



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

**GABRIELA DE SOUZA ESTEVÃO**

**MAPEAMENTO TÉRMICO URBANO DA CIDADE DE JUAZEIRO DO NORTE,  
CEARÁ**

**FORTALEZA**  
**2022**

GABRIELA DE SOUZA ESTEVÃO

MAPEAMENTO TÉRMICO URBANO DA CIDADE DE JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos obrigatórios para obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de Concentração: Natureza, Campo e Cidade no Semiárido.

Orientadora: Prof. Dra. Maria Elisa Zanella

FORTALEZA  
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- E84m Estevão, Gabriela de Souza.  
Mapeamento térmico urbano da cidade de Juazeiro do Norte, Ceará / Gabriela de Souza Estevão. –  
2022.  
155 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em  
Geografia, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Profa. Dra. Maria Elisa Zanella.
1. Clima urbano. 2. Mapeamento térmico. 3. Balanço energético. I. Título.

CDD 910

---

GABRIELA DE SOUZA ESTEVÃO

MAPEAMENTO TÉRMICO URBANO DA CIDADE DE JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Aprovada em: 21/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dra. Profa. Dra. Maria Elisa Zanella  
Departamento de Geografia  
Universidade Federal do Ceará (Orientadora)

---

Marta Celina Linhares Sales  
Departamento de Geografia  
Universidade Federal do Ceará (Co-orientadora)

---

Prof. Dr. Jader Oliveira dos Santos  
Departamento de Geografia  
Universidade Federal da Paraíba (Examinador Interno ao Programa)

---

Profa. Dr. Gustavo Zen de Figueiredo Neves  
Departamento de Geografia  
Universidade de São Paulo (Examinador Externa ao Programa)

---

Profa. Dra. Erika Collischonn  
Departamento de Geografia  
Universidade Federal de Pelotas (Examinadora Externa ao Programa)

---

Profa. Dr. Wilson Flavio Feltrim Roseghini  
Departamento de Geografia  
Universidade Federal do Paraná (Examinadora Externa ao Programa)

*Dedico todo esforço que depuseti nesse trabalho a minha avó Francisca Ferreira (in memoriam), carinhosamente chamada de Vó Tica, que se foi vítima das sequelas da Covid-19, mas se faz presente constantemente no meu coração e memória, por todo seu exemplo de força, coragem e amor. Sei que de algum lugar, ela olha por mim.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por conceder-me esta vida.

A toda minha família, que é pequena, mas transborda amor. Gratidão a minha mãe, Valdelani que ensinou valores morais, aos quais carrego sempre comigo, juntamente com meus irmãos, Caroline e Lucas. Agradeço as minhas tias Heloisa e Robéria pela inspiração, aos meus primos Maria Teresa e Heitor (quase sobrinhos) pela alegria dos momentos disfrutados com eles.

As amigas Jéssica Santana, Thays, Luciana, Jéssica Correia, Jéssica Gonçalves e Aryelle pelo dom da amizade.

Agradeço à Universidade Federal do Ceará.

Agradeço ao Departamento de Geografia e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFC, bem como a todos os professores que me ajudaram a construir meu perfil profissional.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço em especial à professora Maria Elisa Zanella (minha orientadora no mestrado) e a professora Marta Celina (minha orientadora no doutorado) que tive a oportunidade de trabalhar e fortaleci laços de admiração, carinho e gratidão.

Agradecido à banca examinadora desta tese, que se dispôs a ler o trabalho e contribuir com o enriquecimento desta pesquisa.

Agradeço ao Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos (LCGRH-UFC), que tive a oportunidade de ser membro enquanto grupo de pesquisa em Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos. E a todos os amigos que fiz Junior, Audivan, Nair, Marysol, por dividir risadas e angústias nessa jornada.

Aos professores da Universidade Regional do Cariri (URCA), em especial as professoras Lourdes e Juliana por instigar e apoiar lindamente a construção do conhecimento científico nesta instituição de ensino.

E aos demais familiares, amigos, e pessoas que conheci e convivi, e que me auxiliaram, na realização deste trabalho.

