térmico. O procedimento foi realizado no ambiente do QGIS com auxílio da ferramenta “r.recode”, situada no menu de processamento. Dessa forma, foi possível recodificar mapas raster com base nas categorias especificadas.

Inicialmente, foi gerada uma imagem raster do mapa de massa construída com as categorias já especificadas no subitem anterior. Em seguida, o mesmo foi reclassificado conforme apresentado na Tabela 4. Assim, construções com baixo volume edificado receberam peso 1, enquanto construções com elevado volume edificado receberam peso 5.

Tabela 4 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de massa construída.

Componente de legenda (volume-kg/m <sup>2</sup> )	Classificação (Peso atribuído)
47,5 – 513	1
513,1 – 1148	2
1148,1 – 1660	3
1660,1 – 2847	4
2847,1 – 34129	5

Fonte: autora (2021).

O mapa de fator de visão de céu gerado pela ferramenta do UMEP já se encontrava no formato raster, assim foi necessária somente a reclassificação do mesmo. O procedimento seguiu a padronização especificada na Tabela 5. Desse modo, índices próximos a 1, ou seja, áreas com menor obstrução do céu, receberam peso 1. Já os índices próximos a 0, assim dizendo, áreas com obstrução total do céu, receberam peso 5.



Tabela 5 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de fator de visão do céu.

Componente de legenda (FVC-0 a 1)	Classificação (Peso atribuído)
$0,90 \geq 1,00$	1
$0,75 \geq 0,90$	2
$0,51 \geq 0,74$	3
$0,26 \geq 0,50$	4
$0,10 \geq 0,25$	5

Fonte: autora (2021).

Por sua vez, os mapas de sombreamentos foram reclassificados em apenas duas categorias, nas quais foi atribuído peso 1 ao componente de legenda das áreas sombreadas e peso 5 ao componente referente às áreas sem a presença de sombras (Tabela 6).

Tabela 6 – Parâmetros adotados para a reclassificação dos mapas de sombreamento.

Componente de legenda (Sombras)	Classificação (Peso atribuído)
Sombra	1
Sem a presença de sombra	5

Fonte: autora (2021).

Para a reclassificação do mapa de albedo, a princípio foi realizada a transformação do mapa vetorial para imagem raster, com auxílio da mesma ferramenta adotada na conversão do mapa de massa construída. Em seguida, foi calculado o valor de referência do componente de legenda do novo mapa. Esse último procedimento foi necessário devido ao fato de alguns materiais apresentarem uma faixa de valores típicos e não um valor único de albedo (vide Tabela 3).

Desse modo, em casos de materiais com essa característica, optou-se por utilizar como referência o valor resultante da média aritmética dos valores contidos na faixa de albedo do respectivo material. Na Tabela 7 estão especificados os valores adotados, bem como os pesos atribuídos.



Tabela 7 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de albedo

Componente de legenda (superfície)	Classificação (Peso atribuído)
Telha de aço galvanizada – 0,41	1
Areia – 0,32	2
Gramma (baixa) – 0,26	3
Telha de barro – 0,22	4
Concreto – 0,22	4
Asfalto – 0,16	5

Fonte: autora (2021).

O procedimento para reclassificação do mapa de emissividade foi análogo ao realizado para a reclassificação do mapa de albedo. Assim sendo, na Tabela 8 estão especificados os valores adotados como referência e seus respectivos pesos.

Tabela 8 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de emissividade.

Componente de legenda (superfície)	Classificação (Peso atribuído)
Asfalto – 0,94	1
Concreto – 0,90	2
Gramma (baixa) – 0,90	2
Telha de barro – 0,90	2
Areia – 0,88	3
Telha de aço galvanizada – 0,25	5

Fonte: autora (2021).

O peso atribuído a cada componente de legenda do mapa de ventilação levou em consideração o potencial de ventilação das 4 classes delimitadas na etapa anterior. Portanto, foi atribuído peso 1 à classe 1, considerando que a mesma corresponde a vias situadas na direção predominante do vento e, ainda, apresentam maior velocidade média de vento. Em contrapartida, foi designado peso 4 à classe 4, tendo em vista que esta contempla vias com caixa viária de tamanho mediano, porém não situadas na direção predominante do vento local (Tabela 9).



Tabela 9 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de ventilação.

Componente de legenda (Classes)	Classificação (Peso atribuído)
Classe 1	1
Classe 2	2
Classe 3	3
Classe 4	4

Fonte: autora (2021).

Semelhante ao procedimento realizado para a ventilação, a reclassificação do mapa de poluição do ar levou em consideração as 4 classes estabelecidas na etapa anterior. Conforme observado na Tabela 10, foi atribuído peso 1 às vias com menor potencial de concentração de poluentes (classe 4) e designado peso 5 às vias com maior potencial de concentração de material particulado (Classe 1).

Tabela 10 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de poluição do ar.

Componente de legenda (Classes)	Classificação (Peso atribuído)
Classe 4	1
Classe 3	3
Classe 2	4
Classe 1	5

Fonte: autora (2021).

Em relação a reclassificação do mapa de áreas verdes, ressalta-se que para o procedimento de atribuição de pesos foi considerando não apenas a presença da vegetação na extensão da área de estudo, mas também o tipo de elemento correspondente. Conforme delimitado na Tabela 11, foi designado peso 1 ao componente de legenda referente à arborização urbana. Por sua vez, foi atribuído peso 3 ao componente relativo às áreas gramadas e peso 5 ao componente referente às áreas sem a presença de vegetação.



Tabela 11 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de áreas verdes.

Componente de legenda (superfície)	Classificação (Peso atribuído)
Arborização	1
Áreas gramadas	3
Áreas impermeáveis	5

Fonte: autora (2021).

Para a reclassificação do mapa de áreas impermeáveis, num primeiro momento, foi realizado o procedimento para geração da imagem raster. Em seguida, foi atribuído peso 1 às áreas com superfície permeável e peso 5 às regiões compostas por superfícies impermeáveis (Tabela 12).

Tabela 12 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de áreas impermeáveis.

Componente de legenda (superfície)	Classificação (Peso atribuído)
Superfície permeável	1
Superfície impermeável	5

Fonte: autora (2021).

Por fim, a reclassificação do mapa de topografia foi realizada com base no valor de elevação especificado no componente de legenda do mesmo. Assim, foi atribuído peso 1 às áreas com cota de 2,97m e peso 2 às regiões com cota de 5,94m (Tabela 13).

Tabela 13 – Parâmetros adotados para a reclassificação do mapa de topografia.

Componente de legenda (elevação-m)	Classificação (Peso atribuído)
2,97	1
5,94	2

Fonte: autora (2021).



### 3.3.6 Construção da matriz de potencial de aquecimento

O mapa de potencial de aquecimento foi elaborado com auxílio da ferramenta “Calculadora de raster” disponível no ambiente do QGIS. Este recurso permitiu criar um mapa (também denominado de matriz) a partir da álgebra dos 10 mapas temáticos produzidos nas etapas anteriores. Após o processamento da operação, cada pixel do mapa síntese recebeu um determinado valor, em função da distribuição espacial dos parâmetros analisados e seus respectivos pesos atribuídos. Desse modo, foi calculado para cada pixel do mapa, uma escala de suscetibilidade ao aquecimento, no qual as células com maior valor acumulado correspondem às áreas mais propícias ao armazenamento do calor, enquanto as células de menor valor acumulado representam áreas com menor potencial de aquecimento.

Nesta versão preliminar do método proposto, optou-se por atribuir o mesmo peso (importância) para todos os parâmetros analisados. Ressalta-se que as informações referentes ao potencial de ventilação e poluição do ar das vias foram empregadas nas feições dos lotes situados na extensão da área de estudo. Por fim, foram elaborados 3 mapas de potencial de aquecimento, sendo: o primeiro, referente ao turno da manhã; o segundo, relativo ao período da tarde; e o terceiro, correspondente ao turno da noite.

Cabe salientar que no mapa síntese do período da manhã foi considerada a distribuição espacial das sombras às 09h00. Por sua vez, no mapa do período vespertino foi empregado o estudo de sombreamento verificado às 15h00. Já no mapa referente ao turno da noite não foram contempladas informações de sombra.

O mapa de potencial de aquecimento foi classificado em 5 classes, no qual: a classe 1 representa áreas de muito baixo potencial térmico; a classe 2 consiste em locais com baixo potencial térmico; a classe 3 se refere a áreas com médio potencial térmico; a classe 4 corresponde a regiões de alto potencial térmico; e a classe 5 contempla locais de muito alto potencial térmico. A análise dos mapas está detalhada no quarto capítulo da presente pesquisa.



### 3.3.7 Validação do modelo: monitoramento climático

Conforme detalhado no item 3.1.1, o monitoramento climático visou identificar a existência de diferentes campos térmicos na área de estudo, com o intuito de compará-los ao resultado do potencial de aquecimento obtido a partir do modelo. Diante da inexistência de uma normatização específica para padronização dos procedimentos de medição dos parâmetros físicos em ambientes externos, optou-se por buscar subsídios em técnicas empregadas em estudos anteriores, levando em consideração a relevância e especialização dos autores nesta área de conhecimento.

#### (a) Protocolo de coleta de dados

Para o presente estudo foram monitoradas a temperatura do ar (°C) e umidade do ar (%) tendo em vista que, em sua maioria, os estudos de climatologia urbana voltados para a abordagem do campo termo-higrométrico adotam essas variáveis como referência. Além disso, entende-se que as mesmas são suficientes para a caracterização dos campos térmicos e permitem uma adequada comparação com o mapa de potencial de aquecimento.

O trabalho de campo foi realizado durante condição sazonal de inverno, nos dias 13 e 14 de setembro de 2021 (segunda e terça-feira). Seguindo as recomendações encontradas na literatura científica, foram selecionados dias com condição de clima estável, ou seja, sem chuva e com céu limpo. Além disso, foram evitados dias situados no fim de semana e/ou feriados, para que fosse possível analisar a distribuição da temperatura do ar levando em consideração a influência das atividades antropogênicas características da dinâmica local.

Para acompanhamento da condição atmosférica nos dias de monitoramento, foram obtidas cartas sinóticas do Atlântico Sul disponibilizadas no *website* da Marinha do Brasil (MB), imagens do satélite METEOSAT armazenadas no banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e dados observacionais da estação automática A612–Vitória disponíveis no *website* do INMET.

Os horários definidos para a coleta foram às 09h00, 15h00 e 21h00. A decisão foi tomada com base na proposta de Fialho (2009). Conforme explica o autor, o



primeiro horário se explica por ser considerado um momento em que a área urbana já se encontra em pleno funcionamento, com suas diversas atividades em operação. Já o segundo, se justifica por ser um horário do dia com maior incidência da radiação solar, embora possam ser observadas diferenças na temperatura devido a influência do sombreamento ocasionado pela topografia e/ou construções.

Por sua vez, o último evidencia uma outra dinâmica urbana, no qual as atividades da cidade em sua maioria já foram cessadas, restando apenas o pulsar do trânsito. Além disso, neste horário, já transcorreram cerca de 3 horas do pôr-do-sol, o que possibilita analisar a influência do calor antropogênico na conformação do clima local. Cabe salientar que esses horários de registro também foram utilizados em outros estudos, como no desenvolvido por Correa e Vale (2016), Fialho, Celestino e Quina (2016) e Foli e Luiz (2019).

#### (b) Aquisição de dados: transectos móveis

Para o procedimento de monitoramento climático foi optado pela técnica de transectos móveis em razão dos seguintes aspectos:

- Verificou-se oportuna a possibilidade em se obter uma quantidade maior de pontos de monitoramento, visto que optou-se na presente pesquisa pela análise das condições climáticas na escala do microclima. Portanto, ficou evidente que a quantidade de pontos exerceria forte importância para a caracterização do campo térmico, devido a variação climática característica desta unidade do clima ocasionada pela heterogeneidade do meio urbano;
- A técnica permitiu uma maior agilidade na elaboração do trabalho de campo;
- Embora a técnica de transectos móveis seja tipicamente empregada em uma escala de análise de campo térmico voltada para o espaço climático regional (MONTEIRO, 2003), a opção por adaptá-la ao espaço climático do microclima viabilizou a realização da medição em uma área maior do recorte de estudo com reduzida quantidade de aparelhos. Ressalta-se que foram necessários apenas 2 equipamentos para mensuração das variáveis climáticas;



- O procedimento de registro exigiu uma quantidade menor de pessoas envolvidas (equipe de voluntários), fato de extrema relevância, considerando o momento no qual foi realizada a pesquisa (pandemia de COVID-19).

O itinerário do transecto foi delimitado com base no sentido das vias (na área de estudo há a implantação do sistema viário binário) e nos diferentes potenciais de aquecimento identificados no mapa síntese do modelo. Nesse sentido, a seleção visou abranger áreas com perfis térmicos e arranjos superficiais diversos. Para tal finalidade, foram elaborados 3 transectos cortando a área de estudo nos sentidos noroeste-sudeste, sudoeste-nordeste e norte-sul (Figura 40). Por conveniência, optou-se por nomear os transectos como A, B e C, respectivamente.

Figura 40 – Localização dos transectos móveis realizados no trabalho de campo.



Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).

Os dados dos transectos móveis foram coletados a partir de um equipamento acoplado a um carro de passeio. Conforme discorrido no capítulo de referencial teórico, esse procedimento é bastante comum e já foi utilizado em diversos



trabalhos. A decisão pelo uso do automóvel como meio de deslocamento ao longo do transecto visou facilitar o procedimento de coleta, bem como o cobrimento do percurso em um espaço de tempo menor. Cabe salientar que, este último aspecto exerce extrema influência no que diz respeito à defasagem dos dados monitorados.

Os pontos de amostragem foram definidos levando em consideração a viabilidade para parada e permanência do automóvel no local de medição. Conforme sugerido por Werneck, Romero e Azevedo (2016) houve o cuidado em permanecer por 2 minutos em cada ponto de monitoramento para estabilização do equipamento quanto às condições climáticas do local. Visando facilitar a correção da defasagem de tempo, foi estabelecido o limite máximo de 60 minutos para realização dos dois transectos. Assim, foi coberto o maior número de pontos possíveis dentro do período supracitado.

O Quadro 9 apresenta a descrição dos pontos de amostragem, no que diz respeito a sua localização global e características do entorno.

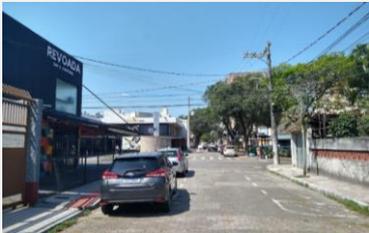
Quadro 9 – Caracterização dos pontos de amostragem.

(continua)

Caracterização – Transecto A		
<b>Ponto A1</b>		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'26.73" S LONG 40°16'9.96" O Rua Filogônio Mota
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno predominantemente composto por edificações de até dois pavimentos e uso misto; presença de vegetação rasteira e de porte médio; médio fluxo de veículos;		



(continua)

Ponto A2		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'32.02" S LONG 40°16'8.45" O Rua Silvino Grecco
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua composta por edificações de até dois pavimentos e de uso predominantemente residencial; baixo fluxo de veículos.		
Ponto A3		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'32.00" S LONG 40°16'2.75" O Rua Welington de Freitas
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno comercial e composta por edificações de até três pavimentos; médio fluxo de veículos.		
Ponto A4		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'32.21" S LONG 40°15'56.22" O Rua João de Oliveira Soares
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno predominantemente composto por edificações de até dois pavimentos e uso misto; presença de vegetação de porte médio; baixo fluxo de veículos.		

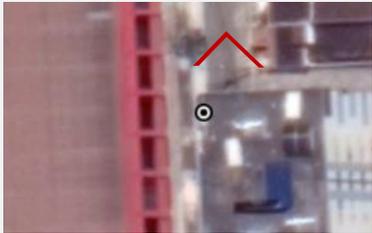


(continua)

Ponto A5		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'37.58" S LONG 40°15'57.24" O Rua Agenor Amaro dos Santos
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno predominantemente de uso residencial e edificações de até onze pavimentos; presença de vegetação de grande e médio porte; médio fluxo de veículos.		
Ponto A6		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'40.07" S LONG 40°15'59.96" O Rua Elzira Vivacqua
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno predominantemente de uso residencial e edificações de até dez pavimentos; presença de vegetação de grande e médio porte; baixo fluxo de veículos.		
Ponto A7		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'40.57" S LONG 40°15'54.95" O Rua Milton Manoel dos Santos
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno predominantemente de uso residencial e edificações de até dez pavimentos; presença de vegetação de grande porte; médio fluxo de veículos.		



(continua)

Ponto A8		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'43.42" S LONG 40°15'51.52" O Rua Pedro Busatto
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno de uso misto e edificações de até seis pavimentos; pouca presença de vegetação; médio fluxo de veículos.		
Caracterização – Transecto B		
Ponto B1		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'44.61" S LONG 40°16'5.72" O Rua Júlia Lacourt Penna
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno predominantemente de uso residencial e edificações de até dois pavimentos; presença de vegetação de médio porte; baixo fluxo de veículos.		
Ponto B2		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'37.27" S LONG 40°16'6.31" O Rua Júlia Lacourt Penna
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno predominantemente composto por edificações de até dois pavimentos e uso residencial; presença de vegetação de porte médio; baixo fluxo de veículos.		



(continua)

Ponto B3		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'44.61" S LONG 40°16'5.72" O Rua Júlia Lacourt Penna
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno predominantemente composto por edificações de até dois pavimentos e uso residencial; presença de vegetação de porte médio; baixo fluxo de veículos.		
Ponto B4		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'26.27" S LONG 40°16'2.36" O Rua Filogônio Mota
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno institucional e comercial composto por edificações de até quatro pavimentos; presença de vegetação de grande e médio porte; alto fluxo de veículos;		
Ponto B5		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'25.55" S LONG 40°15'58.52" O Rua Maria Bárbara de Oliveira
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno comercial composto por edificações de até seis pavimentos; presença de vegetação de grande e médio porte; alto fluxo de veículos.		



(continua)

Ponto B6		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'30.72" S LONG 40°15'53.12" O Rua Alcides Viana
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno de uso misto composto por edificações de até quatro pavimentos; presença de vegetação de grande e médio porte; médio fluxo de veículos.		
Caracterização – Transecto C		
Ponto C1		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'23.56" S LONG 40°15'59.26" O Rua Almerinda Corina da Silva
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno institucional e comercial composto por edificações de até seis pavimentos; presença de vegetação de grande e médio porte; médio fluxo de veículos.		
Ponto C2		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'36.57" S LONG 40°16'4.06" O Rua Orlando Caliman
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno predominantemente composto por edificações de até dois pavimentos e uso residencial; presença de vegetação de médio e grande porte; baixo fluxo de veículos.		



(conclusão)

Ponto C3		
<b>Vista superior</b> 	<b>Vista do entorno</b> 	<b>Localização</b> LAT 20°15'44.77" S LONG 40°15'59.51" O Rua Elzira Vivacqua
<b>Caracterização do entorno</b> Ponto localizado em rua com entorno residencial composto por edificações de até onze pavimentos; presença de vegetação de médio e grande porte; baixo fluxo de veículos.		

Fonte: elaborada pela autora (2021).

### (c) Aquisição de dados: pontos fixos e correção da defasagem de tempo

A aquisição de um ponto fixo de monitoramento foi necessária em virtude da defasagem de tempo característica das medidas móveis. Na literatura científica, alguns autores sugerem a obtenção de dados advindos de uma estação fixa para o acompanhamento de possíveis mudanças atmosféricas ocorridas durante a realização do trabalho de campo (ASSIS, 2010; MARTÍNEZ, 2014; FIALHO *et al.*, 2015). Em geral, adota-se como parâmetro os dados de temperatura do ar aferidos por estações automáticas pertencentes a órgãos oficiais como o INMET.

A estação automática mais próxima da área de estudo é a A612–Vitória do INMET, localizada no campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) a aproximadamente 4,3km de distância do recorte da pesquisa (Figura 41). No *website* do INMET foi possível obter os dados horários de temperatura do ar instantânea e umidade do ar instantânea, utilizados no procedimento de correção da defasagem de tempo.

A metodologia adotada para a correção da defasagem de tempo foi fundamentada na proposta de Oliveira, Fialho e Allocca (2018). Desse modo, os valores de temperatura do ar obtidos por meio do transecto móvel foram retificados a partir de um índice de correção, calculado por meio da fórmula representada na Equação 3.



$$T = t_{sc} \pm \left( t_d \times \frac{\Delta t}{60min} \right) \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

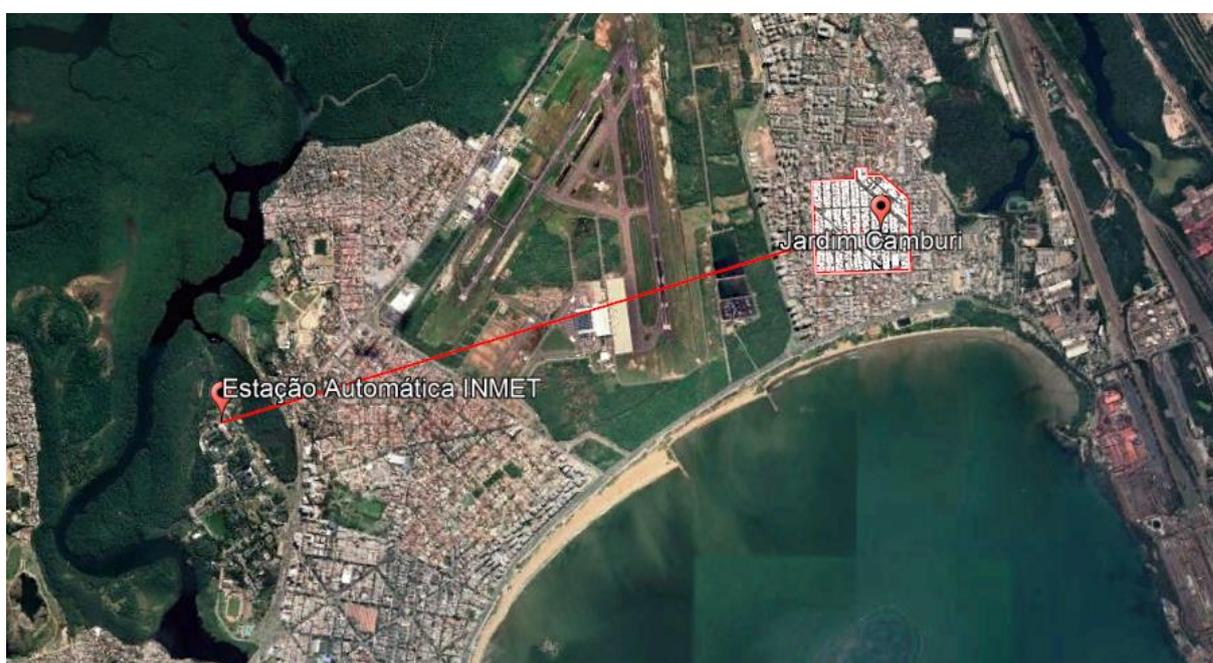
$T$  = temperatura corrigida (°C);

$t_{sc}$  = temperatura sem correção (°C);

$t_d$  = tempo decorrido (minutos);

$\frac{\Delta t}{60min}$  = variação de temperatura por minuto aferida no ponto fixo.

Figura 41 – Localização da estação automática do INMET e da área de estudo da pesquisa.



Fonte: elaborado a partir de Google Earth (2021).

Inicialmente, foi observada a variação da temperatura no ponto fixo, dentro do intervalo de 1h após o início do transecto móvel. Em seguida, foi calculada a variação de temperatura por minuto – constante utilizada na correção dos valores móveis. Sendo assim, nos momentos em que foi verificado um resfriamento atmosférico, acrescentou-se o valor da constante por minuto ao valor das medidas móveis. Uma vez verificado um aquecimento atmosférico, subtraiu-se o valor da constante por minuto do valor das medidas móveis.

#### d) Equipamentos utilizados em campo

Para a coleta dos dados foram utilizados 2 equipamentos HOBO Data Logger, modelo U12-013 da marca Onset, disponibilizados pelo Laboratório de Planejamento



e Projetos (LPP) da UFES. A faixa de aferição da temperatura do ar do aparelho varia de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$ , possui resolução de  $0.03^{\circ}\text{C}$  e precisão de  $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$  para uma faixa de temperatura entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $50^{\circ}\text{C}$ . Já a faixa de medição da umidade do ar varia de 5% a 95%, com resolução 0.05% e precisão de  $\pm 2.5\%$  para uma faixa de umidade entre 10% e 90%. Destaca-se que o equipamento realiza leituras automáticas a partir da predefinição de um intervalo temporal (constante).