*“Conhecimento não é aquilo que você sabe,  
mas o que você faz com aquilo que você sabe.”*

*Aldous Huxley*

## RESUMO

A sociedade tem fomentado mudanças espaciais expressivas, ao ponto de modificar o ambiente urbano. O clima é um dos componentes que está sujeito a mudanças e isto é motivo de preocupações, uma vez que as condições da qualidade ambiental urbana tendem a diminuir, em face ao crescimento desordenado, as disparidades socioeconômicas e a degradação ambiental. O mapeamento das informações climáticas da cidade é um recurso que pode ser empregado para a compreensão das questões ambientais e, sobretudo na tomada de decisões para o planejamento dessas cidades. Dessa forma, o objetivo da pesquisa foi realizar o mapeamento térmico urbano da cidade de Juazeiro-CE. Para tanto aplicou-se quatro metodologias que permitiram distintos olhares frente ao clima urbano, sendo elas: o Mapeamento Climático Urbano (MCU), transectos móveis, índice de cobertura do solo e *Local Climate Zones (LCZs)*. No MCU o clima urbano foi analisado a partir do balanço energético da cidade, condicionados pela carga térmica (ganho e armazenamento de calor) e o potencial dinâmico (arrefecimento da temperatura). Foram mapeados densidade edificada, topografia, áreas não permeáveis cobertura do solo, vegetação, rugosidade e orientação das vertentes. Através da classificação e ponderação dessas variáveis, foi possível distribuir e identificar as áreas da cidade segundo suas capacidades de maior ganho e armazenamento de calor, bem como as áreas com maior potencial do arrefecimento da temperatura. Para validar as informações do MCU, realizou-se 04 transectos móveis nos anos de 2018 e 2020 contemplando trajetos na direção norte-leste e mensurando a temperatura do ar de 114 pontos ao total. A influência dos principais tipos de materiais/superfícies encontradas nos transectos móveis (concreto, cerâmica, cobertura metálica, vegetação/drenagem e solo exposto) foi identificada através do cálculo do índice de cobertura do solo. Por último, realizou-se a análise da morfologia urbana da cidade e a análise da intensidade e magnitude das ilhas de calor, empregando-se as LCZs. Os resultados evidenciaram que o padrão construtivo dinamizado pela alta densidade de edificações, a utilização de materiais tradicionais nos equipamentos urbanos formando aglomerados impermeabilizados e de estanque, e a redução ou ausência de espaços abertos e vegetação/drenagem, sobretudo nos bairros adensados da cidade de Juazeiro-CE, foram os principais responsáveis por registrar as maiores temperaturas (31,5 °C), bem como as maiores intensidade e magnitudes (5,6°C) das ilhas de calor.

**Palavras chave:** clima urbano; mapeamento térmico; balanço energético.

## ABSTRACT

Society has fostered significant spatial changes, to the point of modifying the urban environment. The climate is one of the components that is subject to change and this is a cause for concern, since the conditions of urban environmental quality tend to decrease, in the face of disordered growth, such as socioeconomic disparities and environmental degradation. The mapping of climate information in the city is a resource that can be used to understand environmental issues and, above all, in decision-making for the planning of these cities. Thus, the objective of the research was to carry out the urban thermal mapping of the city of Juazeiro-CE. For that, four methodologies were applied that allowed them to be distinct, being them looks at the urban climate (MCU), mobile transects, land cover index and Local Climate Zones (LCZs). In the MCU, the urban climate was considered, based on the energy balance of temperature, conditioned by the thermal load (heat gain and storage) and the heat storage potential (cooling). Building density, topography, permeable areas, soil cover, non-dense vegetation, roughness and slope orientation were mapped. Through the classification and weighting of the variables, it was possible to distribute and identify areas of the city according to their capacity to gain and store calories, as well as the areas with the greatest potential for temperature cooling. To validate the information from the MCU, 04 mobile transects were carried out in the years 2018 and 2020, contemplating paths in the north-east direction and measuring the air temperature of 114 points in total. The influence of the main types of cover/surfaces on the transects (concrete, ceramics, metallic cover, vegetation/drainage and exposed soil) was identified through the covering of the cover floor covering. Finally, the analysis of the urban morphology of the city and the analysis of the intensity and magnitude of the heat islands were carried out, using them as LCZs. The constructive standards are boosted by the high density of buildings, the use of traditional materials in urban equipment formed by waterproofing and watertight agglomerates, and the absence or results of evidence of open spaces and/drainage, especially in the densely populated neighborhoods of the city of Juazeiro. - EC reduction, were the main responsible for recording the highest temperatures (31.5°C), as well as the highest intensities and magnitudes (5.6°C) of heat islands.

**Keywords:** urban climate; thermal mapping; energetic balance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escalas horizontais e verticais do clima urbano.....	21
Figura 2 - Estratificação vertical da atmosfera urbana.....	22
Figura 3 - Abordagens em diferentes escalas de clima urbano.....	23
Figura 4 - Formas urbanas e sua capacidade de afetar o clima local.....	25
Figura 5 - A influência da forma urbana nos microclimas.....	28
Figura 6 - Estudos UCM ao redor do mundo.....	31
Figura 7 - Estrutura do mapeamento climático urbano.....	32
Figura 8 - Roteiro metodológico.....	34
Figura 9 - Estrutura do Mapeamento Climático Urbano.....	38
Figura 10 - Composição da área de análise do entorno dos pontos.....	45
Figura 11 - Espacialização da dimensão espacial de Juazeiro em 1875.....	55
Figura 12 - Expansão territorial urbana (1871-2017).....	57
Figura 13 - Verticalização do bairro Triângulo.....	59
Figura 14 - Carta imagem de Juazeiro do Norte.....	63
Figura 15 - Esquema de construção do MCU.....	93
Figura 16 - Interpolação dos dados de temperatura transecto 01.....	100
Figura 17 - Interpolação dos dados de temperatura transecto 02.....	105
Figura 18 - Interpolação dos dados de temperatura transecto 03.....	109
Figura 19 - Interpolação dos dados de temperatura.....	114

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização da cidade de Juazeiro do Norte, Ceará.....	15
Mapa 2 - Trajetos dos transectos móveis na cidade de Juazeiro do Norte.....	44
Mapa 3 - Localização dos postos pluviométricos.....	49
Mapa 4 - Distribuição populacional de Juazeiro do Norte.....	62
Mapa 5 - Perímetro urbano e distribuição dos bairros.....	66
Mapa 6 - Mapa do volume edificado.....	69
Mapa 7 - Uso e ocupação do solo relativo aos ganhos antropogênicos.....	71
Mapa 8 - Mapa altimétrico.....	73
Mapa 9 - Mapa de efeitos bioclimáticos.....	76
Mapa 10 - Mapa de cobertura do solo por edificações.....	78
Mapa 11 - Mapa de vegetação.....	80
Mapa 12 - Mapa de declividade.....	82
Mapa 13 - Mapa de orientação das vertentes.....	85
Mapa 14 - Mapa de comprimento de rugosidade.....	88
Mapa 15 - Mapa de carga térmica de Juazeiro do Norte.....	90
Mapa 16 - Mapa do potencial dinâmico de Juazeiro do Norte.....	92
Mapa 17 - Mapa Climático urbano de Juazeiro do Norte.....	97
Mapa 18 - Trajeto do transecto móvel episódio inverno de 2018.....	101
Mapa 19 - Trajeto do transecto móvel episódio primavera.....	106
Mapa 20 - Índice de cobertura do solo do ponto 01.....	120
Mapa 21 - Índice de cobertura do solo do ponto 02.....	122
Mapa 22 - Índice de cobertura do solo do ponto 03.....	123
Mapa 23 - Índice de cobertura do solo do ponto 04.....	124
Mapa 24 - Índice de cobertura do solo do ponto 05.....	126
Mapa 25 - Índice de cobertura do solo do ponto 06.....	127
Mapa 26 - Zonas Climáticas Locais (LCZ) em Juazeiro do Norte.....	131