Foi utilizado um abrigo para os equipamentos devido a necessidade de proteção contra interferências externas que pudessem comprometer a qualidade dos dados aferidos, tais como chuva e radiação solar direta. Para a presente pesquisa foram elaborados abrigos horizontais produzidos a partir de uma tubulação de Policloreto de Vinila (PVC), visto que apresentam boa performance e constituem uma alternativa financeiramente viável.

Cabe salientar que, em experimento com diferentes tipos de abrigos, Valin Junior *et al.* (2018) e Valin Junior e Santos (2018) evidenciaram que o abrigo horizontal de tubulação PVC demonstrou boa performance tanto para uma análise climática com pontos fixos (desde que posicionado na direção predominante do vento) como a partir da técnica de transectos móveis.

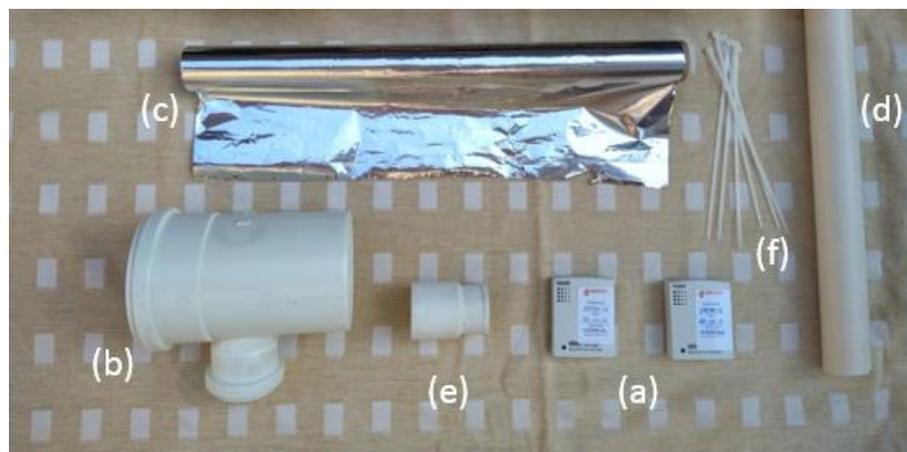
Os procedimentos para elaboração do abrigo seguiram as recomendações formuladas por Fialho (2010), a partir de estudos anteriores vinculados ao Laboratório de Climatologia Geográfica e Análise Ambiental (Climageo) desenvolvidos na cidade do Rio de Janeiro (LUCENA; BRANDÃO, 2000; AZEREDO; BRANDÃO, 2000; MALHEIROS; BRANDÃO, 2001). Essa configuração de abrigo também foi empregada por Correa e Vale (2016) em estudo desenvolvido na cidade de Vitória (Espírito Santo), Fialho, Celestino e Quina (2016) para a cidade de Cajuri (Minas Gerais) e Oliveira, Fialho e Allocca (2018) em trabalho realizado no município de Serra (Espírito Santo).

O abrigo desenvolvido possui uma porção superior para o armazenamento do HOBO Data Logger (item a), produzido a partir de uma tubulação PVC do tipo T100x50 (item b), envolto em papel alumínio (item c) para reflexão da radiação solar direta. Para sustentação do abrigo foi utilizado uma tubulação PVC comum (item d) e uma bucha de redução longa de 50x40 (item e). Além disso, foram utilizadas



abraçadeiras plásticas de 190x3,4mm (item f) para fixação do abrigo no carro. Os materiais supracitados estão apresentados na Figura 42.

Figura 42 – Equipamentos adotados na pesquisa e materiais utilizados para a produção dos abrigos.



Fonte: autora (2021).

Em relação ao padrão de coleta, ressalta-se que o abrigo utilizado no transecto foi acoplado ao carro de passeio no sentido transversal ao automóvel para evitar a interferência da movimentação de ar provocada com o deslocamento do veículo. Conforme orientado por Fialho (2010) e também sugerido por Mendonça (2003), o sensor foi posicionado a uma altura de 1,50m em relação à superfície, sendo nesse caso, adotado o asfalto como referência de nível 0.0m. Na Figura 43 pode ser observado o abrigo instalado segundo o padrão de coleta adotado na pesquisa.

Figura 43 – Padronização dos equipamentos utilizados no trabalho de campo.



(a) Ponto móvel acoplado em carro de passeio

(b) Abrigo horizontal instalado no sentido transversal ao automóvel

Fonte: autora (2021).



### (e) Aferição dos equipamentos HOBO Data logger

O procedimento foi realizado no dia 6 de setembro de 2021, com o intuito de identificar possíveis erros ou oscilações no funcionamento dos equipamentos, que viessem a comprometer a qualidade dos dados utilizados na pesquisa. A aferição foi realizada com base na técnica empregada por Correa (2014) em sua dissertação de mestrado. Inicialmente, foram dispostos os 3 equipamentos disponíveis para a realização do trabalho de campo, sob uma bancada de granito com 0,92m de altura em relação ao piso (Figura 44).

Figura 44 – Posicionamento dos equipamentos para o procedimento de aferição.



Fonte: autora (2021).

Para evitar qualquer interferência no procedimento de aferição, houve o cuidado em manter a iluminação artificial do cômodo apagada, bem como portas e janelas fechadas. Desse modo, os equipamentos foram programados para iniciar o monitoramento da temperatura e umidade do ar às 21h30 e finalizar às 22h20, totalizando uma amostra temporal de 50 minutos. Previamente, os dispositivos foram configurados para a realização de leituras automáticas a cada 1 minuto, resultando em 150 coletas no total.

O valor obtido de desvio padrão para a variável de temperatura do ar foi de 0,13°C, 0,07°C e 0,08°C respectivamente para os equipamentos A, B e C. Todos os valores



---

observados foram condizentes com o limite estabelecido pelo fabricante (ver item 3.2.6.4). Por sua vez, o valor obtido de desvio padrão para a variável de umidade do ar foi de 0,50%, 0,28% e 0,38% para a mesma ordem de aparelhos supracitada. Igualmente, todos os valores alcançados estavam adequados ao limite pré-definido.

Por fim, tendo em vista que todos os equipamentos foram considerados adequados para a realização do trabalho de campo, optou-se por selecionar os aparelhos B e C uma vez que ambos apresentaram valores aproximados de desvio padrão. Cabe salientar que o aparelho C foi levado para a coleta na condição de reserva, para o caso de ocorrer falha no funcionamento do aparelho B.

04

---

**RESULTADOS**



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão compilados os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia proposta. Inicialmente, apresenta-se uma análise dos mapas de potencial de aquecimento gerados pelo modelo. Em seguida, foram detalhados os dados climáticos verificados no trabalho de campo. Por fim, apresenta-se uma análise comparativa destes resultados, bem como os procedimentos necessários para ajuste do modelo e proposições de diretrizes para o planejamento urbano da área de interesse.

### 4.1 MAPA SÍNTESE DE POTENCIAL DE AQUECIMENTO

Inicialmente, é oportuno salientar que a opção pela produção de um mapa de potencial de aquecimento para cada turno (matutino, vespertino e noturno) foi tomada, tendo em vista que a dinâmica climática apresenta diferenças ao longo do dia. Embora estudos semelhantes como os de Ferreira (2014) e Ferreira, Pimentel e Vianna (2019) tenham produzido um único mapa englobando todos os parâmetros analisados, entende-se que a separação por período pode possibilitar novas abordagens, no que diz respeito à dinâmica do microclima e à relevância de determinados parâmetros na conformação da ambiência local.

Os mapas de potencial de aquecimento para às 09h00, 15h00 e 21h00 horas podem ser observados nas Figuras 45, 46 e 47, respectivamente. Para facilitar a compreensão dos resultados verificados em cada um deles, foi decidido interpretá-los separadamente, levando em consideração a ordem supracitada.

Antes de discorrer sobre os resultados obtidos, é importante destacar alguns aspectos relevantes, observados nos mapas temáticos apresentados no subitem 3.2.4, que exercem impacto direto na conformação das classes verificadas na área de estudo. Nesse sentido, percebe-se que o recorte está localizado em região de baixa altitude e sem grandes disparidades em relação ao relevo do terreno. Embora uma grande extensão da área de estudo seja composta por superfícies impermeáveis, nota-se que apresenta um número significativo de elementos arbóreos.



Em relação a este último, percebe-se uma relativa distribuição espacial por toda a extensão do recorte. Destaca-se uma maior concentração na parte inferior da área de estudo, em especial nas ruas Orlando Calliman e Elzira Vivacqua; no limite superior do recorte, ao longo do canteiro principal das ruas Italina Pereira Mota e Filogonio Mota; e nos arredores de uma praça situada próximo ao limite noroeste da área de estudo (Figura 45). Grande parte das áreas com superfícies permeáveis correspondem a lotes ainda não edificadas, outras poucas, propriamente consistem em espaços livres e canteiros.

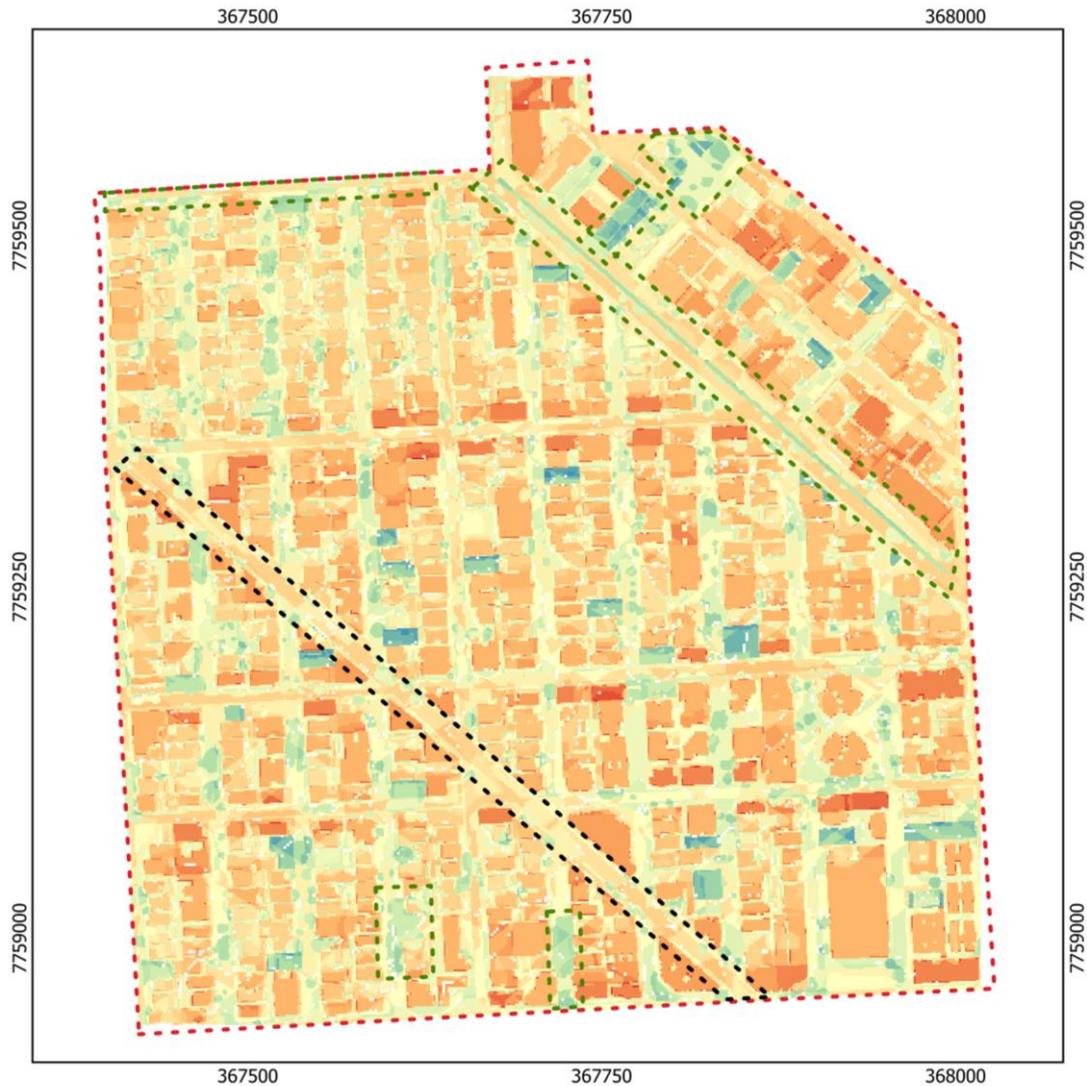
Em relação à massa construída, nota-se uma concentração de edificações com maior volume na porção sudeste do recorte de estudo. Não por acaso, essa região engloba os recintos urbanos no quais foi verificada a maior obstrução da visão do céu. Em contrapartida, na parte superior do território observa-se um elevado índice de FVC e baixo volume construído, devido a predominância de edificações de até dois pavimentos.

No que se refere ao mapa de potencial de aquecimento, no período da manhã, foi observado que as áreas pertencentes a classe 1, representadas pela cor azul escuro no mapa (Figura 45), correspondem à locais com a presença de superfícies permeáveis e sem a influência de construções. A classe 2, indicada pela cor azul clara no mapa, em sua maioria, corresponde a regiões sob influência da arborização urbana. Este fato pode ser claramente observado pela comparação entre a disposição das árvores verificadas no mapa de áreas verdes e os locais pertencentes a classe 2, delimitados no mapa de potencial de aquecimento.

No turno da manhã foi observada a predominância de áreas pertencentes a classe 3, representada pela cor amarelo. Em geral, pôde ser identificado que essas áreas correspondem a regiões próximas a elementos arbóreos, sob a influência de sombra, com boa ventilação natural e com superfície composta por materiais de baixa emissividade. O efeito do sombreamento pode ser verificado na Avenida Ranulpho Barbosa dos Santos (via diagonal que atravessa a parte inferior da área de estudo), onde percebe-se que as áreas em tom amarelo coincidem com as sombras projetadas no mapa temático de sombreamento e as áreas na cor laranja, em sua maioria, correspondem a locais sob incidência da radiação solar direta.



Figura 45 – Mapa de potencial de aquecimento para o período matutino.



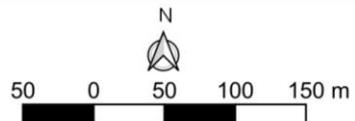
**LEGENDA**

- - - Área de estudo
- - - Áreas arborizadas
- - - Rua Ranulpho B. dos Santos

Potencial de aquecimento:

- Classe 1 - muito baixo
- Classe 2 - baixo
- Classe 3 - médio
- Classe 4 - alto
- Classe 5 - muito alto

**DADOS DO PROJETO**



Projeção UTM - Zona 24 SUL - Datum Sirgas 2000

**PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS**

Fonte: Vitória, 2020.  
 Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.  
 Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



A classe 4, indicada pela cor laranja, são áreas que apresentam médio e alto volume construído e são compostas por superfícies constituídas por materiais com valor de albedo e emissividade diversificados. A classe 5, representada pela cor vermelho, engloba áreas de elevado volume construído, composta por materiais de alta emissividade e situadas em vias com menor potencial de ventilação.

Foi observada uma grande heterogeneidade na distribuição espacial das classes ao longo da extensão da área de estudo. O fato vai ao encontro das observações elaborados por Monteiro (2003), no que diz respeito a variação microclimática característica dessa escala climática, ocasionada pela diversidade da configuração urbana.

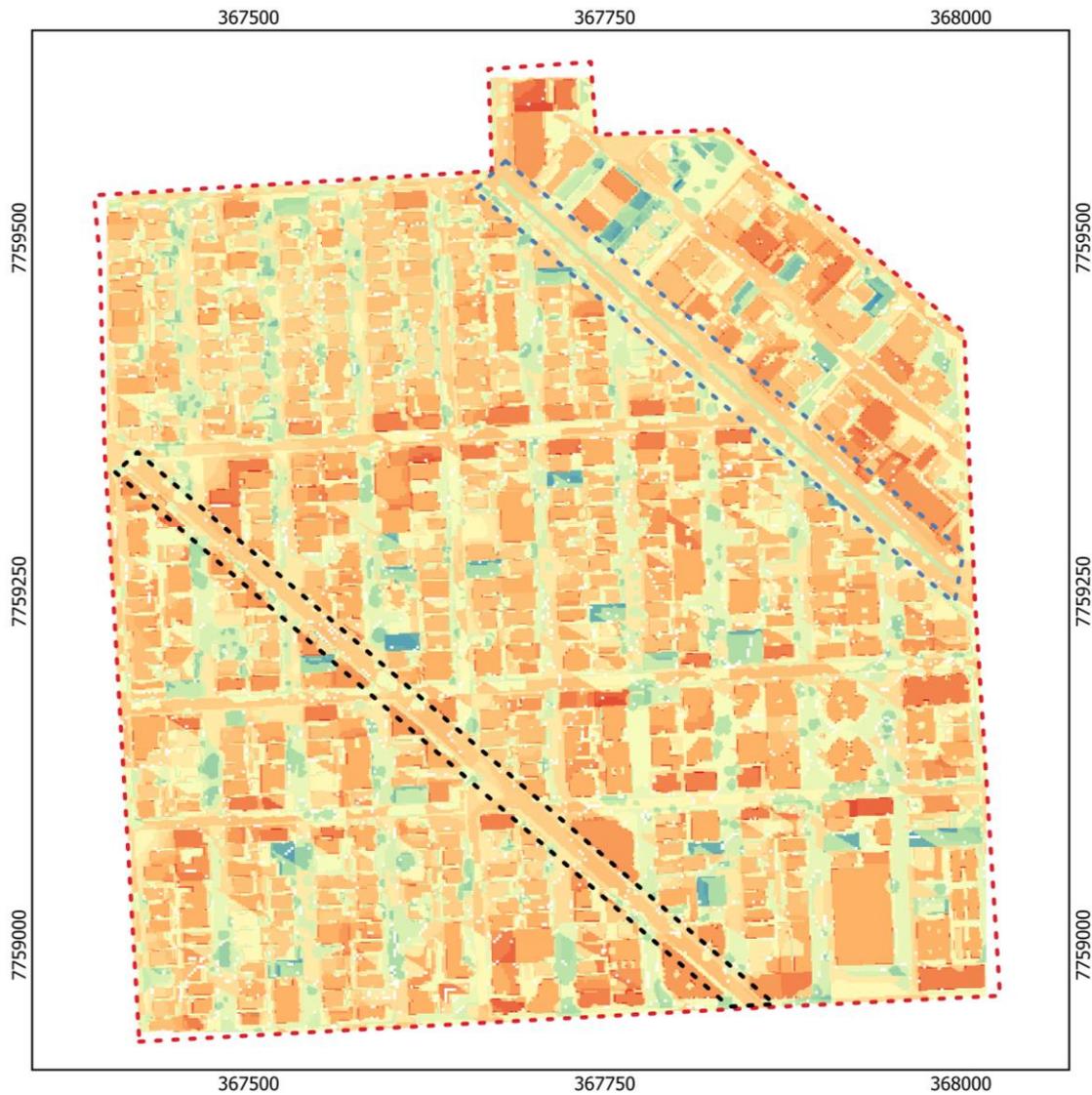
Em comparação aos resultados de Ferreira (2014) e Ferreira, Pimentel e Vianna (2019) – os únicos desenvolvidos para a mesma escala climática e urbana adotada nesta pesquisa, nota-se semelhanças nas características das áreas classificadas como alto e muito alto potencial térmico (classes 4 e 5). Nesse sentido, destaca-se a influência do elevado volume construído e a presença de superfícies compostas por materiais de alta emissividade (como a telha de aço galvanizada). Por outro lado, percebe-se a influência da presença da cobertura vegetal e da baixa concentração de edifícios na conformação de áreas classificadas como de baixo potencial de aquecimento (classes 1 e 2).

O mapa de potencial de aquecimento para às 15h00 (Figura 46) apresentou pouca diferença em relação a distribuição espacial das classes verificadas no mapa do período matutino. Foi observada uma sutil intensificação da tonalidade laranja, o que representa um ligeiro aumento de áreas classificadas como de alto potencial de aquecimento (classe 4). Desse modo, foi verificado que a alteração ocorreu principalmente em decorrência da mudança observada na projeção das sombras neste turno.

Ao comparar os resultados obtidos, com o mapa de sombreamento concebido a partir das projeções de sombra verificadas às 15h00, nota-se que as áreas em que foi verificado o aumento do potencial de aquecimento coincidem com os locais expostos à radiação solar direta.



Figura 46 – Mapa de potencial de aquecimento para o período vespertino.



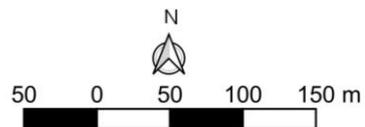
**LEGENDA**

- - - Área de estudo
- - - Rua Ranulpho B. dos Santos
- - - Rua Italiana Pereira Mota

Potencial de aquecimento:

- Classe 1 - muito baixo
- Classe 2 - baixo
- Classe 3 - médio
- Classe 4 - alto
- Classe 5 - muito alto

**DADOS DO PROJETO**



Projeção UTM - Zona 24 SUL - Datum Sirgas 2000

**PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS**

Fonte: Vitória, 2020.  
 Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.  
 Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



Esse comportamento pode ser percebido, por exemplo, nas avenidas Ranulpho Barbosa dos Santos e Italina Pereira Mota (ambas vias diagonais que atravessam a área de estudo), ou seja: às 9h00 essas avenidas estão parcialmente sombreadas e nota-se a presença de áreas classificadas como classe 3; já no período da tarde, ambas estão sujeitas a maior radiação solar e, portanto, apresentam áreas com um maior potencial de aquecimento.

Fora as diferenças citadas, não foram identificadas outras alterações relevantes no mapa de potencial de aquecimento referente ao período da tarde. Por sua vez, no mapa de potencial de aquecimento noturno (Figura 47), percebe-se uma sutil intensificação da tonalidade amarelo, que corresponde a um aumento de áreas com menor potencial de armazenamento de calor. Cabe salientar que neste mapa, não há mais a influência da incidência solar direta, que é aspecto avaliado no mapa de sombreamento.

Em relação a caracterização destas áreas, pôde ser identificado que todas já apresentavam baixo potencial de aquecimento nos mapas referentes aos períodos anteriores. Em geral, observa-se a predominância de áreas com alto índice de FVC, baixa emissividade, pouco volume construído, boa ventilação natural e presença de cobertura vegetal e arborização; o que favorece a renovação do ar e o resfriamento.

Um importante aspecto observado em todos os períodos é que algumas áreas de alto volume construído e índice de obstrução da visão do céu, situadas na região sudeste da área de estudo, não apresentaram elevado potencial de aquecimento. Logo, pode-se concluir que o potencial dinâmico local (elementos que contribuem para redução da carga térmica) é relevante o suficiente para mitigar o efeito negativo verificado por tais parâmetros. Cabe salientar que tanto no período da manhã como da tarde, essa região se apresenta sob a influência das sombras ocasionadas pelas construções.

A partir da aplicação da metodologia previamente delimitada, foi possível identificar áreas com diferentes potenciais de aquecimento na área estudo. Embora tenham sido verificadas áreas com muito alto potencial de armazenamento de calor, ressalta-se que, em todos os períodos, estas se apresentam de forma pontual, apenas em algumas localidades do recorte.



---

Locais classificados como de potencial de aquecimento muito alto apresentaram como característica comum a presença de construções com alto índice de massa construída, concentração de superfícies impermeáveis e alta incidência solar nos períodos matutino e vespertino. Em geral, foi observada a presença da arborização urbana de forma espaçada no entorno imediato, embora, por vezes, o elemento arbóreo é inexistente.

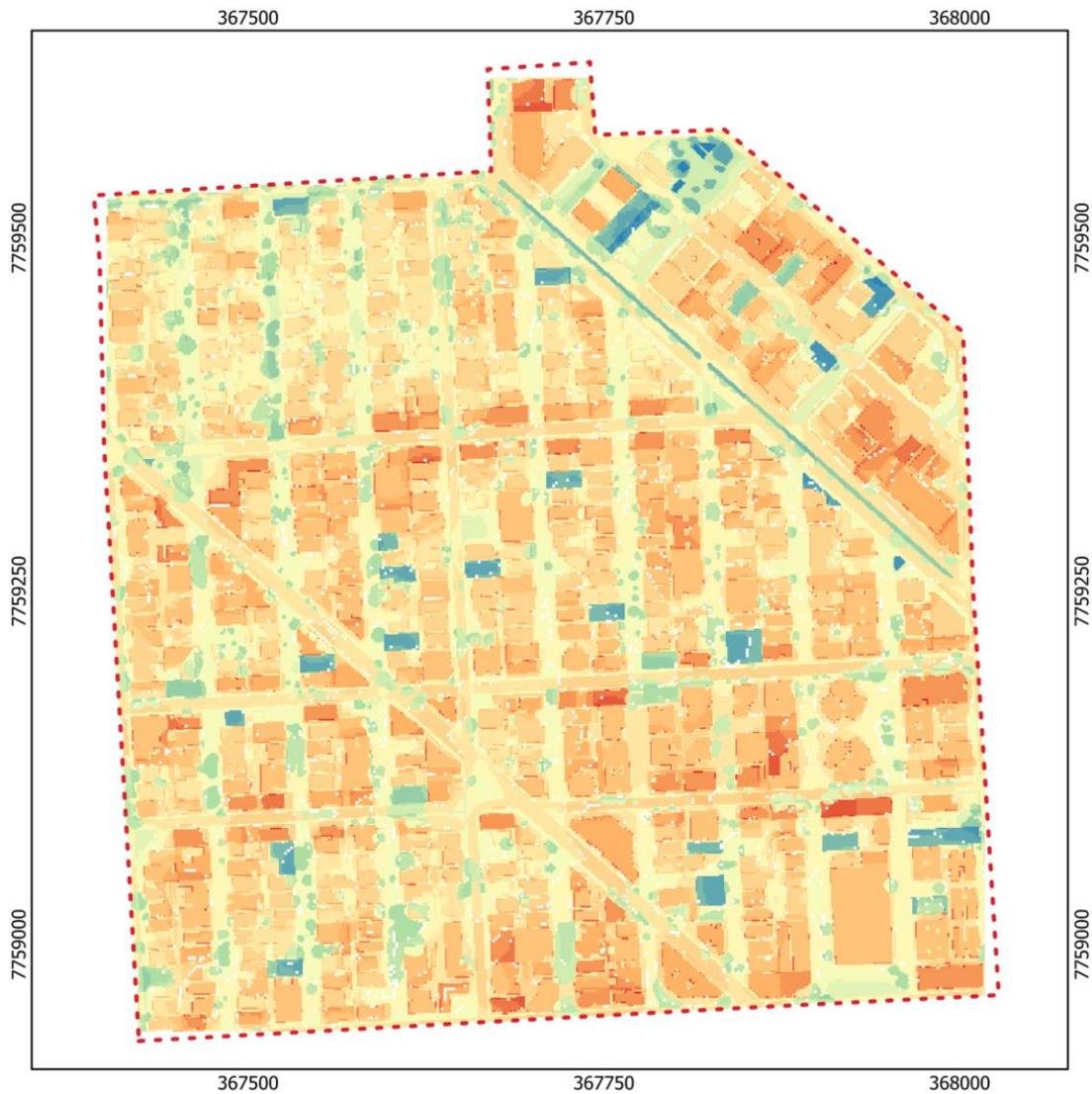
Foi verificado que áreas de potencial de aquecimento muito alto estavam localizadas em vias com caixa viária média ou grande, porém não posicionadas na orientação predominante do vento. Além disso, percebe-se o uso de materiais de alta e baixa emissividade, bem como de médio e baixo albedo.

Ficou evidente o efeito negativo para a carga térmica ocasionado pelo aumento do volume construído e do uso de materiais de alta emissividade. Além disso, pôde ser observada a relevância dos elementos que contribuem para o aumento do potencial dinâmico e a redução do potencial térmico local (ventilação natural e cobertura vegetal), em especial foi verificado a importância da presença da arborização urbana para o balanço da carga térmica.

A análise comparativa dos mapas de potencial aquecimento dos períodos da manhã e da tarde, evidenciou a influência do sombreamento e da incidência da radiação solar direta no potencial de armazenamento de calor. Ademais, é importante salientar o papel das construções tanto para o aumento da carga térmica, devido ao elevado volume construído e a obstrução da área de visão do céu, como para a mitigação dos efeitos adversos da carga térmica, promovido a partir do sombreamento das superfícies do entorno imediato.



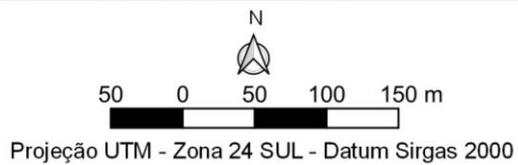
Figura 47 – Mapa de potencial de aquecimento para o período noturno.



**LEGENDA**

- - - Área de estudo
- Potencial de aquecimento:
- Classe 1 - muito baixo
- Classe 2 - baixo
- Classe 3 - médio
- Classe 4 - alto
- Classe 5 - muito alto

**DADOS DO PROJETO**



**PARÂMETROS CARTOGRÁFICOS**

Fonte: Vitória, 2020.  
 Elaborado por: Juliana Silva Almeida Santos.  
 Data: 16 de agosto de 2021.

Fonte: elaborado a partir de Vitória (2020).



## 4.2 MONITORAMENTO CLIMÁTICO

O trabalho de campo foi realizado durante condição sazonal de inverno, nos dias 13 e 14 de setembro de 2021 (segunda e terça-feira). Foram executadas coletas em três horários distintos: 09h00, 15h00 e 21h00. No que diz respeito às condições climatológicas, a estação de inverno é considerada um período menos chuvoso na Região Sudeste do Brasil. Caracteriza-se pelas incursões de massas de ar frio oriundas do sul do continente, que provocam um declínio das temperaturas médias do ar. Além disso, com a atenuação das precipitações verifica-se também a redução dos índices de umidade relativa do ar (SOUZA, 2020).

### 4.2.1 Análise sinótica da coleta de inverno

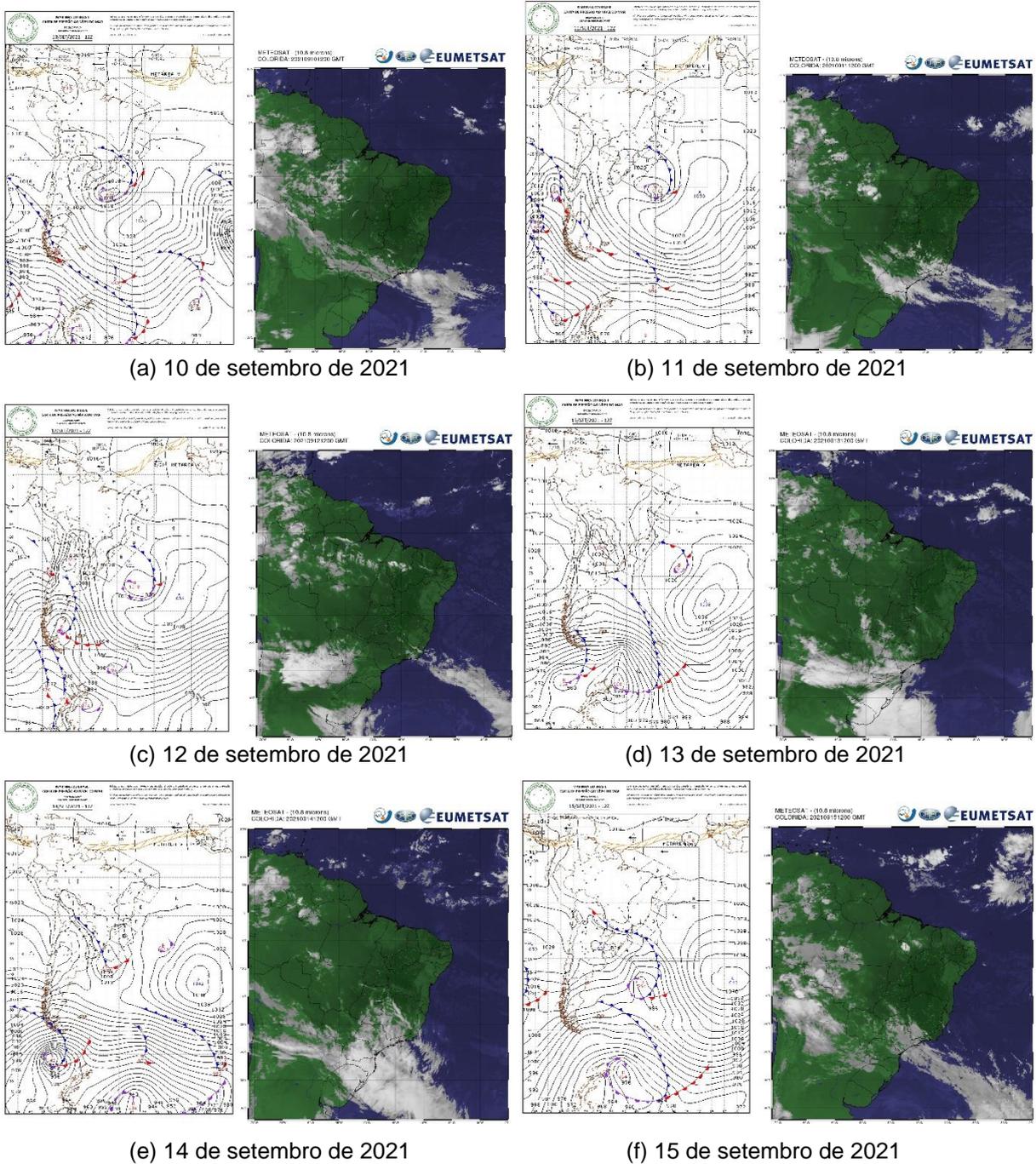
As cartas sinóticas do Atlântico Sul obtidas no *website* da MB possibilitaram a análise da condição atmosférica na região de estudo (sudeste) no período de realização do trabalho de campo (Figura 48). Nos dias precedentes à coleta (10/09, 11/09 e 12/09), a pressão atmosférica se manteve alta, em uma faixa entre 1016 hPa e 1020 hPa.

Houve a aproximação de uma frente fria pelo Sul e a ocorrência de ventos nas orientações NNE, N, NE com velocidade entre 9,26 km/h e 15,52 km/h. Contudo, no dia 12/09, a frente fria se afastou rumo ao leste, em direção ao oceano. Foi verificado céu limpo diretamente na região do estudo, mas com cobertura de até 50% nas áreas adjacentes.

No primeiro dia de coleta (13/09), a frente fria estacionou e perdeu força na área oceânica, sem mais influência sobre o local estudado. Foram verificados ventos na orientação NNE com cerca de 18 km/h e céu parcialmente encoberto. Por sua vez, no dia seguinte, foi observado a formação de um cavado diretamente sobre a região do estudo e a aproximação de uma nova frente fria no sentido SW, porém ainda distante para exercer influência na área de interesse. Ademais, foi verificada a ausência de cobertura de nuvens e a ocorrência de ventos na orientação N de 9,26 km/h, a oeste da área estudada.



Figura 48 – Cartas sinóticas e imagens do satélite METEOSAT (Color IR 9) dos dias 10 a 15 de setembro de 2021, às 12h00 GMT.



Fonte: Marinha do Brasil (2021) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [copyright 2010-2012 EUMETSAT] (2021).

No dia subsequente à coleta (15/09), a pressão atmosférica manteve-se elevada (1020 hPa) e uma nova frente fria se aproximou pela orientação WSW, mas ainda se manteve distante. Foi verificada a ocorrência de ventos na orientação NNE de até 9,26 km/h e céu com poucas nuvens. De maneira geral, foi observado durante o período de estudo, céu com poucas nuvens, vento nas orientações NNW, N, NNE e



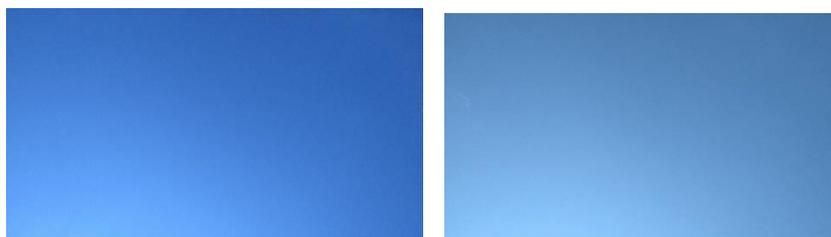
NE, desde uma brisa fraca até 18,52 km/h em algumas ocasiões. A pressão atmosférica oscilou entre 1016 hPa e 1024 hPa, sob influência de zonas de alta e baixa pressão se deslocando ao sul da área oceânica.

As condições meteorológicas específicas para a cidade de Vitória puderam ser avaliadas por meio dos dados aferidos pela estação automática A612–Vitória (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2021b). Ao longo do primeiro dia de coleta, a pressão atmosférica variou entre 1013,1 hPa e 1019 hPa, a umidade do ar se manteve na faixa de 53% até 94%. Já a temperatura do ar oscilou entre 19,3°C e 31,2°C, sendo o primeiro valor verificado às 7h00 da manhã e o segundo às 15h00.

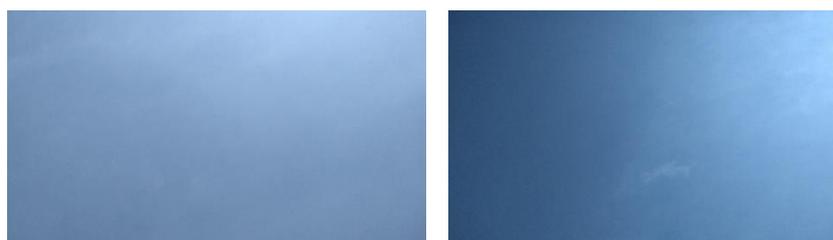
No dia seguinte, a pressão atmosférica se manteve um pouco mais baixa, foram verificados valores entre 1012,3 hPa e 1016,1 hPa. O mesmo ocorreu com a umidade do ar, a faixa de oscilação foi de 45% a 82%. Por sua vez, a temperatura do ar se manteve um pouco mais alta, variando entre 23,1°C e 32,7°C. Cabe salientar que os dados citados correspondem a valores instantâneos, aferidos pela estação automática com intervalo de 1h.

Conforme apresentado na Figura 49, o céu se manteve claro e sem nuvens em todas as coletas realizadas no período matutino e vespertino, ou seja, dentro das condições ideais para realização do trabalho de campo.

Figura 49 – Condição do céu nos dias de monitoramento nos períodos: matutino (esquerda) e vespertino (direita).



(a) 13 de setembro de 2021



(b) 14 de setembro de 2021

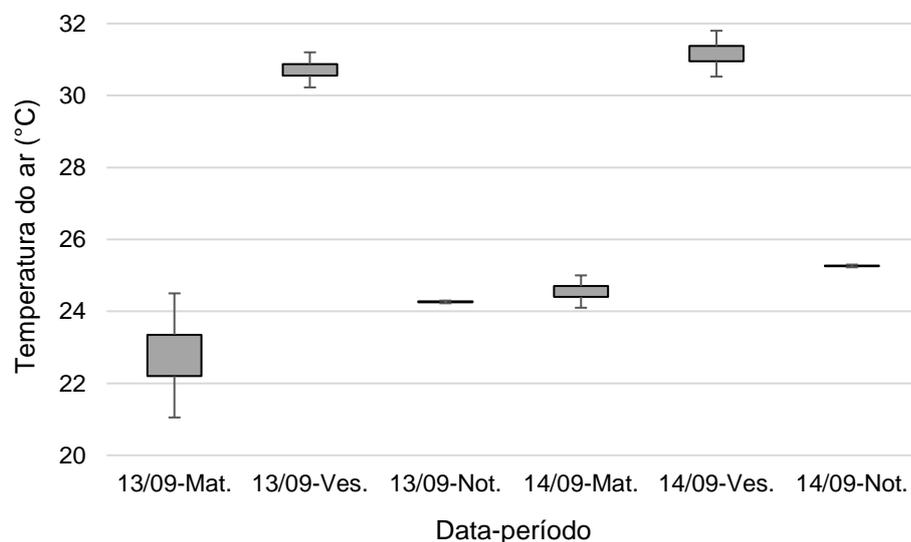


#### 4.2.2 Correção da defasagem de tempo

No primeiro dia de coleta foi verificada uma variação de 4,6°C, 1,3°C e 0,1°C na faixa de temperatura do ar monitorada no ponto fixo, respectivamente nos horários da manhã (09h00-10h00), tarde (15h00-16h00) e noite (21h00-22h00). Tanto no período vespertino como noturno foi observado a redução da temperatura ao longo do trabalho de campo. Por outro lado, no período matutino foi verificado um comportamento oposto.

No segundo dia de coleta, a faixa de temperatura do ar monitorada no ponto fixo variou em 1,2°C, 1,7°C e 0,1°C, para a mesma ordem de horário supracitada. Diferentemente do dia anterior, foi observada a redução da temperatura apenas no período noturno. No Gráfico 2 podem ser observadas as faixas de variação térmica obtidas nos dois dias de coleta. É importante salientar que no *website* do INMET não foram encontrados os dados relativos à coleta de 15h00 do dia 14/09/2021. Diante da ausência de dados, para esse período em específico, optou-se por realizar o cálculo da variação com base nos valores aferidos às 14h00 e 16h00.

Gráfico 2 – Variação térmica no ponto fixo, nos dias 13 e 14 de setembro de 2021.



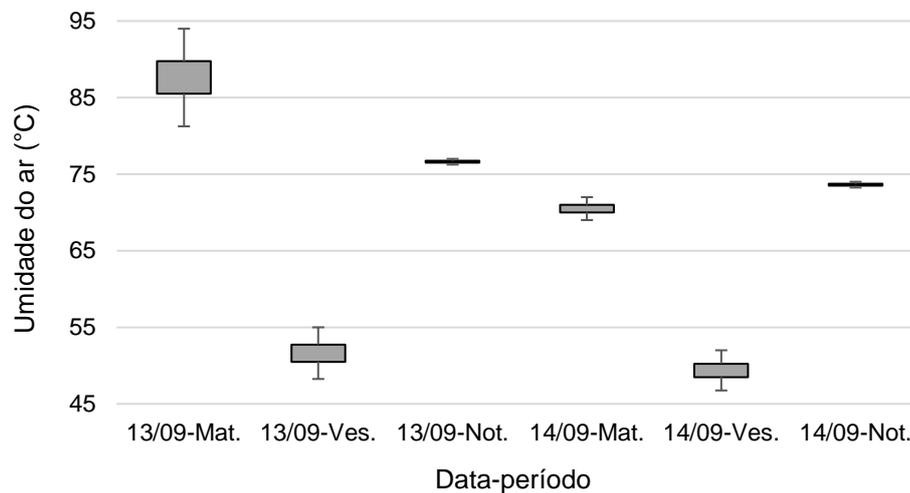
Fonte: autora (2021).

O mesmo procedimento foi aplicado aos dados de umidade do ar monitorados no ponto fixo. Em relação a faixa de variação observada no dia 13/09/2021, pela manhã



foi obtido um valor de 17%, a tarde 9% e a noite 1% (Gráfico 3). Neste dia, foi verificada a redução da umidade somente no período matutino.

Gráfico 3 – Variação da umidade do ar no ponto fixo, nos dias 13 e 14 de setembro de 2021.



Fonte: autora (2021).

Por sua vez, no dia 14/09 foi verificada uma variação de 4%, 7% e 1%, respectivamente nos períodos da manhã, tarde e noite. No que diz respeito à dinâmica climática, foi observado o decréscimo da umidade em todos os períodos. De modo geral, foi observado que pela manhã e à noite a temperatura estava mais amena e com umidade elevada, comportamento típico do clima tropical quente e úmido detalhado por Romero (2013). Ademais, as maiores variações de temperatura e umidade foram verificadas no período diurno.

Conforme detalhado anteriormente, a variação térmica e a dinâmica climática verificada nos horários de monitoramento, nortearam o processo de correção da defasagem de tempo dos dados. No Apêndice, é apresentada a descrição dos dados aferidos *in loco* e os valores corrigidos, resultantes da aplicação da fórmula proposta de Oliveira, Fialho e Allocca (2018).

#### 4.2.3 O campo térmico às 09h00

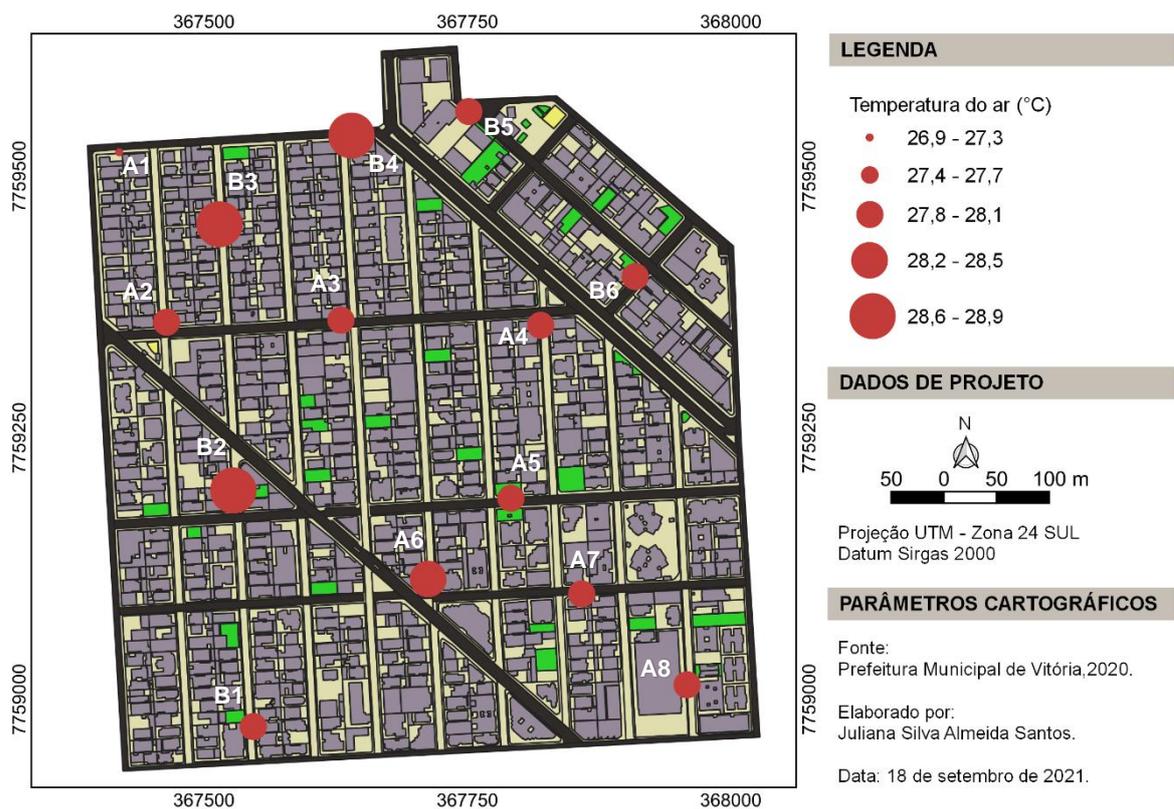
O campo térmico às 09h00 do dia 13/09/2021 apresentou uma amplitude térmica de 2°C, com temperaturas oscilando entre 26,9°C (no ponto A1) e 28,9°C (nos pontos



B2 e B3). Cabe salientar que o primeiro ponto está localizado em área levemente sombreada pela vegetação arbórea de médio porte, com ampla caixa viária e bem ventilada, o que contribui para a dispersão de poluentes e remoção do calor. Sabe-se que o agrupamento vegetativo local tende a estabilizar os efeitos climáticos do entorno e criar microclimas com temperaturas mais amenas, especialmente no período da manhã (Figura 50).

Foi verificado que os pontos com maior intensidade térmica (B2, B3 e B4) estavam situados em área sem a influência de elementos arbóreos e com construções mais baixas, que contribuem para o aumento da incidência solar direta. Em relação aos dois primeiros, foi observado que a caixa viária estreita pode contribuir também para o armazenamento de calor.

Figura 50 – Distribuição da temperatura do ar às 09h00 do dia 13/09/2021.



Fonte: autora (2021).