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos modelos e suas potencialidades e limitações.....	30
Quadro 2 - principais autores e obras utilizadas para na pesquisa.....	35
Quadro 3 - Detalhamento dos pesos adotados no MCU.....	42
Quadro 4 - Dados dos transectos móveis.....	43
Quadro 5 - Variabilidade interanual da série (1981-2010).....	50
Quadro 6 - Evolução populacional de Juazeiro do Norte.....	60
Quadro 7 - Descrição das características de pontos do transecto 01.....	103
Quadro 8 - Descrição das características de pontos do transecto 02 .....	108
Quadro 9 - Descrição das características de pontos do transecto 03.....	112
Quadro10 - Descrição das características de pontos do transecto 04.....	117
Quadro 11 - Áreas das classes do ICS.....	128
Quadro 12 - Descrição das características das LCZs de Juazeiro.....	133

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição Pluviométrica do posto Juazeiro do Norte.....	51
Gráfico 2 - Representatividade percentual da média da quadra.....	52
Gráfico 3 - Precipitações média mensais posto Juazeiro do Norte (1981-2010).....	53
Gráfico 4 - Temperatura média mensal do posto Juazeiro do Norte (1981-2010).....	53
Gráfico 5 - Temperatura e precipitação média mensais do posto Juazeiro (1981-2010)..	54
Gráfico 6 - Evolução populacional de Juazeiro do Norte.....	60
Gráfico 7 - Perfil do contraste térmico no transecto do episódio de inverno.....	102
Gráfico 8 - Perfil do contraste térmico no transecto do episódio de primavera.....	102
Gráfico 9 - Evolução populacional de Juazeiro do Norte.....	102
Gráfico 10 - Perfil do contraste térmico no transecto do episódio de inverno.....	102
Gráfico 11 - Perfil do contraste térmico no transecto do episódio de primavera.....	107
Gráfico 12 - Perfil do contraste térmico no episódio de inverno 2020.....	110
Gráfico 13 - Perfil do contraste térmico no episódio de primavera 2020.....	115
Gráfico 14 - Comparação das áreas das classes do ICS.....	128
Gráfico 15 - Diferenças térmicas do episódio de inverno 2018.....	135
Gráfico 16 - Diferenças térmicas do episódio de primavera 2018.....	137
Gráfico 17 - Diferenças térmicas do episódio de inverno 2020.....	139
Gráfico 18 - Diferenças térmicas do episódio de verão 2020.....	141

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição dos principais valores da série.....	50
Tabela 2 - Diferenças térmicas máximas e mínimas dos transectos móveis .....	134