Embora o ponto B4 esteja situado na mesma rua do ponto A1, foram verificadas diferenças significativas na intensidade térmica dos dois. É importante pontuar que apesar de bem ventilado e com a presença de árvores dispersas, o ponto B4 se destaca dos demais devido ao alto fluxo de veículos e pedestres (calor

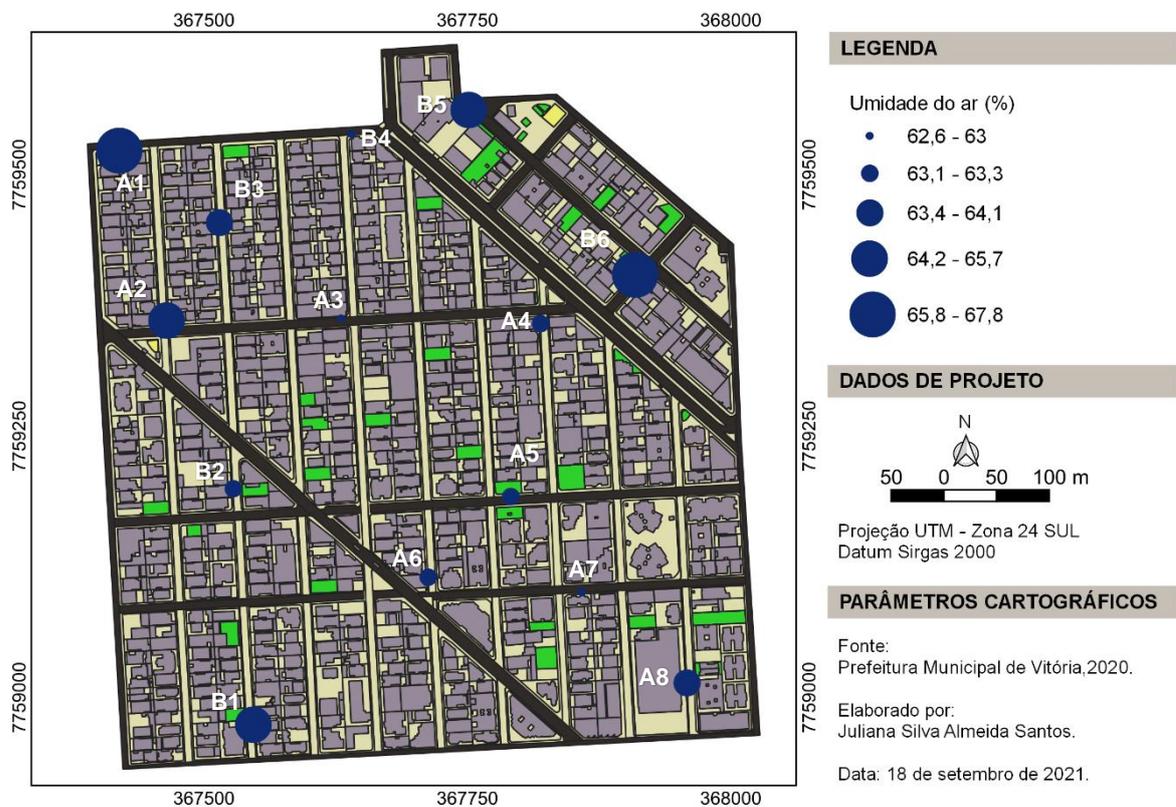


antropogênico). Ademais, durante todo o período diurno o mesmo recebe radiação solar direta.

Os pontos de intensidade térmica mediana estavam localizados em áreas de configurações urbanas distintas. Com exceção dos pontos A4 e A7, todos os demais estavam sob incidência solar direta. Embora tenha sido observado um alto fluxo de veículos e pedestres no ponto B5, que não apresentou uma intensidade térmica elevada. Tal dinâmica pode ser justificada pela boa ventilação local, pela amplitude da caixa viária e a proximidade com a Praça da Bocha, onde são observados elementos arbóreos de grande porte situados na direção predominante do vento.

Conforme observado na Figura 51, na manhã do dia 13/09/2021 a umidade do ar oscilou entre 62,6% (no ponto A7) e 67,8% (no ponto A1). Percebe-se que o maior valor registrado coincidiu com o ponto em que foi verificada a menor temperatura. Não foram observadas grandes disparidades nos valores registrados, sendo que em geral os menores valores foram verificados na região central da área de estudo.

Figura 51 – Distribuição da umidade do ar às 09h00 do dia 13/09/2021.

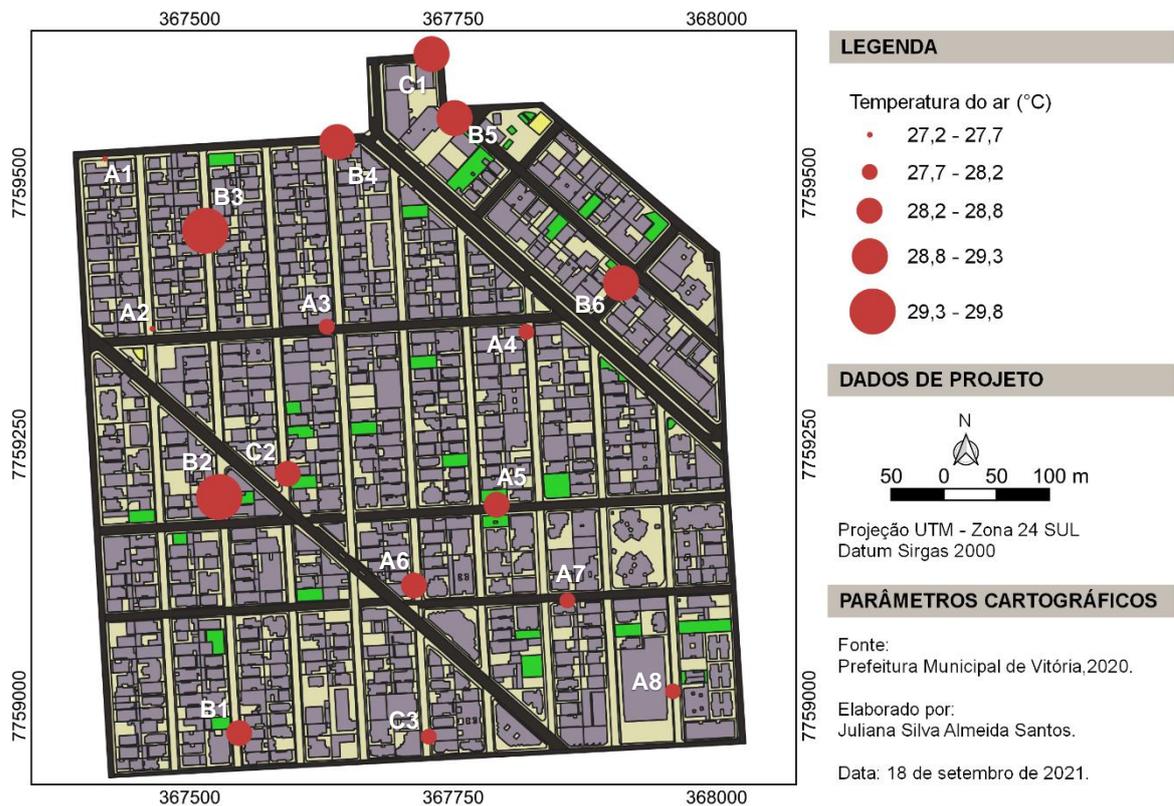


Fonte: autora (2021).



O campo térmico às 09h00 do dia 14/09/2021 apresentou uma amplitude térmica maior que a verificada no dia anterior, um valor de 2,6°C. As temperaturas foram um pouco mais elevadas e oscilaram entre 27,2°C (no ponto A1) e 29,8°C (no ponto B3), comportamento semelhante ao observado no dia precedente (Figura 52).

Figura 52 – Distribuição da temperatura do ar às 09h00 do dia 14/09/2021.



Fonte: autora (2021).

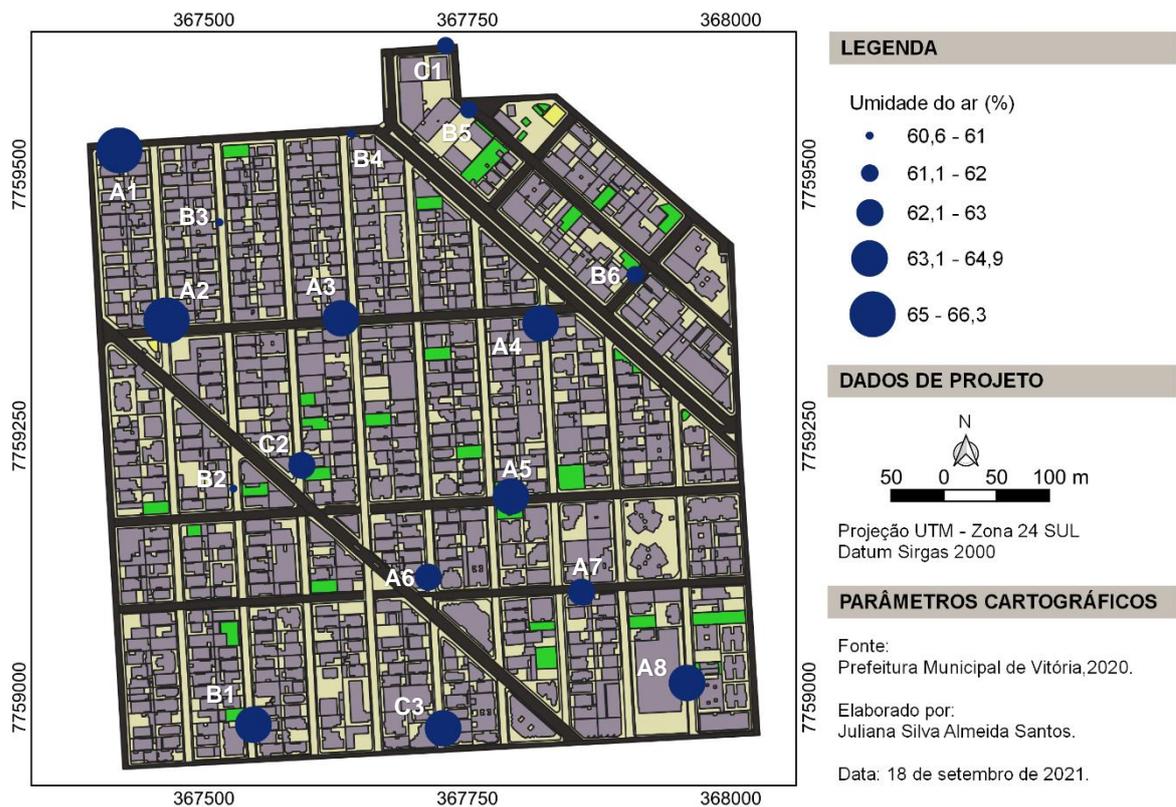
Os pontos A3, A4, A7, A8 e C3 também apresentaram baixa intensidade térmica. O primeiro, foi o único ponto sob incidência solar direta que registrou um baixo valor de temperatura. Uma possível explicação para tal ocorrência pode ser o bom fluxo de ventilação constatado no trabalho de campo. Por sua vez, foi observado que os pontos C3, A4, A7 e A8 estavam localizados em região sombreada pelas edificações circundantes. Além disso, destaca-se que na Rua Elzira Vivacqua (Ponto C3) foi verificado um alto índice de arborização de grande e médio porte.

Os valores de umidade para esse horário foram semelhantes aos registrados no dia anterior, observando-se que o maior valor foi obtido no ponto A1 (66,3%), enquanto o menor ocorreu nos pontos B3 e B4 (60,6%). Conforme observado na Figura 53, os maiores valores de umidade foram registrados em pontos com boa ventilação e



próximos a áreas com arborização de médio e grande porte (A1 e A2). No caso do primeiro, as árvores estavam distribuídas ao longo da calçada e no canteiro central. Já no segundo, as árvores estavam situadas em um espaço livre localizado próximo ao ponto de coleta.

Figura 53 – Distribuição da umidade do ar às 09h00 do dia 14/09/2021.



Fonte: autora (2021).

#### 4.2.4 O campo térmico às 15h00

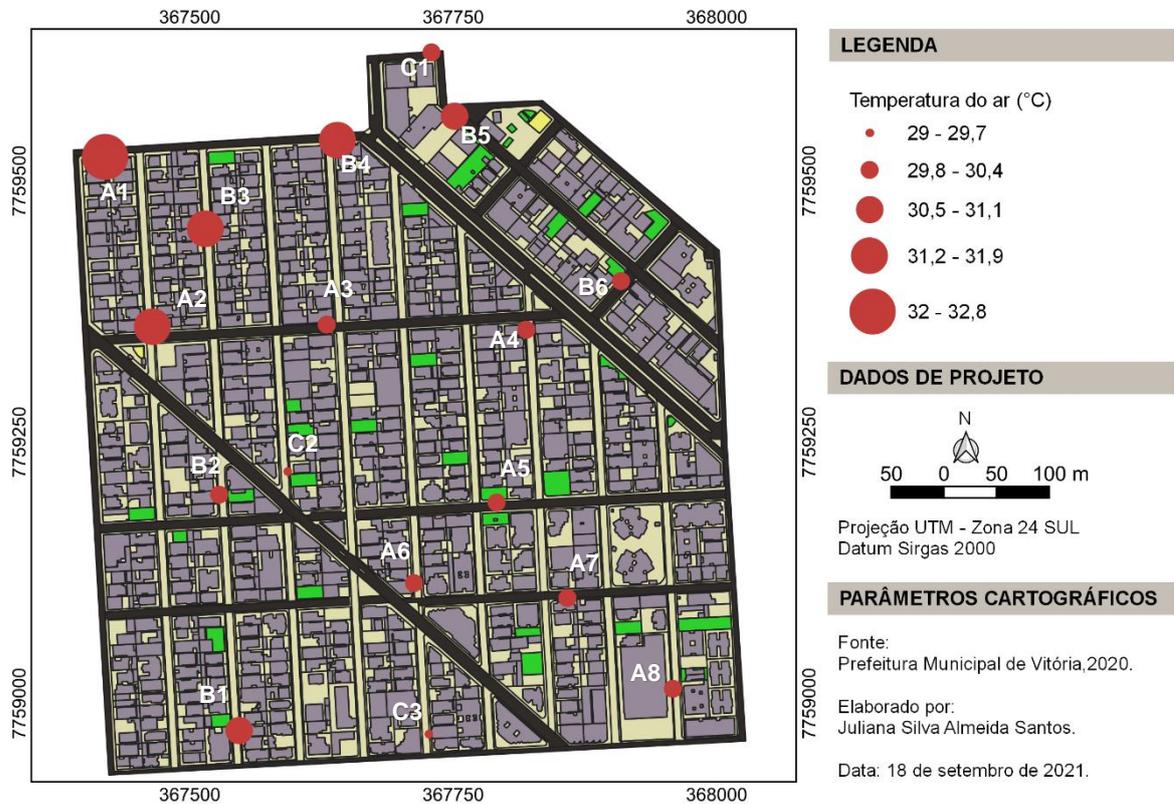
O campo térmico às 15h00 do dia 13/09/2021 apresentou uma amplitude térmica de 3,8°C, com temperaturas variando de 29°C (no ponto C3) a 32,8°C (no ponto A1). Diferentemente do ocorrido pela manhã, neste último ponto, foi registrada elevada intensidade térmica. Já o ponto C3 permaneceu apresentando temperatura mais amena (Figura 54).

Assim como observado às 09h00, os pontos B2, B3 e B4 registraram alta intensidade térmica em comparação aos demais. No período da tarde, pode ser percebido que os pontos de temperatura mais elevada estavam concentrados na região noroeste da área de estudo, na qual é verificada a predominância de



edificações de 1 a 2 pavimentos, cuja conformação contribui para o aumento da radiação solar direta.

Figura 54 – Distribuição da temperatura do ar às 15h00 do dia 13/09/2021.



Fonte: autora (2021).

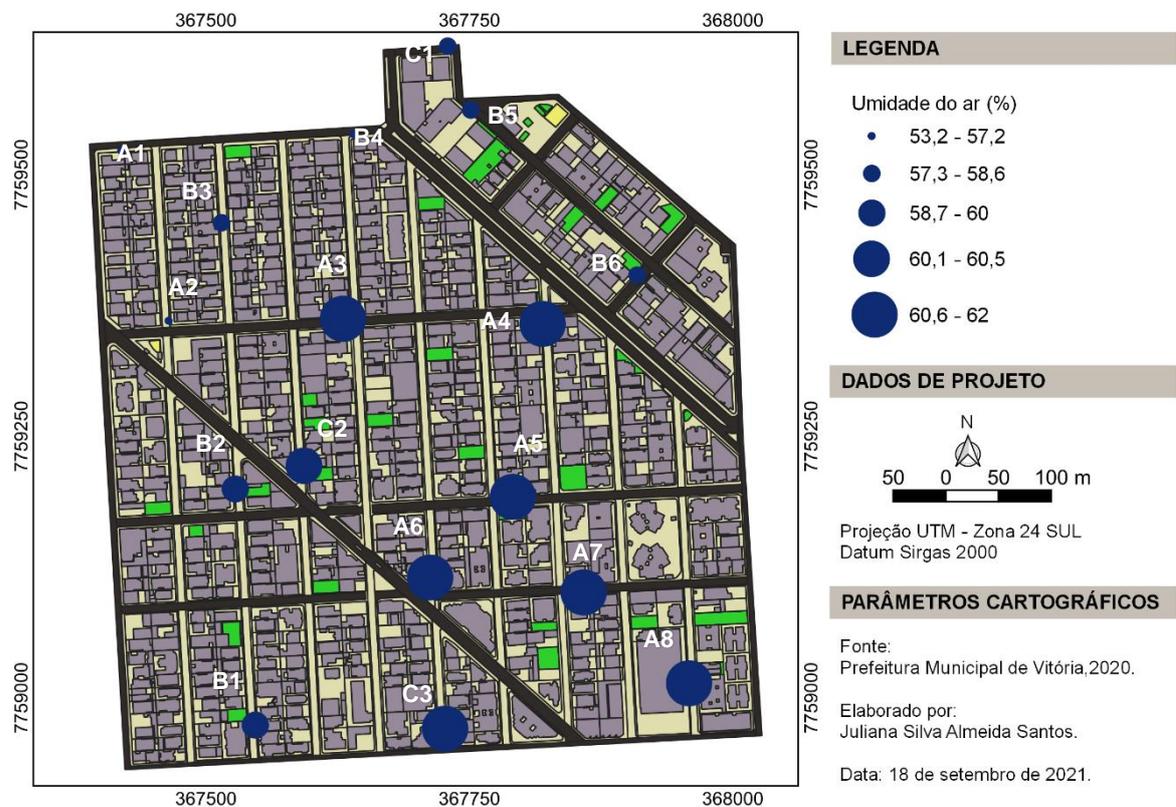
Foi observado que um número significativo de pontos com menor intensidade térmica estava situado em áreas sob a influência do sombreamento, ora ocasionado pela presença de edificações mais altas (A5, A6, A8, A7, A8, B6), ora causado pela obstrução da radiação pela vegetação arbórea de médio e grande porte, distribuída ao longo das calçadas (B2, C1 e C2).

O valor da umidade do ar para às 15h00 do dia 13/09/2021 oscilou entre 62% (no ponto A3) e 53,2% (no ponto A1). Para esse horário, a distribuição espacial da variável na área de estudo foi bem diferente da verificada no período da manhã. O aumento da temperatura ocasionado pelo incremento da radiação solar no período vespertino, contribuiu para a formação de uma nova dinâmica climática. Nesse sentido, foi verificado um efeito inversamente proporcional entre a temperatura e a umidade (Figura 55).



Nos pontos em que foi identificado um maior incremento térmico no período da tarde, o valor da umidade reduziu substancialmente. A exemplo do ponto A1 que, às 9h00 do dia 13/09/2021, registrou temperatura de 26,9°C e umidade de 67,8% e às 15h00 registrou os valores de 32,8°C e 53,2%, respectivamente. Ao avaliar a distribuição da umidade na área de estudo, percebe-se que os pontos de maior umidade contemplam uma ou mais das seguintes características: está situado em área sombreada; apresenta boa ventilação natural; e está próximo ou possui a presença de arborização urbana.

Figura 55 – Distribuição da umidade do ar às 15h00 do dia 13/09/2021.



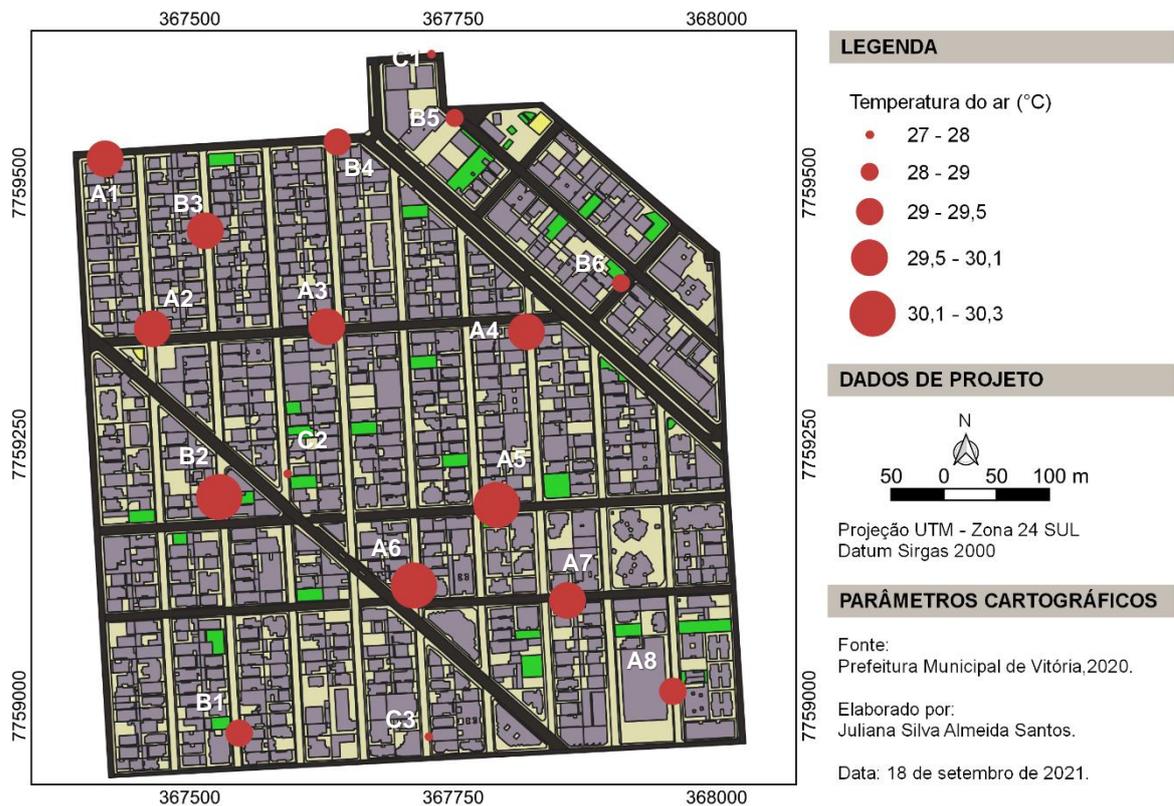
Fonte: autora (2021).

O campo térmico às 15h00 do dia 14/09/2021 apresentou uma amplitude térmica (3,3°C) e temperaturas mais baixas que as registradas no dia anterior (Figura 56). Os valores oscilaram entre 27°C (no ponto C3) e 30,3°C (no ponto B2). A maior variação observada em relação aos valores monitorados no dia anterior foi verificada no ponto A1. No primeiro dia foi registrada uma temperatura de 32,8°C, enquanto no segundo foi obtido um valor de 30,1°C.



Embora num primeiro momento a classificação visual da distribuição da temperatura pareça indicar o agravamento da intensidade térmica, ressalta-se que a maioria dos pontos (A3, A4, A5, A6, A7, B2) registraram um acréscimo e/ou decréscimo de apenas 0,1°C a 0,2°C ao valor aferido no dia 13/09/2021.

Figura 56 – Distribuição da temperatura do ar às 15h00 do dia 14/09/2021.



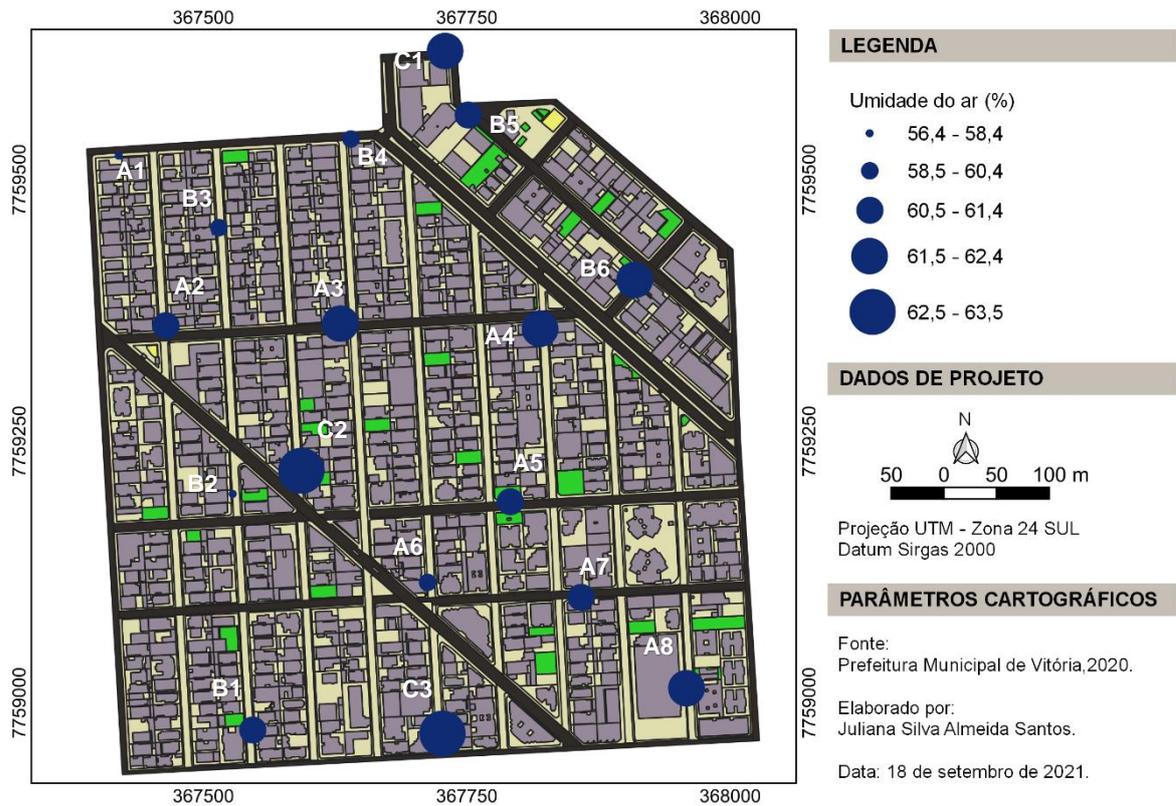
Fonte: autora (2021).

Para o mesmo período, a umidade oscilou entre 63,5% (no ponto C3) e 56,4% (no ponto A1). A variação observada foi superior à verificada no período da manhã, embora ambas estivessem na faixa dos 60% (Figura 57). A dinâmica de distribuição foi semelhante à do dia anterior, ou seja, os maiores valores de umidade foram registrados nos pontos de temperatura mais amena.

De modo geral, os dados obtidos nos dias 13/09/2021 e 14/09/2021 para o período diurno apresentaram boa correspondência no que diz respeito à distribuição espacial das variáveis nos pontos de monitoramento e a dinâmica climática observada no decorrer do trabalho de campo.



Figura 57 – Distribuição da umidade do ar às 15h00 do dia 14/09/2021.



Fonte: autora (2021).

Pela manhã a amplitude térmica foi menor e as temperaturas mais amenas. É importante salientar que áreas próximas a espaços livres e a arborização urbana (A1, A2 e A6) apresentaram valores mais baixos de temperatura. Por sua vez, as ruas menos sombreadas e com alta incidência solar direta apresentaram intensidade térmica elevada, que resultou em um significativo incremento térmico no período da tarde.

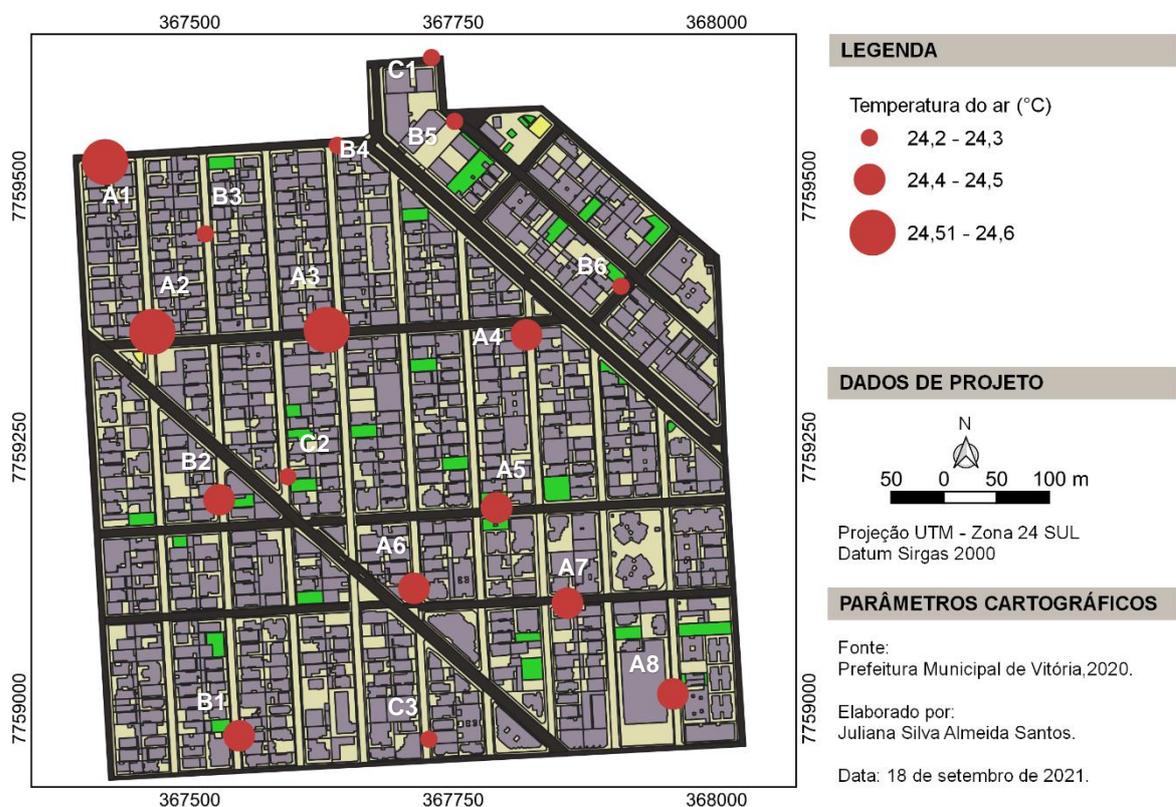
Ademais, foi verificado uma possível influência do calor antropogênico no campo térmico da área de estudo. Embora o ponto B4 estivesse situado em área com boa ventilação, ampla caixa viária e próximo a elementos arbóreos, nas quatro coletas foi observado um efeito de aquecimento local. Em termos de configuração urbana, a área apresenta alto fluxo de veículos e pedestres, tendo em vista sua proximidade com: a Rua Italina Pereira Mota (via local principal); a Rua Fortunato Abreu Gágo (via coletora); e o Plaza Shopping e demais comércios locais.



#### 4.2.5 O campo térmico às 21h00

O campo térmico às 21h00 do dia 13/09/2021 apresentou temperaturas mais amenas e baixa amplitude térmica, um valor de apenas 0,4°C. Os pontos A1, A2 e A3 foram os mais quentes (24,6°C), enquanto a menor temperatura foi verificada no ponto B6 (24,2°C). O campo térmico se mostrou relativamente homogêneo, mesmo com as diferentes configurações espaciais observadas na área de estudo (Figura 58).

Figura 58 – Distribuição da temperatura do ar às 21h00 do dia 13/09/2021.



Fonte: autora (2021).

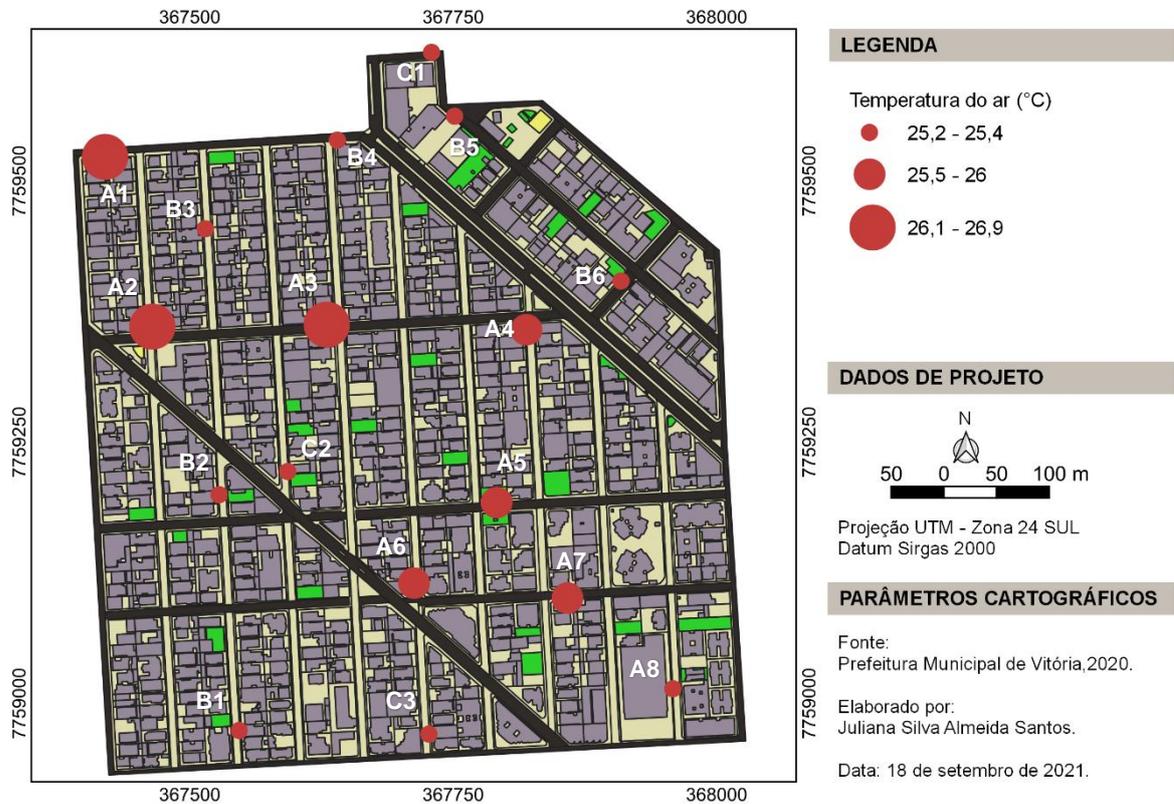
Cabe salientar que os pontos A1 e A2 consistem em áreas com atividade noturna, onde foram identificados estabelecimentos comerciais como farmácia e restaurantes no local. Ademais, no período noturno, os três pontos (A1, A2 e A3) apresentam maior fluxo de veículos e pedestres do que em outras ruas vizinhas.

Conforme observado na Figura 59, o campo térmico às 21h00 do dia 14/09/2021 foi muito semelhante ao verificado na noite anterior. A amplitude térmica foi de 1,7°C e



os valores de temperatura oscilaram entre 25,2°C (nos pontos B6, C1, C2 e C3) e 26,9°C (no ponto A1).

Figura 59 – Distribuição da temperatura do ar às 21h00 do dia 14/092021.



Fonte: autora (2021).

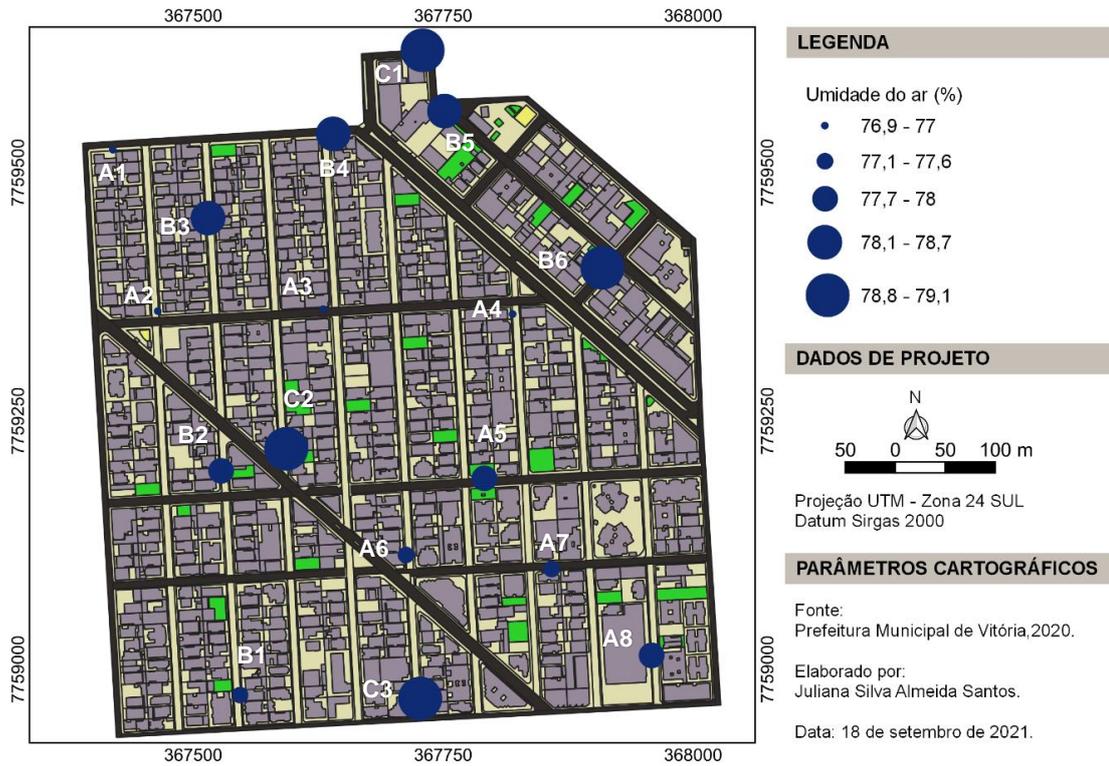
É importante ressaltar que pontos que haviam apresentado intensidades térmicas distintas às 15h00, registraram valores muito próximos de temperatura à noite; como o ponto B2 que registrou uma temperatura de 30,3°C no período da tarde e 25,4°C à noite e o ponto B5 que obteve uma temperatura de 28,5°C às 15h00 e 25,3°C às 21h00.

Tais observações sugerem que no período noturno não ocorre um elevado armazenamento de calor na área de estudo (ICU). Isso pode ocorrer por diferentes razões: (1) o traçado urbano que permite uma boa ventilação natural e renovação do ar em toda a extensão da área de estudo; e (2) o elevado índice de umidade relativa no período noturno que tende a estabilizar o campo térmico.

Nas Figura 60 e 61 podem ser observados os mapas de distribuição da umidade do ar às 21h00 do dia 13/09/2021 e 14/09/2021, respectivamente.

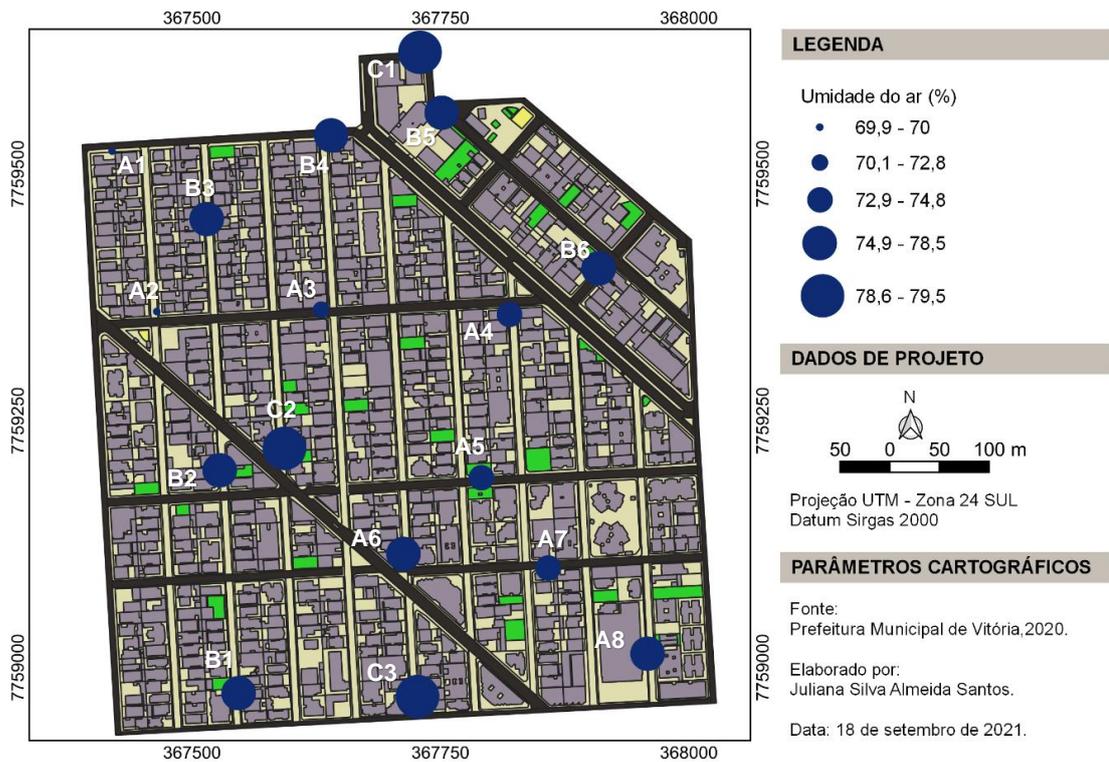


Figura 60 – Distribuição da umidade do ar às 21h00 do dia 13/092021.



Fonte: autora (2021).

Figura 61 – Distribuição da umidade do ar às 21h00 do dia 14/092021.



Fonte: autora (2021).



Nos dois dias de coletas noturna, os valores de umidade ficaram na faixa dos 70%. Às 21h00 do dia 13/09/2021 a umidade oscilou de 76,9% (nos pontos A2 e A4) a 79,1% (no ponto C3), resultando em uma variação de 2,2%. No dia posterior, a umidade oscilou de 69,9% (nos pontos A2) a 79,5% (no ponto C3), resultando em uma variação de 9,6%, valor bem mais elevado que o monitorado no dia anterior. O padrão de distribuição seguiu a mesma dinâmica verificada nos outros períodos de coleta. Portanto, áreas mais quentes apresentaram menor umidade e áreas amenas registraram um valor superior.

#### 4.3 CORRELAÇÃO ENTRE O MAPA SÍNTESE GERADO PELO MODELO E OS DADOS AFERIDOS *IN LOCO*

O procedimento de correlação entre os resultados obtidos a partir do modelo e os dados verificados no monitoramento climático visou garantir a acurácia do Mapa de Potencial de Aquecimento. Com esse propósito, foi realizada uma análise comparativa da condição climática verificada em cada ponto de coleta e sua respectiva classificação quanto à suscetibilidade ao armazenamento de calor, indicada no mapa.

Em geral, no campo térmico no período da manhã, os pontos B2, B3 e B4 foram os que apresentaram maiores temperaturas. No ponto A1 foi registrada a temperatura mais amena, com um valor de 26,9°C no dia 13/09 e 27,2°C no dia 14/09. Nos demais pontos foram registrados valores intermediários.

Para obter uma melhor correlação entre o potencial de aquecimento dos pontos de coleta e os dados monitorados *in loco* foi necessário realizar um ajuste na distribuição dos pesos das camadas. Nesse sentido, na ferramenta álgebra de mapas foi atribuído peso 2 aos parâmetros de áreas verdes e ventilação, visto a influência destes dois aspectos na dinâmica climática observada no período da manhã.

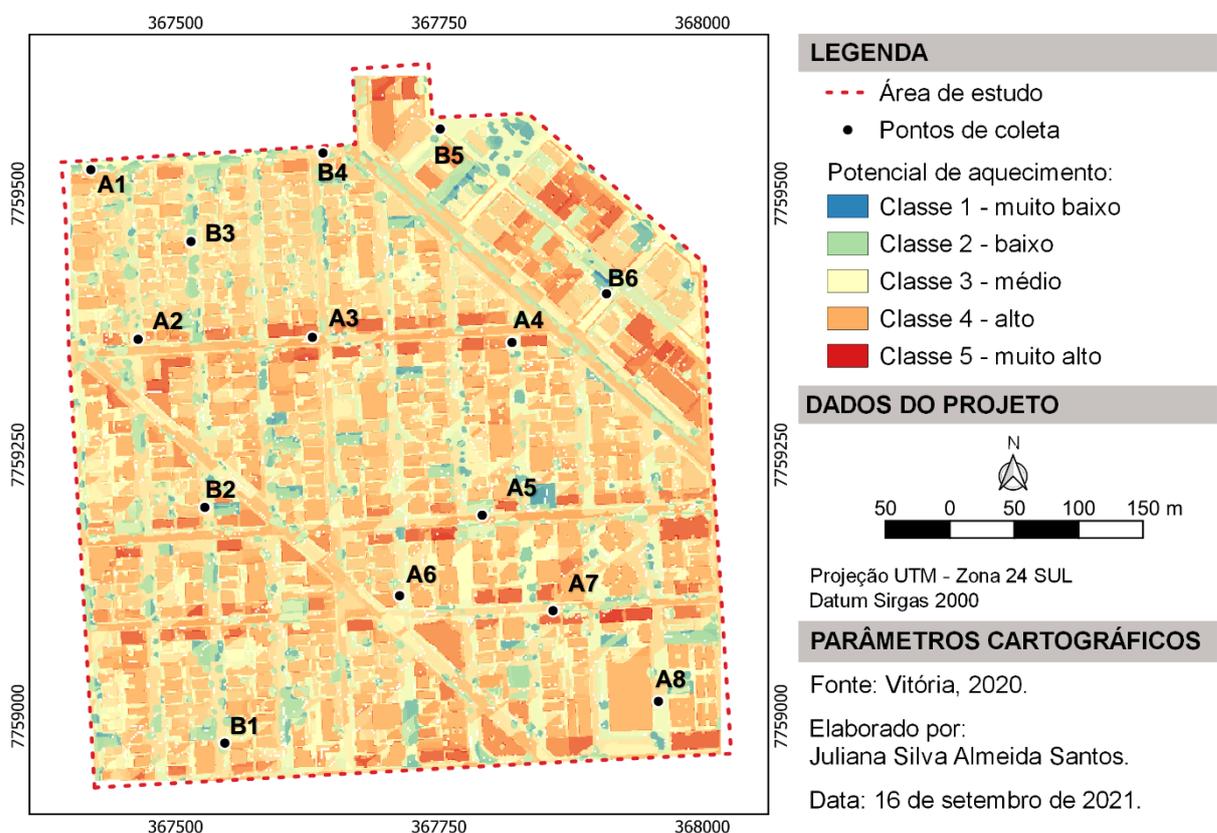
Além disso, percebeu-se ser necessária a reclassificação do potencial de ventilação das Ruas Filogônio Mota, Maria Bárbara de Oliveira e Milton Ramalho Simões, visto que todas apresentaram muita ventilação durante o trabalho de campo, assim foram reclassificadas como classe 1. No mapa de poluição do ar, a região próxima ao



ponto B4 foi reclassificada como classe 5 (maior potencial de aquecimento), tendo em vista o elevado fluxo de veículos observado no local.

A Figura 62 apresenta o mapa de potencial de aquecimento do período da manhã após as correções realizadas. Conforme observado, as áreas menos suscetíveis ao aquecimento consistem em locais próximos sob influência da cobertura vegetal e com boa ventilação. Cabe salientar que os ajustes realizados permitiram uma representação mais adequada da dinâmica observada no trabalho de campo.

Figura 62 – Mapa de potencial de aquecimento para às 09h00 após reajuste dos pesos.



Fonte: autora (2021).

No campo térmico às 15h00, pode ser percebido uma maior influência do sombreamento, em função do aumento da exposição solar neste horário; e da poluição do ar, devido ao aumento do fluxo de automóveis e pedestres nas principais avenidas da área de estudo. Portanto, foi atribuído peso 2 aos aspectos supracitados.