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
ATV	Amplitude Total de Variação
BC	Brisas Continentais
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GPS	Global Positioning System
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICU	Ilha de Calor Urbana
IDW	Ponderação do Inverso da Distância
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LCZ	Local Climate Zones
LI	Linhas de Instabilidade
MCU	Mapa Climático Urbano
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
OL	Ondas de Leste
REGIC	Regiões de Influências das cidades
RMC	Região Metropolitana do Cariri
SAVI	Índice de Vegetação Ajustada para o Solo
SCU	Sistema Clima Urbano
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura do Ceará
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SIG	Sistema de Informações
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SVF	Sky View Factor
UBL	Urban Boundary Layer
UCL	Urban Canopy Layer
UCM	Urban Climate Map
USGS	United States Geological Survey
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Objeto da pesquisa.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>17</b>
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivos geral.....</i>	<i>17</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>17</i>
<b>1.4</b>	<b>Hipóteses da pesquisa.....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>O CLIMA NAS CIDADES.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Escalas de análise no Clima Urbano.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Desempenho climático e morfologia urbana: Local Climate Zones (LCZ).</b>	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>Modelos em climatologia urbana.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4</b>	<b>Mapa climático urbano (UCM).....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2</b>	<b>Banco de dados e base cartográfica.....</b>	<b>35</b>
<b>3.3</b>	<b>Espacialização dos dados climáticos.....</b>	<b>36</b>
<b>3.4</b>	<b>Mapeamento climático urbano.....</b>	<b>37</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Mapeamento da carga térmica.....</b>	<b>38</b>
<i>3.4.1.1</i>	<i>Mapa de volume edificado.....</i>	<i>38</i>
<i>3.4.1.2</i>	<i>Mapa de uso e ocupação do solo relativo aos ganhos antropogênicos.....</i>	<i>39</i>
<i>3.4.1.3</i>	<i>Mapa altimétrico.....</i>	<i>39</i>
<b>3.4.2</b>	<b>Mapeamento do potencial dinâmico.....</b>	<b>39</b>
<i>3.4.2.1</i>	<i>Mapa de efeitos bioclimáticos.....</i>	<i>40</i>
<i>3.4.2.2</i>	<i>Mapa de cobertura do solo por edificações.....</i>	<i>40</i>
<i>3.4.2.3</i>	<i>Mapa de vegetação.....</i>	<i>40</i>
<i>3.4.2.4</i>	<i>Mapa de declividade.....</i>	<i>40</i>
<i>3.4.2.5</i>	<i>Mapa de orientação de vertentes .....</i>	<i>41</i>
<i>3.4.2.6</i>	<i>Mapa de comprimento de rugosidade.....</i>	<i>41</i>
<b>3.5</b>	<b>Transectos móveis.....</b>	<b>42</b>
<b>3.6</b>	<b>Índice de cobertura do solo dos pontos .....</b>	<b>44</b>
<b>3.7</b>	<b>Local Climate Zones (LCZs).....</b>	<b>46</b>
<b>3.8</b>	<b>Análise e interpretação dos dados.....</b>	<b>47</b>

	<b>ASPECTOS CLIMÁTICOS E GEOURBANOS DA CIDADE DE</b>	
<b>4</b>	<b>JUAZEIRO DO NORTE.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização Climática.....</b>	<b>48</b>
<b>4.2</b>	<b>Urbanização da cidade de Juazeiro do Norte.....</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>MAPEAMENTO CLIMÁTICO URBANO.....</b>	<b>65</b>
<b>5.1</b>	<b>Mapeamento da carga térmica.....</b>	<b>67</b>
<b>5.1.1</b>	<i>Mapa de volume edificado.....</i>	<i>67</i>
<b>5.1.2</b>	<i>Mapa de uso e ocupação do solo relativo aos ganhos antropogênicos.....</i>	<i>70</i>
<b>5.1.3</b>	<i>Mapa altimétrico.....</i>	<i>72</i>
<b>5.2</b>	<b>Mapeamento do potencial dinâmico.....</b>	<b>74</b>
<b>5.2.1</b>	<i>Mapa de efeitos bioclimáticos.....</i>	<i>74</i>
<b>5.2.2</b>	<i>Mapa de cobertura do solo por edificações.....</i>	<i>77</i>
<b>5.2.3</b>	<i>Mapa de vegetação.....</i>	<i>79</i>
<b>5.2.4</b>	<i>Mapa de declividade.....</i>	<i>81</i>
<b>5.2.5</b>	<i>Mapa de orientação de vertentes .....</i>	<i>83</i>
<b>5.2.6</b>	<i>Mapa de comprimento de rugosidade.....</i>	<i>86</i>
<b>5.3</b>	<b>Mapa da carga térmica e do potencial dinâmico.....</b>	<b>89</b>
<b>5.4</b>	<b>Mapa climático urbano de Juazeiro do Norte .....</b>	<b>93</b>
<b>6</b>	<b>TRANSECTOS MÓVEIS.....</b>	<b>98</b>
<b>6.1</b>	<b>Transecto móvel noturno episódio de inverno 2018.....</b>	<b>98</b>
<b>6.2</b>	<b>Transecto móvel noturno episódio de primavera 2018.....</b>	<b>104</b>
<b>6.3</b>	<b>Transecto móvel noturno episódio de inverno 2020.....</b>	<b>109</b>
<b>6.4</b>	<b>Transecto móvel noturno episódio de verão 2020.....</b>	<b>113</b>
<b>7</b>	<b>ÍNDICE DE COBERTURA DO SOLO.....</b>	<b>119</b>
<b>8</b>	<b>DESEMPENHO CLIMÁTICO E MORFOLOGIA URBANA (LCZ).....</b>	<b>130</b>
<b>8.1</b>	<b>Diferenças térmicas a partir dos transectos móveis.....</b>	<b>134</b>
<b>8.2</b>	<b>Diferenças térmicas do episódio de inverno 2018 .....</b>	<b>135</b>
<b>8.3</b>	<b>Diferenças térmicas do episódio de primavera 2018.....</b>	<b>137</b>
<b>8.4</b>	<b>Diferenças térmicas do episódio de inverno 2020.....</b>	<b>138</b>
<b>8.5</b>	<b>Diferenças térmicas do episódio de verão 2020.....</b>	<b>140</b>
<b>9</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>143</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>146</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A expansão do tecido urbano é um processo ininterrupto, e revela a habilidade humana de alterar a paisagem. Atualmente, mais da metade da população mundial reside em espaços urbanizados, e a projeção é que essas cidades abriguem 70% da população mundial até 2050 (ONU, 2019). E para acomodar esta explosão demográfica nas cidades, a superfície natural é substituída por uma infraestrutura rígida e impermeável capaz de influenciar e modificar as trocas radioativas e de energia na superfície da terra, levando à criação de um clima urbano.