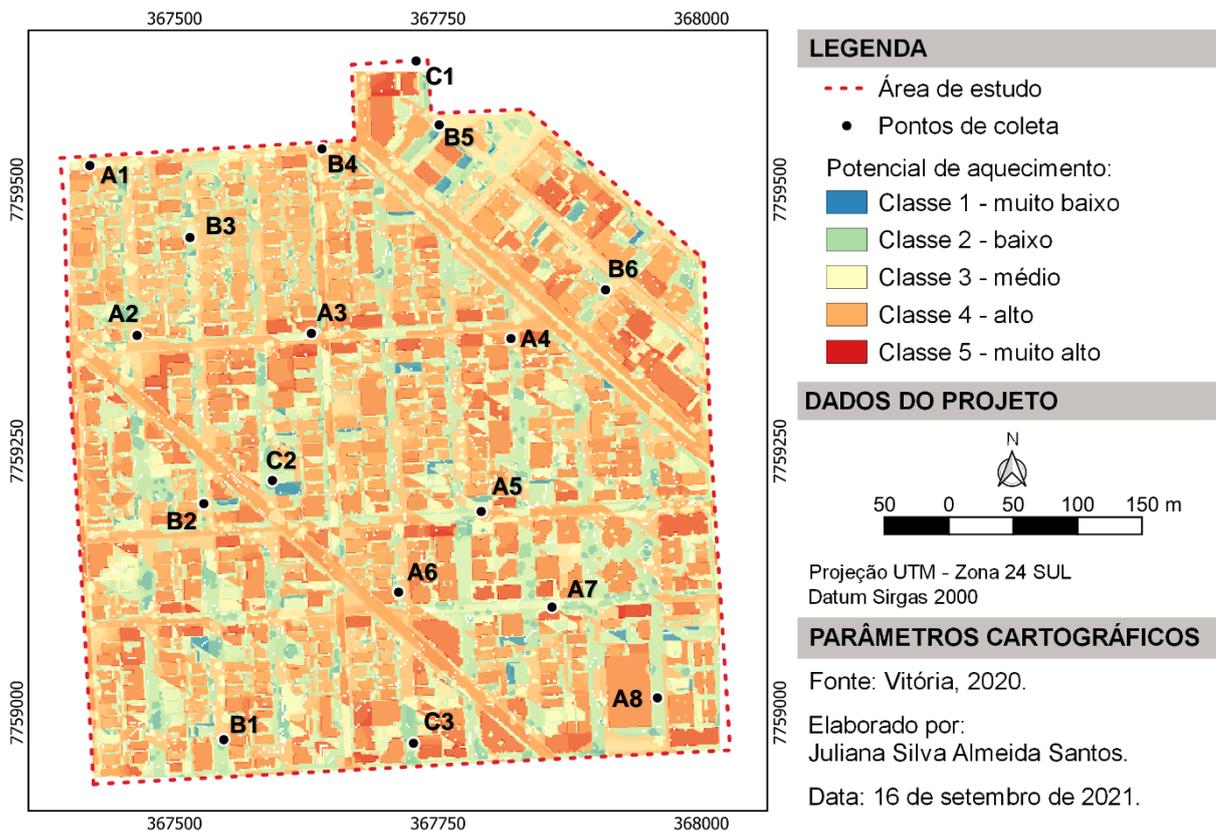
Embora tenha sido observado algumas variações nas temperaturas aferidas nos dias 13/09/2021 e 14/09/2021, em geral, foi observado que os pontos A1 e A2



apresentaram temperaturas mais elevadas. Em contrapartida, nos pontos C2, C3 e A4 foram verificadas temperaturas mais amenas. Foi observada uma certa variação nos demais pontos de coleta, contudo, percebe-se que àqueles sob influência do sombreamento permaneceram menos quentes.

Na Figura 63 pode ser observado o mapa de potencial de aquecimento para o período da tarde. Nota-se que as áreas com temperatura mais amenas consistem em locais próximos a áreas verdes e sob a influência do sombreamento. Este último aspecto, é bem evidente na região sudoeste do recorte de estudo, em que são verificadas edificações mais altas.

Figura 63 – Mapa de potencial de aquecimento para às 15h00 após reajuste dos pesos.



Fonte: autora (2021).

O campo térmico no período da noite apresentou uma variação térmica menor entre os pontos monitorados, um valor de 0,04°C no dia 13/09/21 e 1,7°C no dia 14/09/21. Em relação à atividade noturna, foi observada a concentração de pessoas e um maior fluxo de veículos em determinados pontos da área de estudo, que correspondem a estabelecimentos comerciais como bares, academias e restaurantes. No entanto, a diferença térmica destes locais para outros pontos de



coleta foi reduzida, não justificando a atribuição de maior peso a esse parâmetro. A mesma decisão foi adotada em relação aos parâmetros de áreas verdes e ventilação.

O mapa de potencial de aquecimento às 21h00 elaborado na etapa anterior, já apresenta uma boa correspondência com os dados verificados *in loco*. Desse modo, não foi necessário reajustar os pesos dos parâmetros. Embora visualmente o mapa apresente aspecto semelhante aos dos outros períodos, ressalta-se que a diferença térmica verificada entre as classes é bem mais baixa que a observada nestes últimos.

A modificação da distribuição espacial das classes de potencial de aquecimento verificada nos mapas dos diferentes períodos (manhã, tarde e noite) reforça a variabilidade espaço-temporal e o dinamismo da ambiência climática urbana. Os resultados obtidos, indicam uma alternância na influência exercida pelos parâmetros na conformação da carga térmica. Em especial, nota-se alterações em função do período e condição de exposição à radiação solar e da intensidade das atividades antropogênicas.

#### 4.4 DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO URBANO

As diretrizes urbanas foram elaboradas a partir dos resultados observados tanto nos mapas de potencial de aquecimento como no monitoramento climático. Para tal finalidade, foram organizados no Quadro 10 os aspectos mais relevantes, relacionadas à conformação do microclima. Em seguida, foram delineadas algumas diretrizes para o planejamento urbano local.

Quadro 10 – Síntese dos principais aspectos relacionados a carga térmica, observados no estudo.

(continua)

Aspecto	Efeito no clima urbano	Critério Físico	Observações
Arborização e Áreas permeáveis	Resfriamento noturno e mitigação de efeitos adversos do aumento da carga térmica.	Térmico (efeito positivo)	Em todos os períodos, contribuiu para a conformação de áreas menos suscetíveis ao aquecimento. Principalmente na parte da manhã, possibilitou temperaturas mais amenas.



(conclusão)

Aspecto	Efeito no clima urbano	Critério Físico	Observações
Calor antropogênico	Armazenamento de calor	Térmico (efeito negativo)	Foi observado um aumento da temperatura em áreas com alto fluxo de veículos.
Emissividade	Armazenamento de calor	Térmico (efeito negativo)	Pôde ser verificado que áreas com superfícies compostas por materiais de alta emissividade apresentaram maior potencial de aquecimento.
Massa construída	Armazenamento de calor	Térmico (efeito negativo e positivo)	Foi observado que as áreas com maior volume construído apresentaram suscetibilidade ao aquecimento. Ademais, indiretamente influenciou na disposição das sombras locais e na exposição das superfícies à radiação solar direta. Requer um estudo mais pormenorizado, para entender até que ponto o seu efeito poderá tornar-se negativo (limites de altura, fator forma, etc.).
Sombreamento	Mitigação de efeitos adversos do aumento da carga térmica	Térmico (efeito positivo)	No período diurno, foi verificado que as áreas sob a influência do sombreamento, ocasionado pela arborização e sobretudo pelas edificações, apresentaram menor temperatura e umidade mais elevada.
Ventilação Urbana	Circulações locais de vento	Dinâmico (efeito positivo)	Fator preponderante para mitigação dos efeitos adversos da carga térmica, contribuiu principalmente para o resfriamento noturno e na dispersão de poluentes.

Fonte: autora (2021).

É importante salientar que a área analisada já apresenta aspectos que possibilitam condições ambientais favoráveis ao conforto térmico humano. Nesse sentido, destaca-se principalmente: a disposição da malha urbana, que possibilitou uma boa ventilação por toda a extensão da área avaliada; e a presença da arborização urbana, que contribuiu para a amenização da temperatura e aumento da umidade.

Diante do exposto, foram delimitadas as seguintes diretrizes:

- Preservação das áreas arborizadas já presentes na área de estudo e inserção de novos elementos (preferencialmente massas vegetadas, devido ao maior impacto na regulação térmica) em locais com maior potencial de



aquecimento, como medida para mitigação dos efeitos adversos da carga térmica;

- Preservação dos canais de ventilação existentes, visto que a malha urbana atual possibilita uma boa circulação do ar local, favorecendo o resfriamento e a dispersão de poluentes;
- Estímulo à verticalização (desde que compatível com o porte da caixa viária local) nas áreas situadas no limite superior da área de estudo, onde atualmente há a predominância de edificações de 1 a 2 pavimentos;
- Incentivo ao uso de materiais com baixa emissividade na envoltória e cobertura das edificações, visando reduzir a capacidade de armazenamento de calor;
- Incentivo à inserção de áreas permeáveis, como medida para mitigação dos efeitos adversos da carga térmica.

Por fim, entende-se que as diretrizes estabelecidas podem contribuir para a preservação dos aspectos positivos da conformação climática atual da área de estudo e para a redução da carga térmica, por meio do fomento a inserção de elementos naturais e artificiais, cujo efeito favorece o resfriamento da carga térmica local.

#### 4.5 APLICABILIDADE DA METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Observa-se que os resultados obtidos com esse estudo de caso podem ser extrapolados para situações semelhantes, visto o recorte territorial adotado representar uma condição bastante usual, seja no âmbito da cidade de Vitória como em outras cidades no estado do Espírito Santo e mesmo em outras regiões de clima e condição geográfica semelhantes.

Conforme apurado, o mapa de potencial de aquecimento permitiu a verificação da condição microclimática dos recintos urbanos, resultando em mais uma ferramenta que pode ser disponibilizada aos gestores públicos a fim de subsidiá-los nas suas



tomadas de decisões em relação ao planejamento urbano, visando a melhoria da qualidade da ambiência urbana.

Vale ressaltar que, apenas esse estudo isoladamente, não é suficiente para atender as demandas da gestão pública, mas quando associado a outras ferramentas como o Plano Diretor Urbano e o Plano de Áreas Verdes, pode agregar mais conhecimento sobre a dinâmica climática da cidade e, principalmente, facilitar a proposição de soluções em locais críticos do ponto de vista climático, viabilizando o direcionamento das ações públicas e tornando-as mais efetivas.

Um possível produto da replicação da metodologia na escala da cidade, é a elaboração do Zoneamento Climático, a exemplo do que foi feito em Beijim (China) por He *et. al* (2015). As recomendações produzidas a partir da análise climática podem contribuir para a redução da carga térmica e melhoria do potencial dinâmico do local. Ademais, as orientações quanto ao uso de determinados materiais podem ser incluídas no Código de Edificação da cidade.

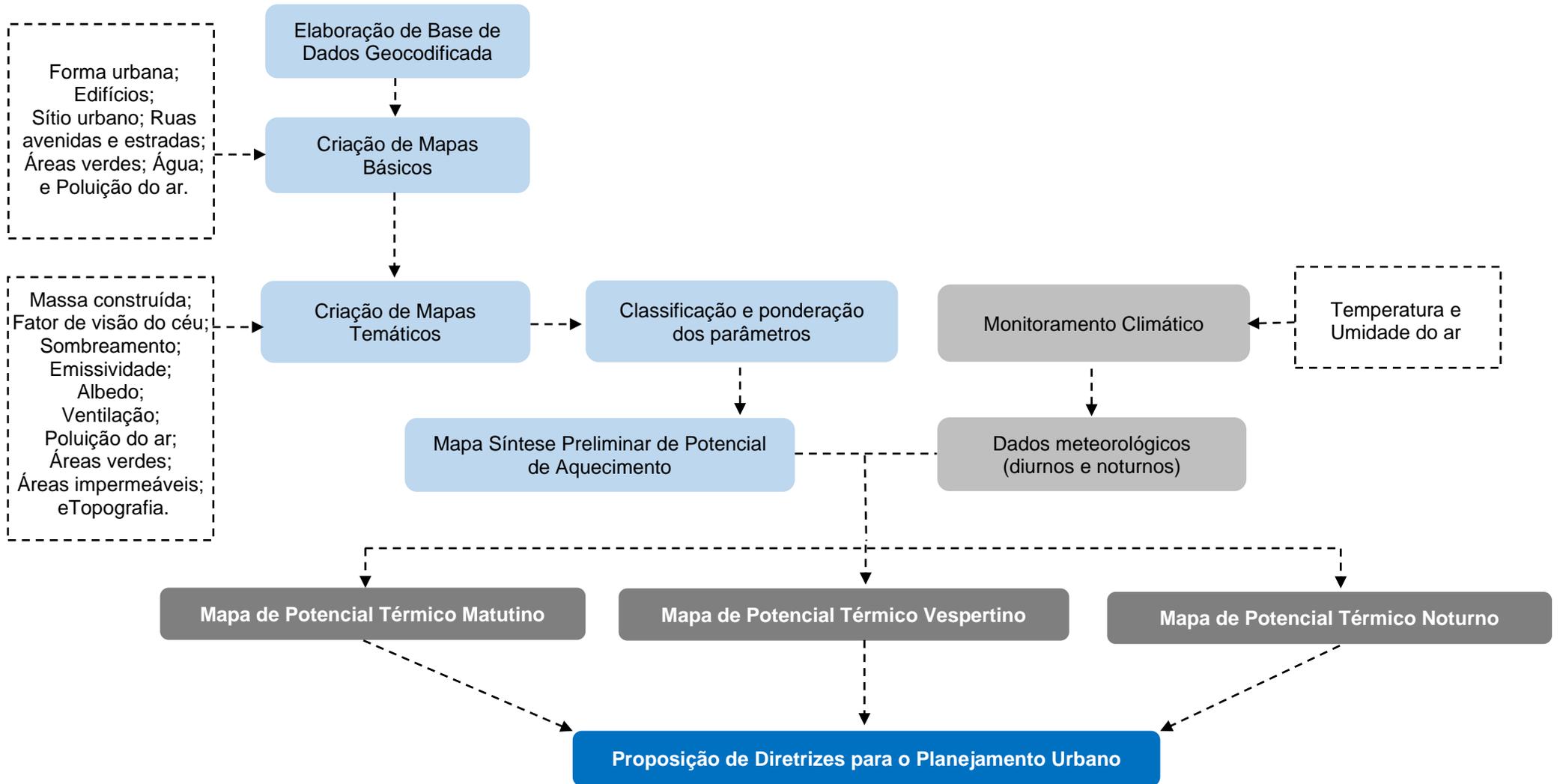
Nota-se que a maioria dos dados espaciais sobre o contexto urbano utilizados na metodologia foram obtidos no portal de georreferenciamento da Prefeitura Municipal de Vitória. Logo, ressalta-se que a metodologia proposta pode servir como referência para o tratamento desses dados, visando a disponibilização da análise do potencial de aquecimento da cidade, em seu próprio *website*. Semelhante iniciativa pode ser realizada em qualquer localidade que possua uma base de dados geográficos.

Ao torná-los públicos, a sociedade civil organizada pode lançar mão dessas informações para reivindicação das demandas peculiares à cada bairro como: a proteção de áreas naturais, em virtude de sua relevância climática e ecológica; o incremento da arborização urbana; e a expansão dos espaços livres.

#### 4.6 ESTRUTURA FINAL DA PROPOSTA METODOLÓGICA

Como produto final da pesquisa, apresenta-se na Figura 64 a estrutura final da proposta metodológica desenvolvida, bem como os parâmetros necessários para a elaboração do mapa de potencial de aquecimento.

Figura 64 – Estrutura final da metodologia proposta.



05

---

**CONSIDERAÇÕES  
FINAIS**



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme abordado no trabalho, os mapas climáticos são importante instrumento para suporte e orientação ao planejamento urbano. Embora tenham sido apresentados exemplos de estudos realizados ainda no Século XX, percebe-se que no contexto brasileiro este campo de pesquisa ainda possui um vasto potencial a ser explorado. Pôde ser observado que os primeiros trabalhos realizados no Brasil estão diretamente relacionados à inserção da temática, a partir da apresentação do estudo elaborado por Katschner (1997) no ENCAC. Desde então, foi identificado a realização de vários trabalhos do autor em parceria com pesquisadores brasileiros.

Diante das urgências evidenciadas pela mudança do clima e pela perspectiva de aumento populacional nos centros urbanos, a metodologia torna-se relevante por permitir a análise da dinâmica climática em áreas já consolidadas ou em expansão. Assim, os resultados obtidos podem subsidiar a elaboração de planos de atuação e diretrizes urbanas mais eficazes, no que diz respeito a qualidade da ambiência urbana.

Nesse sentido, esta pesquisa teve o objetivo de propor uma metodologia de mapeamento climático urbano em escala microclimática, no intuito de identificar diretrizes urbanas capazes de contribuir na melhoria térmica do microclima. Num primeiro momento, houve certa dificuldade em encontrar trabalhos desenvolvidos na mesma escala climática e urbana adotada no trabalho, visto que a metodologia originalmente foi desenvolvida com a finalidade de prover informações climáticas na escala da cidade, com resolução típica de 100m (ACERO *et al.*, 2013).

Contudo sua abordagem multidisciplinar permitiu a adaptação da escala de análise original para a pretendida. O bom nível de detalhamento e a estruturação da metodologia elaborada por Ferreira (2014) possibilitou sua reaplicação no contexto urbano da cidade de Vitória. É importante salientar que a facilidade de acesso e obtenção de dados geográficos no portal da PMV, consistiu em fator preponderante para a realização desta pesquisa.

Cabe salientar que a construção do mapa de potencial de aquecimento depende da utilização de ferramenta SIG e da disponibilidade de informações geográficas



atualizadas a respeito do ambiente urbano e seus elementos naturais. Em virtude disto, acredita-se que em certas localidades seja inviável sua aplicação, visto que alguns municípios ainda não dispõem de estrutura para o fornecimento de dados georreferenciados acerca do seu contexto urbano.

Nesse sentido, foram verificadas algumas vantagens com o uso do *software* QGIS principalmente no que diz respeito ao tratamento e possibilidades de análise dos dados. A disponibilidade e diversidade de *plugins* no ambiente do QGIS se mostrou benéfica para o desenvolvimento da pesquisa. O uso destas ferramentas permitiu a aceleração do processo de produção dos mapas básicos e temáticos e, ainda, reduziu a quantidade de trabalho de campo.

A título de exemplo, destaca-se o uso da ferramenta UMEP que possibilitou a criação do Mapa de FVC a partir do processamento digital de informações geográficas do contexto, descartando a necessidade de realizar um levantamento fotográfico da área de estudo e, em seguida, o cálculo do fator de obstrução da visão do céu para cada uma das imagens.

Destaca-se que houve dificuldade em melhorar a resolução do mapa de potencial de aquecimento gerado pelo modelo, devido a limitação de cunho técnico. No entanto, é importante salientar que tais restrições não comprometeram a representação e análise das informações mapeadas.

Por outro lado, ressalta-se que a metodologia adotada na pesquisa apresenta certo nível de subjetividade, uma vez que há a necessidade em se atribuir pesos aos parâmetros avaliados. Além disso, esse procedimento pressupõe um conhecimento prévio a respeito da dinâmica climática urbana e sua correlação com os diversos elementos do desenho urbano (REN *et al.*, 2011). Justamente por isso, no escopo preliminar do método foi optado por adotar o mesmo peso para os diversos parâmetros analisados e, posteriormente, adaptá-los em função dos resultados verificados no monitoramento climático.

Um importante aspecto evidenciado nos resultados da pesquisa, é a necessidade de validação do modelo preditivo com base em informações climáticas do local avaliado. Considerando que a metodologia de mapeamento adota uma abordagem



de análise qualitativa a respeito dos aspectos que impactam a carga térmica urbana, nota-se que os dados obtidos com o trabalho de campo foram primordiais para a acurácia e confiabilidade das observações verificadas a partir do modelo.

A coleta dos dados climáticos por meio da inserção de miniestações na área de estudo, permitiu verificar, em nível de detalhe, a variabilidade espaço-temporal do microclima do recorte e identificar a contribuição de cada parâmetro para o potencial de aquecimento, nos diferentes períodos avaliados (manhã, tarde e noite). É oportuno salientar que o método de monitoramento de transectos móveis atendeu a demanda por uma quantidade maior de pontos de observação. Contudo, foram identificadas algumas limitações devido a restrição do levantamento climático em vias que permitem o acesso de automóveis.

Em virtude da realização da coleta a partir do sensor acoplado em carro de passeio, não foi possível obter dados climáticos em algumas áreas do recorte como, por exemplo, no interior de praças e quadras. Para trabalhos futuros, o uso da bicicleta como meio de deslocamento ao longo do transecto pode ser uma possível solução para essa demanda. O método permite uma boa agilidade no processo de deslocamento ao longo dos pontos de coleta e, ainda, possibilita o acesso a áreas restritas ao automóvel.

Infelizmente, às 09h00 do primeiro dia de monitoramento, não foi possível realizar o transecto C, em virtude de intercorrências verificadas no tráfego local que impediram a realização da coleta dentro do limite temporal estabelecido na pesquisa. Novamente, percebe-se que o uso da bicicleta pode evitar tais ocorrências, tendo em vista sua independência do fluxo de veículos local.

O uso de equipamentos de medição que permite a realização de leituras automáticas se mostrou de extrema importância para o monitoramento das variáveis de temperatura e umidade do ar, visto que a autonomia do aparelho deu mais dinâmica e versatilidade ao trabalho de campo. Desse modo, durante o período de coleta foi possível realizar observações a respeito da dinâmica climática local. Ademais, a inclusão de dados referentes a direção e velocidade dos ventos às medições, pode ser útil para a análise climática.



Os resultados obtidos na pesquisa reiteram a correlação entre a qualidade da ambiência urbana e o potencial térmico e dinâmico resultante das diferentes configurações urbanas encontradas na região de estudo. Sobretudo, evidencia a importância em se considerar o estudo do clima urbano no processo de planejamento e gestão das cidades, tanto para áreas já consolidadas como em regiões em expansão.

Assim como observado em outros estudos de mapeamento climático urbano, mesmo àqueles realizados em escala climática distinta da utilizada nesta pesquisa, a presença de áreas verdes mostrou-se essencial para a promoção de condições ambientais mais favoráveis ao conforto térmico humano. Por sua vez, pôde ser percebido o efeito negativo para a carga térmica ocasionado pelo aumento do volume construído e uso de materiais de alta emissividade (FERREIRA, 2014; SOUZA; KATZSCHNER, 2018; LIMA JÚNIOR; ZANELLA, 2019; FERREIRA; ASSIS; KATZSCHNER, 2019).

Em especial na região avaliada, foi verificado o efeito positivo da ventilação urbana e do sombreamento ocasionado pela arborização e pelas construções, na mitigação dos efeitos adversos da carga térmica local. Contudo, ressalta-se que tais observações foram realizadas em situação sazonal de inverno. Logo, para uma elucidação mais abrangente, faz-se necessário uma reavaliação de tais parâmetros sob outras condições climáticas (principalmente na estação quente e úmida).

Como desdobramentos futuros da pesquisa pretende-se aplicar a metodologia desenvolvida em situação sazonal de verão, no intuito de avaliar o comportamento da dinâmica climática da área de estudo neste período do ano e identificar eventuais necessidades de ajustes na calibração dos pesos atribuídos aos parâmetros. Além disso, com a validação do modelo proposto, é possível a elaboração de novos trabalhos que explorem a análise do potencial de aquecimento associada a simulação de cenários futuros de crescimento do bairro.

Ademais, sugere-se a aplicação da metodologia de mapeamento climático em outras áreas do município de Vitória, com o objetivo de avaliar a influência das diferentes configurações urbanas na carga térmica destes locais. Nesse sentido, pode-se



---

comparar o potencial de aquecimento de recortes com arranjos superficiais distintos e avaliar a eficiência das soluções de desenho urbano adotadas.

06

---

**REFERÊNCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS**



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACERO, J. A.; ARRIZABALAGA, J.; KUPSKI, S.; KATZSCHNER, L. Deriving an Urban Climate Map in coastal areas with complex terrain in the Basque Country (Spain). In: **Urban Climate**, v. 4, p. 35–60, 2013. Doi: 10.1016/j.uclim.2013.02.002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095513000230>>. Acesso em: 20 set. 2021.

AKASAKA, H. 1990/1991. A study on drawing climatic map related to human thermal sensation. In: **Energy and Buildings**, v. 16, p. 1011–1023, 1991. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037877889190096>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

ALCOFORADO, M.; ANDRADE, H.; LOPES, A.; VASCONCELOS, J. Application of climatic guidelines to urban planning: The example of Lisbon (Portugal). In: **Landscape and Urban Planning**, v. 90, p. 0–65, 2009. Doi: 10.1016/j.landurbplan.2008.10.006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204608001746>>. Acesso em: 21 set. 2021.

ARAÚJO, B. C. D. de; CARAM, R. Análise ambiental: estudo bioclimático urbano em centro histórico. In: **Ambiente & Sociedade**, v. IX, n. 1, 2006. Doi: 10.1590/S1414-753X2006000100008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/asoc/a/KyLqb6MKPnZyDQSDbmfZCbs/abstract/?lang=pt>>. Acesso em 28 set. 2020.

ASSIS, W. L. **O Sistema Clima Urbano do Município de Belo Horizonte da Perspectiva Têmporo-Espacial**. 2010. 299 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma nº 15220: Desempenho térmico de edificações**. Parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5660736/mod\\_folder/content/0/NBR%2015220/NBR15220-2.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5660736/mod_folder/content/0/NBR%2015220/NBR15220-2.pdf?forcedownload=1)>. Acesso em: 11 set. 2021.

\_\_\_\_\_. **Norma nº 15220: Desempenho térmico de edificações**. Parte 2: métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5660736/mod\\_folder/content/0/NBR%2015220/NBR15220-2.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5660736/mod_folder/content/0/NBR%2015220/NBR15220-2.pdf?forcedownload=1)>. Acesso em: 31 ago. 2021.

\_\_\_\_\_. **Norma nº 15220: Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5660736/mod\\_folder/content/0/NBR%2015220/NBR15220-2.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5660736/mod_folder/content/0/NBR%2015220/NBR15220-2.pdf?forcedownload=1)>. Acesso em: 11 set. 2021.

AZEREDO, D. F., BRANDÃO, A. M. de P. M. O bairro Méier-RJ: O campo térmico e a percepção ambiental dos moradores em episódio de verão e inverno. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 4, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, Climageo/UFRJ, 2000 (caderno de resumos) p. 38.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C.; TORRES, S. **Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: EDUFAL, 2016. 201 p.

BARBOSA, R. V. R.; ROCHA, D. D. Elaboração de mapa climático como subsídio ao planejamento urbano-ambiental. In: Gabriel Castañeda Nolasco (Org.) **Visiones iberoamericanas hacia el hábitat sustentable**, 1 Ed., Universidad Autónoma de Chiapas, 250f., 2016.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. In: **Geusp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016. Doi:



- 10.11606/issn.21790892.geosp.2016.97783. Disponível em:  
<<http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/97783>>. Acesso em: 20 mar. 2021.
- BAUMÜELLER, J.; ESSWEIN, H.; HOFFMANN, U.; REUTER, U.; WEIDENBACHER, S.; NAGEL, T.; FLASSAK, T. Climate atlas of a metropolitan region in germany based on gis. In: **The seventh International Conference on Urban Climate**, Yokohama-Japão, 2009. Disponível em:  
<[http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended\\_abstracts/pdf/375531-2-090501005214-002.pdf](http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/375531-2-090501005214-002.pdf)>. Acesso em 12 set. 2021.
- BAUMÜLLER, J. **A summary of key issues**. In: NG, E.; REN, C (Org.). The urban climate map: a methodology for sustainable urban planning. New York: Routledge, 2015. 528 p.
- BERNABÉ, A. C. A.; ALVAREZ, C. E. de; SOUZA, A. D. S. Verticalização Eficiente: proposta de uma edificação verticalizada para a cidade de Vitória (ES) alicerçada nos conceitos da sustentabilidade em arquitetura. In: **V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre edificações e Comunidades Sustentáveis**, Recife-PE, 2009. Disponível em:  
<[https://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/2009\\_artigo\\_201.PDF](https://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/2009_artigo_201.PDF)>. Acesso em 12 set. 2021.
- BONATTO, D. A. M. Infraestrutura verde: contribuição para o planejamento urbano e regional. In: Martins, B.C.(Org.). **Melhores Práticas em Planejamento Urbano e Regional**. 1ª. ed. Atena Editora, Ponta Grossa, pp. 339-351, 2019.
- BRANEA, A. M.; DANCIU, M. I.; KELLER, A.; BADESCU, S.; GAMAN, M. S. GABRIELA, P. Urban heat island - state of the art review. In: **Risk Reduction for Resilient Cities**, Bucharest, 2006. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/309739903\\_Urban\\_heat\\_island\\_-\\_state\\_of\\_the\\_art\\_review](https://www.researchgate.net/publication/309739903_Urban_heat_island_-_state_of_the_art_review)>. Acesso em: 27 set. 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Mudança ao Clima: volume 1: estratégia geral: portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016/ Ministério do Meio Ambiente**. Brasília, MMA, 44 p., 2016. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80182/PNA\\_Volume%201.pdf](https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80182/PNA_Volume%201.pdf)>. Acesso em: 06 fev. 2020.
- CHANDLER, T. J. Urban climatology and its relevance to urban design. Technical Note nº 149. Geneva: **World Meteorological Organization**, 1976. 61 p.
- CHEN, Y.; LO, T.; SHIH, W.; LIN, T. Interpreting air temperature generated from urban climatic map by urban morphology in Taipei. In: **Theoretical and Applied Climatology**, v. 137, p. 2657-2662, 2019. Doi: 10.1007/s00704-018-02764-x. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-018-02764-x>>. Acesso em: 20 set. 2021.
- CIDADE-BRASIL. Estado do Espírito Santo. Município de Vitória. 2021. Disponível em:  
<<https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-vitoria.html>>. Acesso em: 19 set. 2021.
- CORREA, W. de S. C. **Campo térmico e higrométrico da Regional Praia do Canto no município de Vitória (ES)**. 165 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.
- CORREA, W. S. C.; VALE, C. C. do. Contribuição à compreensão do campo térmico da regional Praia do Canto, em Vitória (ES) pela metodologia de transectos. In: **Ra e Ga – O Espaço Geográfico em Análise**, v. 38, p. 50 – 81, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/41854>. Acesso em: 08 mar. 2020.
- DEBIAZI, P. R. **Mapeamento do ambiente térmico e suas relações com os parâmetros do entorno urbano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.
- DEL RIO, V. **Introdução ao desenho urbano no processo de planejamento**. São Paulo, Pini, 1990.
- DESPLAT, J.; SALAGNAC, J. L.; KOUNKOU, R.; LEMONSU, A.; COLOMBERT, M.; LAUFFENBURGER, M.; MASSON, V. EPICEA PROJECT [2008-2010] multidisciplinary study of the



impacts of climate change on the scale of paris. In: **The seventh International Conference on Urban Climate**, Yokohama-Japão, 2009. Disponível em:  
<<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.521.8949&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em 12 set. 2021.

DOIS dias de alerta para calor extremo. **CLIMATEMPO**, São Paulo, 19 set. 2019. Notícias. Disponível em:<<https://www.climatempo.com.br/noticia/2019/09/19/dois-dias-de-alerta-para-calor-extremo-8548>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

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. 167f. Tese (Livre Docência – Departamento de Tecnologia) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2015.

ELIASSON, I. The use of climate knowledge in urban planning. **Landscape and Urban Planning**, 48(1-2), 31–44, 2000. DOI 10.1016/s0169-2046(00)00034-7. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204600000347>. Acesso em: 18 fev. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Clima. [s.d.]. Disponível em:  
<<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 11 set. 2021.

FERREIRA, C. de C. M. Modelo para análise das variáveis de cobertura da terra e a identificação de microclimas, em centros urbanos. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 10, v. 14, p. 50-75, 2014.

FERREIRA, G. D.; ELEONORA, S. de A.; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. In: **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, vol. 9, n. 1, p. 255-270, 2017. Disponível em:  
<[https://www.researchgate.net/publication/320740977\\_Construcao\\_de\\_um\\_mapa\\_climatico\\_analitico\\_para\\_a\\_cidade\\_de\\_Belo\\_Horizonte\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/320740977_Construcao_de_um_mapa_climatico_analitico_para_a_cidade_de_Belo_Horizonte_Brasil)>. Acesso em: 20 set. 2021.

FERREIRA, C. de M.; PIMENTEL, F. de O.; VIANNA, Y. C. G. Proposta metodológica aplicada ao estudo do clima urbano. In: **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, p. 2023-2040, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/240228>>. Acesso em: 18 fev. 2020.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira**. Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2009, 248f.

\_\_\_\_\_. Unidades climáticas urbanas: o caso da Ilha do Governador-RJ. In: **Revista de C Humanas**, v. 10. P. 26-46, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/RCH/article/view/3493>>. Acesso em: 20 set. 2021.

\_\_\_\_\_. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. In: **Revista ACTA Geográfica**, p. 61-76, 2012. Doi: 10.5654/actageo2012.0002.0004. Disponível em:  
<<https://revista.ufrb.br/index.php/actageo/article/view/1094>>. Acesso em: 08 mar. 2020.

FIALHO, E. S.; QUINA, R. R.; ALVEZ, R. de S.; MIRANDA, J. D. E. C. O campo térmico em situação sazonal de verão, no município de Viçosa-MG. In: **Revista Geografias, Edição Especial - III Seminário de Geografia Reflexões sobre o III Seminário de Geografia**, 2015. Doi: 10.35699/2237-549X%20..15836 Disponível em:  
<<https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/15836>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

FIALHO, E. S.; CELESTINO, E. J.; ROBSON, R. Q. O campo térmico em situação episódica de primavera em uma cidade de pequeno porte, na zona da mata mineira: um estudo de caso em Cajuri-MG. In: **Revista de Geografia**, Recife, v. 33, n. 4, p. 299-318, 2016. Disponível em:  
<<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia>>. Acesso em 20 mar. 2021.

FIALHO, E. S.; FERNANDES, L. A.; CORREA, W. de S. C. Climatologia urbana: conceitos, metodologias e técnicas. In: **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 15, 2019. Doi:



10.5380/abclima.v0i0.65748. Edição Especial – XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/65748>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

FOLI, A. C. A.; LUIZ, G. C. A utilização de transectos móveis na análise climática urbana: ensaio metodológico aplicado à cidade de Ituiutaba-MG no inverno de 2018. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada**, Fortaleza, 2019. Disponível em: <<http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/306.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2021.

GEHL, J. Cidade para pessoas. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013. 280 p.

GEOWEB. GeoWeb Vitória. **Download**. Shapefile. Disponível em: <<https://geoweb.vitoria.es.gov.br/#/shp>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: 19 ago. 2021.

GIRIDHARAN, R.; GANESAN, S.; LAU S. S. Y. Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong. In: **Energy and Buildings**, v. 36, p. 525-534, 2004. Doi: 10.1016/j.enbuild.2003.12.016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778804000684>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

GRIGOLETTI, G. de C.; FLORES, M. G.; SANTOS, J. C. P. dos. Tratamento de dados climáticos de Santa Maria, RS, para análise de desempenho térmico de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 123-141, jan./mar. 2016. DOI <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100064>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ac/a/Kh9W8XZtBvpJc7R8rmPvscD/?lang=pt>>. Acesso em 12 set. 2021.

HE, X.; SHEN, S.; MIAO, S.; DOU, J.; ZHANG, Y. Quantitative detection of urban climate resources and the establishment of an urban climate map (UCMap) system in Beijing. In: **Building and Environment**, v. 92, p. 668–678, 2015. Doi: 10.1016/j.buildenv.2015.05.044. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132315300159>>. Acesso em: 20 set. 2021.

HOW the Boolean math tools work. **ArcGis Pro**. Resources. Tool Reference. Geoprocessing Tools. Image Analyst toolbox. Math toolset. Logical. Logical toolset concepts. [s.d.]. Disponível em: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/image-analyst/h-how-boolean-math-tools-work.htm>>. Acesso em: 21 ago 2021.

HOUET, T.; PIGEON, G. Mapping urban climate zones and quantifying climate behaviors – An application on Toulouse urban area (France). In: **Environmental Pollution**, v. 159, p. 2180–2192, 2011. Doi: 10.1016/j.envpol.2010.12.027. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749110005932?via%3Dihub>. Acesso em: 05 mar. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>>. Acesso em: 19 set. 2021.

\_\_\_\_\_. **Área da unidade territorial: Área territorial brasileira 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/vitoria/panorama>>. Acesso em: 19 set. 2021.

\_\_\_\_\_. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/vitoria/panorama>>. Acesso em: 19 set. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas**. Clima. Normais climatológicas. Gráficos. Espírito Santo. Vitória (83648). Disponível em: <<https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>>. Acesso em: 19 set. 2021a.



\_\_\_\_\_. **Estação: Vitória (A612)**. Dados Meteorológicos. Tabela de Dados das Estações. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>>. Acesso em: 16 set. 2021b.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CEPTEC). Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA). **Meteosat (copyright 2010-2012 EUMETSAT)**. Disponível em:

<<http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat.formulario.logic?i=br>>. Acesso em: 16 set. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Special report on Climate Change and Land: Summary for policymakers**. IPCC, Geneva, Switzerland, 41 p., 2019. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/>>. Acesso em: 01 fev. 2020.

JACOBS, J. **Morte e vida de grandes cidades**. 2ª ed. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2009.

JÉZÉQUEL, A.; DÉPOUES, V.; GUILLEMOT, H.; TROLLIET, M.; VANDERLINDEN, J.; YIOU, P. Behind the veil of extreme event attribution. **Climatic Change**, v. 149, p. 367-383, 2018. DOI 10.1007/s10584-018-2252-9. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-018-2252-9#:~:text=The%20attribution%20of%20a%20class,events%20above%20a%20certain%20threshold>>. Acesso em: 20 set. 2021.

KATZSCHNER, L. The urban climate as a parameter for urban development. In: **Energy and Buildings**, v.11, n.1-3, p.137-147, 1988. Doi:10.1016/0378-7788(88)90030-8. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0378778888900308>>. Acesso em: 21 set. 2021.

\_\_\_\_\_. The contribution of urban climate studies to a new urbanity. **Anais Encac**, 1997.

\_\_\_\_\_. The use of urban climate maps for thermal comfort analysis in hot climates. In: **Habiter les Deserts**, Ecole Polytechnique d'Architecture, Algier, p. 84 – 95, 2006.

\_\_\_\_\_. **On the issue of scales of urban climatic maps**. In: NG, E.; REN, C. (Org.). The urban climate map: a methodology for sustainable urban planning. New York: Routledge, 2015. 528 p.

KOWALSKI, L. F.; SILVA, V. H. N.; SILVA, T. M. da; MASIERO, E.; RÍSPOLI, I. A. G. Relação entre o albedo e a taxa de evaporação de pavimentos frios com características drenantes. In: **9º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**, (PLURIS 2021 Digital), 2021. Disponível em: <<https://pluris2020.faac.unesp.br/Paper1120.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2021.

LAMBERTS, R.; MACIEL, A. A. Analysis SOL-AR. Versão 6.2 Florianópolis: UFSC, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2021. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 05 set. 2021.

LAMAS, J. M. R. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. 7. ed., Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981.

LECONTE, F.; BOUYER, J.; CLAVERIE, R.; PÉTRISSANS, M. Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile measurements. In: **Building and Environment**, v. 83, p. 39–49, 2015. Doi: 10.1016/j.buildenv.2014.05.005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132314001413>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

LEMOS, de O. L.; OSCAR JÚNIOR, A. C.; MENDONÇA, de A. F. Urban climate maps as a public health tool for urban planning: The case of dengue fever in Rio De Janeiro/Brazil. In: **Urban Climate**, v. 35, 100749, 2021. Doi:10.1016/j.uclim.2020.100749. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095520306635>>. Acesso em: 27 set. 2021.



- LI, H. Reflective Pavements and Albedo. In: LI, H (Org.). **Pavement Materials for Heat Island Mitigation**. Butterworth-Heinemann, p. 47–78, 2016. Doi:10.1016/b978-0-12-803476-7.00004-0. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128034767000040>>. Acesso em: 28 set. 2021.
- LIMA JÚNIOR, A. F. **Análise espaço-temporal da dengue em Fortaleza e sua relação com o clima urbano e variáveis socioambientais**. 169f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Fortaleza, 2018.
- LIMA JÚNIOR, A. F.; ZANELLA, M. A. Urban climatic map da cidade de Fortaleza/CE. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Fortaleza, 2019. Disponível em: <<http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/339.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2021.
- LINDBERG, F.; GRIMMOND, C.S.B. Continuous sky view factor maps from high resolution urban digital elevation models. In: **Climate Research**, v. 42, p. 177-183, 2010. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Continuous-sky-view-factor-maps-from-high-urban-Lindberg-Grimmond/c91d2d51b667be36fa49e580c57ec31070484a83>>. Acesso em: 16 out. 2021.
- LINDBERG, F.; GRIMMOND, C.S.B.; GABEY, A.; HUANG, B.; KENT, C.W.; SUN, T.; THEEUWES, N.; JÄRVI, L.; WARD, H.; CAPEL-TIMMS, I.; CHANG, Y.Y.; JONSSON, P.; KRAVE, N.; LIU, D.; MEYER, D.; OLOFSON, F.; TAN, J.G.; WÄSTBERG, D.; XUE, L.; ZHANG, Z. Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP) - An integrated tool for city-based climate services. **Environmental Modelling and Software**, v. 99, p. 70-87, 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.020>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815217304140>>. Acesso em: 29 ago. 2021.
- LINDBERG, F.; GRIMMOND, C. S. B.; GABEY, A.; JARVI, L.; KENT, C. W.; KRAVE, N.; SUN, T.; WALLEMBERG, N.; WARD, H. C. **Urban Multi-Scale Environmental Predictor (UMEP) Manual**. University of Reading UK, University of Gothenburg Sweden, SIMS China. 2019. Disponível em: <<https://umep-docs.readthedocs.io/>>. Acesso em: 29 ago. 2021.
- LIU, S.; SONG, D.; YU, BO. The objective and methodology of urban climate map for the city of Xiamen. In: **Procedia Engineering**, v. 180, p. 462-470, 2017. Doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.205. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817317125>>. Acesso em: 27 set. 2021.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles – o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985, 244 p.
- LUCENA, A. J. de; BRANDÃO, A. M. de P. M. O campo térmico em Bangu (RJ) em situações sazonais de verão e outono In: **Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, 4, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, Climageo/UFRJ, 2000 (caderno de resumos) p. 29.
- MACHADO, L. A.; ASSIS, W. L. Proposta metodológica de mapeamento de unidades topoclimáticas. In: **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 13, v. 21, p. 186-204. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/50779>. Acesso em: 04 mar. 2020.
- MALHEIROS, T. dos S., BRANDÃO, A. M. de P. M. O bairro de Copacabana (RJ): O campo térmico e a percepção ambiental em uma situação de verão e inverno. In: **Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, 4, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, Climageo/UFRJ, 2000 (caderno de resumos) p. 88.
- MARICATO, E. **Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana**. 7. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2013. 208 p.
- MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). **Cartas sinóticas**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>>. Acesso em: 16 set. 2021.



- MARTINEZ, J. M. Estudio de la isla de calor de la ciudad de Alicante. In: **Investigaciones Geográficas**, n. 62, p. 83 – 99, 2014. Doi: 10.14198/INGEO2014.62.06. Disponível em: <<https://www.investigacionesgeograficas.com/article/view/2014-n62-estudio-de-la-isla-de-calor-de-la-ciudad-de-alicante>>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- MASCARÓ, L. **Ambiência urbana – urban environment**. 2. ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2004. 199 p.
- MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. J. **Vegetação urbana**. 2. ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2010. 204 p.
- MASIERO, E. SOUZA, L. C. L. Clima urbano e estabelecimento de diretrizes para cenários de ocupação do solo. In: **Cadernos Zygmunt Bauman**, v. 8, n. 18, 2018. Disponível em: <http://www.periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/bauman/article/viewFile/10137/6256>. Acesso em: 05 mar. 2020.
- MATZARAKIS, A.; MAYER, H. Heat stress in Greece. In: **International Journal of Biometeorology**, v.41, p.34-39, 1997. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/13892060\\_Heat\\_stress\\_in\\_Greece](https://www.researchgate.net/publication/13892060_Heat_stress_in_Greece)>. Acesso em 20 set. 2021.
- MATZARAKIS, A. Climate and bioclimate information for tourism in Greece. **Proceedings of the first international workshop on climate, tourism and recreation**, ed. by A. Matzarakis and C. R. de Freitas. International Society of Biometeorology, Commission on Climate Tourism and Recreation. 171-183. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/233758777\\_Proceedings\\_of\\_the\\_First\\_International\\_Workshop\\_on\\_Climate\\_Tourism\\_and\\_Recreation](https://www.researchgate.net/publication/233758777_Proceedings_of_the_First_International_Workshop_on_Climate_Tourism_and_Recreation)>. Acesso 25 mar. 2021.
- MELO, J. D. de. **Caracterização climática da cidade de Maceió como subsídio a decisões de planejamento**. 147 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.
- MENDONÇA, Francisco. Estudo do clima urbano no Brasil: evolução, tendências e alguns desafios. In: \_\_\_\_\_. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192 p.
- MILLS, G. Introdução. In: NG, E.; REN, C (Org.). **The urban climate map: a methodology for sustainable urban planning**. New York: Routledge, 2015. 528 p.
- MINELLA, F. O.; ROSSI, F. A, KRÜGER, E. L. Influência do fator de visão do céu no conforto térmico em duas situações urbanas distintas. In: **X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Natal-RN, 2009. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/322990311\\_INFLUENCIA\\_DO\\_FATOR\\_DE\\_VISAO\\_DO\\_CEU\\_NO\\_CONFORTO\\_TERMICO\\_EM\\_DUAS\\_SITUACOES\\_URBANAS\\_DISTINTAS](https://www.researchgate.net/publication/322990311_INFLUENCIA_DO_FATOR_DE_VISAO_DO_CEU_NO_CONFORTO_TERMICO_EM_DUAS_SITUACOES_URBANAS_DISTINTAS)>. Acesso em: 20 set. 2021.
- MONTEIRO, C. A. de F. Teoria e Clima Urbano: um projeto e seus caminhos. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. de F. (orgs). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003, 192p.
- MORA, C. A synthetic map of the climatopes of the Serra da Estrela (Portugal). In: **Journal of Maps**, 6:1, p. 591-608, 2010. Doi: 10.4113/jom.2010.1112. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.4113/jom.2010.1112>>. Acesso em: 20 mar. 2020.
- MOREIRA, A. B.; NÓBREGA, R. S.; MENDES, T. G. de L.; SANTOS, P. F. C. dos; ZAMPARONI, C. A. G. P. O fator de visão do céu e o clima urbano na cidade do Recife-PE/Brasil. In: **Revista Brasileira de Climatologia**. Doi: 10.5380/abclima.v28i0.71518. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14338/7690>>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, ENGINEERING AND MEDICINE. **Attribution of extreme weather events in the context of climate change**. Washington, DC: The National Academies Press, 2016. Doi: 10.17226/21852.



- NERY, J.; FREIRE, T.; ANDRADE, T.; KATZSCHNER, L. Thermal comfort studies in a humid tropical city. In: **Preprints of the Sixth International Conference on Urban Climate**, (p. 234-237), 2006. Göteborg: ICUC.
- NG, E. Towards planning and practical understanding of the need for meteorological and climatic information in the design of high-density cities: A case-based study of Hong Kong. **International Journal of Climatology**, v 32, 582–598, 2012. DOI:10.1002/joc.2292. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.2292>. Acesso em: 18 fev. 2020.
- NG, E.; REN, C. **The urban climatic map: a methodology for sustainable urban planning** / edited by Edward Ng and Chao Ren. New York: Routledge, 2015. 543 p.
- NORTON, B. A.; COUTTS, A. M.; LIVESLEY, S. J.; HARRIS, R. J.; HUNTER, A. M.; WILLIAMS, N. S. G. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. In: **Landscape and Urban Planning**, v. 134, p. 127–138, 2015. Doi: 10.1016/j.landurbplan.2014.10.018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204614002503>>. Acesso em: 18 fev. 2020.
- OLIVEIRA, W. D.; ALOCCA, R. de A.; FIALHO, E. S. Análise de transects móveis noturnos: contribuições ao estudo da ilha de calor em áreas litorâneas. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, Juiz de Fora, 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/329378101\\_ANALISE\\_DE\\_TRANSECTS\\_MOVEIS\\_NOTURNOS\\_CONTRIBUICOES\\_AO\\_ESTUDO\\_DA\\_ILHA\\_DE\\_CALOR\\_EM\\_AREAS\\_LITORANEAS](https://www.researchgate.net/publication/329378101_ANALISE_DE_TRANSECTS_MOVEIS_NOTURNOS_CONTRIBUICOES_AO_ESTUDO_DA_ILHA_DE_CALOR_EM_AREAS_LITORANEAS)>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- OKE, T.R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. In: **Journal of climatology**, v. 1, p. 237-254, 1981. Doi: 10.1002/joc.3370010304 Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3370010304>>. Acesso em: 25 set. 2021.
- \_\_\_\_\_. Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. In: **Energy and Buildings**, v.7, p.1–10, 1984. DOI:10.1016/0378-7788(84)90040-9. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/223762484\\_Towards\\_a\\_prescription\\_for\\_the\\_greater\\_use\\_of\\_climatic\\_principles\\_in\\_settlement\\_planning/citations](https://www.researchgate.net/publication/223762484_Towards_a_prescription_for_the_greater_use_of_climatic_principles_in_settlement_planning/citations)>. Acesso em: 20 set. 2021.
- \_\_\_\_\_. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. Reimpressão. New York: Routledge, 2002. 464 p.
- OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban Climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 546 p.
- ONDAS de calor na Europa provoca temperaturas recordes. **CLIMATEMPO**, São Paulo, 26 jul. 2019. Notícias. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2019/07/26/onda-de-calor-na-europa-provoca-temperaturas-recordes-6881>>. Acesso em: 03 de fev. 2020.
- PASZYNSKI, J. Mapping urban topoclimates. In: **Energy Build**, v. 16, p. 1059–1062, 1990/91. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0378778891900990>>. Acesso em: 20 set. 2021.
- PRATA-SHIMOMURA, A.; LOPES, A.; EZEQUIEL, C. **Urban Climatic Map Studies in Brazil: Campinas**. In: NG, E.; REN, C (Org.). **The urban climate map: a methodology for sustainable urban planning**. New York: Routledge, 2015. 528 p.
- PIMENTEL, F. de O. **Clima urbano: o uso de modelos geoespaciais na investigação do comportamento térmico em Juiz de Fora-MG**. 142f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.
- QGIS 3.16. Geographic Information System. QGIS Association. Disponível em: <http://www.qgis.org>>. Acesso em: 30 ago. 2021.



- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **User/Guide manual (QGIS 2.14)**. 2014. Disponível em: <[https://docs.qgis.org/2.14/pt\\_BR/docs/user\\_manual/preamble/preamble.html](https://docs.qgis.org/2.14/pt_BR/docs/user_manual/preamble/preamble.html)>. Acesso em: 29 set. 2021.
- REN, C.; NG, E.; KATZSCHNER, L. Urban climatic map studies. In: **International Journal of Climatology**, 31, p. 2213 – 2233, 2011. Doi: 10.1002/joc.2237. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.2237>. Acesso em: 29 fev. 2020.
- REN, C.; LAU, K. L.; YIU, K. P.; NG, E. The application of urban climatic mapping to the urban planning of high-density cities: The case of Kaohsiung, Taiwan. In: **Cities**, v. 31, p. 1–16, 2013. Doi: 10.1016/j.cities.2012.12.005. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/257097202\\_The\\_application\\_of\\_urban\\_climatic\\_mapping\\_to\\_the\\_urban\\_planning\\_of\\_high-density\\_cities\\_The\\_case\\_of\\_Kaohsiung\\_Taiwan#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/257097202_The_application_of_urban_climatic_mapping_to_the_urban_planning_of_high-density_cities_The_case_of_Kaohsiung_Taiwan#fullTextFileContent)>. Acesso em: 20 set. 2021.
- REN, C. **A review of the historical development of urban climatic map study**. In: NG, E.; REN, C (Org.). *The urban climate map: a methodology for sustainable urban planning*. New York: Routledge, 2015. 528 p.
- RIBEIRO, C. A. de M.; CARVALHO, H. J M. de; SANTOS, M. A. dos. Metodologia para análise de sombreamento em centros urbanos. In: **III Simpósio Brasileiro De Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife-PE, 2010, p. 1-9.
- RIBEIRO, C. A. de M. **Atualização e aprofundamento do mapa de análises climáticas do município de João Pessoa – Paraíba**. 157f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.
- ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013. 171p.
- RORIZ M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. ANTAC: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto Ambiental e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, 2012. Disponível em: <[https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta\\_Revisao\\_Zoneamento\\_Bioclimatico.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta_Revisao_Zoneamento_Bioclimatico.pdf)>. Acesso em 29 set. 2021.
- \_\_\_\_\_. **Classificação de climas do Brasil – versão 3.0**. ANTAC: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto Ambiental e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, 2014. Disponível em: <[https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas\\_v3.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v3.pdf)>. Acesso em 29 set. 2021.
- SANTOS, A. de P. dos; MEDEIROS, N. das G.; SANTOS, G. R. dos; RODRIGUES, D. D. Avaliação da acurácia posicional planialtimétrica em modelos digitais de superfície com o uso de feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, p. 157-174, 2016. DOI <https://doi.org/10.1590/S1982-21702016000100009>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bcg/a/VPkmpvTJWWvGCF7KyGtfz6r/abstract/?lang=pt#>>. Acesso em: 29 ago. 2021.
- SANTOS, J. B. dos; SANTIAGO, D. de B.; BARROS, H. G. de; AMORIM, R. F. C. Avaliação microclimática no município de Petrolina, Pernambuco, Brasil usando técnicas de sensoriamento. In: **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 5, p. 1322-1334, 2016. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/11b0/1817c989d8d471ac3bc6226791f848ea00c8.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2021.
- SCHERER, D.; FEHRENBACH, U.; PARLOW, E. Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. In: **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 4185-4193, 1999. Doi 10.1016/S1352-2310(99)00161-2. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231099001612>>. Acesso em: 21 set. 2021.



SHAPEFILES. **Portal for ArcGIS**. Use. [s. d.]. Disponível em: <<https://enterprise.arcgis.com/pt-br/portal/10.7/use/shapefiles.htm>>. Acesso em: 29 set. 2021.

SKETCHUP. Sketchup.com, 2021. Help center. Disponível em: <<https://help.sketchup.com/en/sketchup/sketchup>>. Acesso em: 24 ago. 2021.

SOUZA, V. S. **Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa**. Dissertação (Mestrado em arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

SOUZA, V. S. de; KATZSCHNER, L. Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa/PB. In: **8º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável (PLURIS 2018)**. Coimbra-Portugal, 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/328701485\\_Map\\_a\\_climatico\\_urbano\\_da\\_cidade\\_de\\_Joao\\_PessoaPB](https://www.researchgate.net/publication/328701485_Map_a_climatico_urbano_da_cidade_de_Joao_PessoaPB)>. Acesso em: 20 mar. 2021.

SOUZA, M. P. de. Prognóstico climático de inverno. **portal.inmet.com.br**, 08 set. 2020. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/noticias/progn%C3%B3stico-clim%C3%A1tico-de-inverno>>. Acesso em: 16 set. 2021.

TORK, L. D.; TIBIRIÇÁ, A. C. G.; TIBIRIÇÁ, Á. M. B. Análise da ventilação natural conforme planos diretores: resultados de pesquisa em Belém, PA. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 329-351, jan./mar. 2017. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100138>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ac/a/qbfPXZsKHvXQyVBfHFXHPc/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 12 set. 2021.

UGEDA JÚNIOR, J. C.; AMORIM, M. C. de C. T. Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. In: **Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, volume especial, p. 160-173, 2016. Doi: 10.11606/rdg.v0i0.119402. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/119402/118968>>. Acesso em: 27 set. 2021.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **The World's Cities in 2018 - Data Booklet (ST/ESA/ SER.A/417)**. UN, 34 p., 2018. Disponível em: [www.unpopulation.org](http://www.unpopulation.org). Acesso em: 06 fev. 2020.

\_\_\_\_\_. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Urbanization Prospects 2018: Highlights - Data Booklet (ST/ESA/ SER.A/417)**. UN, 38 p., 2019. Disponível em: <[www.unpopulation.org](http://www.unpopulation.org)>. Acesso em: 28 set. 2021.

VALENTE, J. Sobe o número de desabrigados e desalojados no ES por causa da chuva: o governo estadual decretou estado de emergência em 23 cidades. **Agência Brasil**. Brasília, 29 jan. 2020. Notícias. Geral. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-01/sobe-o-numero-de-desabrigados-e-desalojados-no-es-por-cao-da-chuva>>. Acesso em: 14 fev. 2020.

VALIN JUNIOR, M. de O.; SANTOS, F. M. M., RIBEIRO, K. F. A.; NOGUEIRA, M. C. de J. A.; NOGUEIRA, J. de S. Análise da relação entre abrigos meteorológicos alternativos para pontos fixos e o comportamento de variáveis termo-higrométricas. In: **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 157–179, 2018. Doi: 10.5380/abclima.v18i0.45146. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/45146>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

VALIN JUNIOR, M. de O.; SANTOS, F. M. M. Análise da utilização de abrigos termo-higrométricos alternativos para transectos móveis. In: **Engineering Sciences**, v.8, n.3, p.53-64, 2020. Doi: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.003.0006>. Disponível em: <[www.sustenere.co](http://www.sustenere.co)>. Acesso em: 20 set. 2021.

VASCONCELLOS, A. A. de. **Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2015. 229 p.

VIANNA, E. O. **O campo térmico urbano: ilhas de calor em Brasília-DF**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, 2018. 267p.



VITÓRIA. Prefeitura Municipal. **Lei N° 9.271: Plano Diretor Urbano do Município de Vitória**. Vitória, 2018, 291 p. Disponível em: <<https://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/Arquivos/2018/L9271.PDF>>. Acesso em: 02 set. 2021.

\_\_\_\_\_. **Shapefile**. Geoweb Vitória. Downloads. Vitória, 2020. Disponível em: <<https://geoweb.vitoria.es.gov.br/#/shp>>. Acesso em: 02 dez. 2020.

\_\_\_\_\_. **GeoWeb Vitória**. Vitória, 2021. Disponível em: <<https://geoweb.vitoria.es.gov.br/#/gestaocontroleurbano>>. Acesso em: 02 mar. 2021.

WANG, Z.; XING, W.; HUANG, Y.; XIE, T. Studying the Urban Heat Island using a Local Climate Zone Scheme. In: **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 25, n. 6, p. 2609-2616, 2016. Doi: 10.15244/pjoes/63672. Disponível em: <http://www.pjoes.com/Studying-the-Urban-Heat-Island-Using-na-Local-Climate-Zone-Scheme,63672,0,2.html>. Acesso em: 05 mar. 2020.

WERNECK, D.; AZEVEDO, E.; ROMERO, M. A. B. Estudo do aquecimento urbano com métodos de transecto móvel e sensoriamento remoto. In: **XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e XI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, João Pessoa, 2019. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/337567172\\_ESTUDO\\_DO\\_AQUECIMENTO\\_URBANO\\_COM\\_METODOS\\_DE\\_TRANSECTO\\_MOVEL\\_E\\_SENSORIAMENTO\\_REMOTO](https://www.researchgate.net/publication/337567172_ESTUDO_DO_AQUECIMENTO_URBANO_COM_METODOS_DE_TRANSECTO_MOVEL_E_SENSORIAMENTO_REMOTO)>. Acesso em: 20 ago. 2021.

WERNECK, D.; ROMERO, M. A. B. Análise de microclimas urbanos orientada à mitigação de ilhas de calor em áreas de comércio local do plano piloto de Brasília-Brasil. In: **8º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**, (PLURIS 2018), Coimbra-Portugal, 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/329787934\\_ANALISE\\_DE\\_MICROCLIMAS\\_URBANOS\\_ORIENTADA\\_A\\_MITIGACAO\\_DE\\_ILHAS\\_DE\\_CALOR\\_EM\\_AREAS\\_DE\\_COMERCIO\\_LOCAL\\_DO\\_PLANO\\_PILOTO\\_DE\\_BRASILIA-BRASIL](https://www.researchgate.net/publication/329787934_ANALISE_DE_MICROCLIMAS_URBANOS_ORIENTADA_A_MITIGACAO_DE_ILHAS_DE_CALOR_EM_AREAS_DE_COMERCIO_LOCAL_DO_PLANO_PILOTO_DE_BRASILIA-BRASIL)>. Acesso em: 28 set. 2021.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Global climate in 2015-2019**. 2020. Disponível em: <[https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=21718#.X67cn95KjIW](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21718#.X67cn95KjIW)>. Acesso em: 13 nov 2020.

ZHENG, Y.; REN, C.; XU, Y.; WANG, R.; HO, J.; LAU, K.; NG, E. GIS-based mapping of Local Climate Zone in the high-density city of Hong Kong. In: **Urban Climate**, 24, p. 419-448, 2018. Doi:10.1016/j.uclim.2017.05.008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095517300445?via%3Dihub>. Acesso em: 04 mar. 2020.

ZÖLCH, T.; MADERSPACHER, J.; WAMSLER, C.; PAULEIT, S. Using green infrastructure for urban climate proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. In: **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 20, p. 305–316, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866716301686>. Acesso em: 18 fev. 2020.

ZÖLCH, T.; RAHMAN, M. A.; PFLEIDERER, E.; WAGNER, G.; PAULEIT, S. Designing public squares with green infrastructure to optimize human thermal comfort. In: **Building and Environment**, v. 149, p. 640-654, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.051>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132318308096>. Acesso em: 18 fev. 2020.

# APÊNDICE



## APÊNDICE – DESCRIÇÃO DOS DADOS AFERIDOS NO MONITORAMENTO CLIMÁTICO

Tabela 14 – Dados de temperatura do ar monitorados nos transectos móveis, realizados no período da manhã.

Temperatura do ar (°C) – Período da manhã							
Data de Coleta: 13 de setembro 2021				Data de Coleta: 14 de setembro 2021			
Transecto/ Ponto	Horário	Valor registrado	Valor corrigido	Transecto/ Ponto	Horário	Valor registrado	Valor corrigido
A1	09h00	26,9°C	-	A1	09h00	27,2°C	-
A2	09h03	28,0°C	27,9°C	A2	09h03	27,5°C	27,5°C
A3	09h06	28,3°C	27,9°C	A3	09h06	27,9°C	27,9°C
A4	09h09	28,5°C	27,9°C	A4	09h09	28,1°C	28,0°C
A5	09h12	29,0°C	28,1°C	A5	09h12	28,5°C	28,3°C
A6	09h15	29,4°C	28,3°C	A6	09h15	28,5°C	28,3°C
A7	09h18	29,4°C	28,0°C	A7	09h18	28,5°C	28,2°C
A8	09h21	29,5°C	28,0°C	A8	09h21	28,5°C	28,1°C
B1	09h25	29,9°C	28,0°C	B1	09h25	28,9°C	28,5°C
B2	09h28	31,0°C	28,9°C	B2	09h28	30,0°C	29,5°C
B3	09h31	31,3°C	28,9°C	B3	09h31	30,4°C	29,8°C
B4	09h33	31,2°C	28,7°C	B4	09h34	29,7°C	29,1°C
B5	09h36	30,7°C	28,0°C	B5	09h37	29,6°C	29,0°C
B6	09h39	30,8°C	27,9°C	B6	09h40	29,9°C	29,2°C
C1	-	-	-	C1	09h44	29,8°C	29,0°C
C2	-	-	-	C2	09h48	29,3°C	28,4°C
C3	-	-	-	C3	09h51	28,8°C	27,9°C

Fonte: autora (2021).

Tabela 15 – Dados de temperatura do ar monitorados nos transectos móveis, realizados no período da tarde.

Temperatura do ar (°C) – Período da tarde							
Data de Coleta: 13 de setembro 2021				Data de Coleta: 14 de setembro 2021			
Transecto/ Ponto	Horário	Valor registrado	Valor corrigido	Transecto/ Ponto	Horário	Valor registrado	Valor corrigido
A1	15h00	32,8°C	-	A1	15h00	30,1°C	-
A2	15h03	31,7°C	31,8°C	A2	15h03	30,1°C	30,1°C
A3	15h06	29,8°C	30,0°C	A3	15h06	30,2°C	30,1°C
A4	15h09	29,6°C	29,8°C	A4	15h09	30,1°C	29,9°C
A5	15h12	29,7°C	30,0°C	A5	15h12	30,4°C	30,2°C
A6	15h15	29,9°C	30,3°C	A6	15h15	30,5°C	30,2°C
A7	15h18	29,7°C	30,1°C	A7	15h18	30,4°C	30,0°C
A8	15h21	29,4°C	29,8°C	A8	15h21	29,7°C	29,2°C
B1	15h26	29,9°C	30,5°C	B1	15h25	30,0°C	29,4°C
B2	15h29	29,8°C	30,4°C	B2	15h28	31,1°C	30,3°C
B3	15h32	30,5°C	31,2°C	B3	15h31	30,5°C	29,7°C
B4	15h35	30,5°C	31,3°C	B4	15h34	30,0°C	29,1°C
B5	15h38	29,7°C	30,5°C	B5	15h37	29,4°C	28,5°C
B6	15h41	29,3°C	30,2°C	B6	15h40	29,1°C	28,1°C
C1	15h46	29,0°C	30,1°C	C1	15h44	29,2°C	28,0°C
C2	15h51	28,1°C	29,2°C	C2	15h49	28,7°C	27,4°C
C3	15h54	27,8°C	29,0°C	C3	15h52	28,4°C	27,0°C

Fonte: autora (2021).

Tabela 16 – Dados de temperatura do ar monitorados nos transectos móveis, realizados no período da noite.

Temperatura do ar (°C) – Período da noite							
Data de Coleta: 13 de setembro 2021				Data de Coleta: 14 de setembro 2021			
Transecto/ Ponto	Horário	Valor registrado	Valor corrigido	Transecto/ Ponto	Horário	Valor registrado	Valor corrigido
A1	21h00	24,6°C	-	A1	21h00	26,9°C	-
A2	21h03	24,6°C	24,6°C	A2	21h03	26,6°C	26,6°C
A3	21h06	24,5°C	24,6°C	A3	21h06	26,1°C	26,1°C
A4	21h09	24,5°C	24,5°C	A4	21h09	25,7°C	25,8°C
A5	21h12	24,4°C	24,5°C	A5	21h12	25,5°C	25,6°C
A6	21h15	24,4°C	24,5°C	A6	21h15	25,5°C	25,5°C
A7	21h18	24,4°C	24,5°C	A7	21h18	25,5°C	25,6°C
A8	21h21	24,4°C	24,5°C	A8	21h21	25,3°C	25,4°C
B1	21h25	24,4°C	24,4°C	B1	21h25	25,3°C	25,4°C
B2	21h28	24,3°C	24,4°C	B2	21h28	25,3°C	25,4°C
B3	21h31	24,3°C	24,3°C	B3	21h31	25,3°C	25,4°C
B4	21h34	24,2°C	24,3°C	B4	21h34	25,3°C	25,4°C
B5	21h37	24,2°C	24,3°C	B5	21h37	25,2°C	25,3°C
B6	21h40	24,2°C	24,2°C	B6	21h40	25,1°C	25,2°C
C1	21h43	24,2°C	24,2°C	C1	21h44	25,1°C	25,2°C
C2	21h47	24,2°C	24,2°C	C2	21h48	25,1°C	25,2°C
C3	21h50	24,2°C	24,2°C	C3	21h51	25,1°C	25,2°C

Fonte: autora (2021).

Tabela 17 – Dados de umidade do ar monitorados nos transectos móveis, realizados no período da manhã.

Umidade do ar (%) – Período da manhã							
Data de Coleta: 13 de setembro 2021				Data de Coleta: 14 de setembro 2021			
Transecto/ Ponto	Horário	Valor registrado	Valor corrigido	Transecto/ Ponto	Horário	Valor registrado	Valor corrigido
A1	09h00	67,8%	-	A1	09h00	66,3%	-
A2	09h03	63,3%	64,2%	A2	09h03	65,5%	65,7%
A3	09h06	61,1%	62,9%	A3	09h06	63,9%	64,3%
A4	09h09	60,5%	63,1%	A4	09h09	63,7%	64,3%
A5	09h12	59,8%	63,3%	A5	09h12	62,6%	63,4%
A6	09h15	58,9%	63,2%	A6	09h15	61,7%	62,7%
A7	09h18	57,5%	62,6%	A7	09h18	61,8%	63,0%
A8	09h21	58,1%	64,1%	A8	09h21	62,0%	63,4%
B1	09h25	58,0%	65,1%	B1	09h25	61,8%	63,4%
B2	09h28	55,3%	63,3%	B2	09h28	59,1%	61,0%
B3	09h31	55,1%	64,0%	B3	09h31	58,5%	60,6%
B4	09h33	53,5%	62,9%	B4	09h34	58,4%	60,6%
B5	09h36	54,0%	64,3%	B5	09h37	58,9%	61,3%
B6	09h39	54,7%	65,8%	B6	09h40	58,5%	61,1%
C1	-	-	-	C1	09h44	58,6%	61,5%
C2	-	-	-	C2	09h48	59,5%	62,6%
C3	-	-	-	C3	09h51	61,0%	64,3%

Fonte: autora (2021).

Tabela 18 – Dados de umidade do ar monitorados nos transectos móveis, realizados no período da tarde.

Umidade do ar (%) – Período da tarde							
Data de Coleta: 13 de setembro 2021				Data de Coleta: 14 de setembro 2021			
Transecto/ Ponto	Horário	Valor registrado	Valor corrigido	Transecto/ Ponto	Horário	Valor registrado	Valor corrigido
A1	15h00	53,2%	-	A1	15h00	56,4%	-
A2	15h03	54,0%	53,7%	A2	15h03	61,3%	61,2%
A3	15h06	62,7%	62,0%	A3	15h06	62,2%	61,6%
A4	15h09	62,8%	61,7%	A4	15h09	63,3%	62,4%
A5	15h12	62,5%	60,9%	A5	15h12	62,5%	61,3%
A6	15h15	62,7%	60,6%	A6	15h15	62,0%	60,4%
A7	15h18	63,6%	61,1%	A7	15h18	62,8%	60,8%
A8	15h21	64,8%	61,8%	A8	15h21	64,6%	62,3%
B1	15h26	63,7%	60,0%	B1	15h25	64,2%	61,4%
B2	15h29	64,0%	59,8%	B2	15h28	61,5%	58,4%
B3	15h32	62,7%	58,1%	B3	15h31	62,7%	59,2%
B4	15h35	62,3%	57,2%	B4	15h34	64,0%	60,2%
B5	15h38	63,8%	58,3%	B5	15h37	65,6%	61,4%
B6	15h41	64,5%	58,6%	B6	15h40	66,9%	62,4%
C1	15h46	65,3%	58,6%	C1	09h44	66,7%	61,7%
C2	15h51	67,9%	60,5%	C2	09h49	68,4%	62,8%
C3	15h54	68,8%	60,9%	C3	09h52	69,4%	63,5%

Fonte: autora (2021).

Tabela 19 – Dados de umidade do ar monitorados nos transectos móveis, realizados no período da noite.

Umidade do ar (%) – Período da noite							
Data de Coleta: 13 de setembro 2021				Data de Coleta: 14 de setembro 2021			
Transecto/ Ponto	Horário	Valor registrado	Valor corrigido	Transecto/ Ponto	Horário	Valor registrado	Valor corrigido
A1	21h00	77,0%	-	A1	21h00	70,0%	-
A2	21h03	76,9%	76,9%	A2	21h03	69,8%	69,9%
A3	21h06	77,0%	77,0%	A3	21h06	72,6%	72,8%
A4	21h09	77,0%	76,9%	A4	21h09	73,5%	73,7%
A5	21h12	77,9%	77,7%	A5	21h12	74,5%	74,7%
A6	21h15	77,8%	77,6%	A6	21h15	74,8%	75,0%
A7	21h18	77,6%	77,4%	A7	21h18	74,5%	74,8%
A8	21h21	78,0%	77,8%	A8	21h21	76,2%	76,6%
B1	21h25	78,0%	77,6%	B1	21h25	76,6%	77,1%
B2	21h28	78,3%	77,9%	B2	21h28	76,6%	77,1%
B3	21h31	78,8%	78,3%	B3	21h31	76,6%	77,2%
B4	21h34	78,8%	78,3%	B4	21h34	76,7%	77,3%
B5	21h37	79,3%	78,7%	B5	21h37	77,3%	77,9%
B6	21h40	79,6%	79,0%	B6	21h40	77,8%	78,5%
C1	21h43	79,5%	78,8%	C1	21h44	77,8%	78,6%
C2	21h47	79,7%	78,9%	C2	21h48	78,1%	78,9%
C3	21h50	79,9%	79,1%	C3	21h51	78,6%	79,5%

Fonte: autora (2021).