Existe uma compreensão geral que as variáveis climáticas são alteradas pelo contínuo processo de artificialização nas cidades, que cada vez mais empregam estruturas robustas e fomentam transformações expressivas na paisagem natural. Em meio a esta dinâmica, conseqüentemente as condições da qualidade ambiental urbana tendem a diminuir, produzindo espaços urbanos insalubres. Pensar esses espaços densamente povoados com tecidos urbanos compactos sem a inclusão da questão climática no planejamento oportuniza o desencadeamento de processos que afetam a qualidade da vida urbana.

O sobreaquecimento das cidades, os eventos de precipitação extremos e a poluição do ar que são produtos, sobretudo da alteração do balanço energético urbano, são as amostras mais notórias da modificação climática inadvertidamente germinada pelas atividades humanas (LOPES, 2009; 2012).

Estas alterações climáticas nos ambientes urbanos interferem diretamente na população urbana. Os aspectos negativos geralmente são mais facilmente identificados e no que se refere à relação clima e saúde são apreendidas pela população urbana por estarem diretamente ligadas ao campo da percepção humana e influenciarem no desempenho físico, nas atividades do dia a dia e em casos mais graves, afetar o bem-estar e saúde da população, demandando mais energia para adaptarem-se às condições do meio (AMORIM ET AL, 2015).

O conhecimento e detalhamento das variáveis climáticas nas áreas onde as cidades estão assentadas, bem como sua incorporação no planejamento urbano são essenciais para minimizar a vulnerabilidade e os riscos já vivenciados pela população urbana, sobretudo no contexto de possíveis mudanças climáticas (FERREIRA, 2014).

Tecnicamente, no Brasil, o crescimento das cidades com mais de 20.000 habitantes não ocorre aleatoriamente. O Plano Diretor é um documento que direciona o processo de desenvolvimento e expansão da malha urbana a partir da fixação de objetivos e diretrizes instituídas na intenção de orientar o processo de transformação do município, assegurando uma melhor qualidade de vida a seus habitantes.

Entretanto, ao analisar esses documentos que institucionalizam a urbanização nas cidades brasileiras, percebe-se uma ausência de ações normativas que direcionem as questões climáticas nesses espaços, que de acordo com Ferreira *et al* (2017) acontece por que existe uma grande dificuldade na tradução e incorporação dos estudos de climatologia urbana para a linguagem do planejamento e gestão das cidades. Muito embora, nas últimas décadas tenham-se exemplos de cidades como Hong Kong, Stuttgart, Lisboa e Paris, onde as variáveis climáticas estão sendo incluídas nos planos de gestão e planejamento, já que os impactos provenientes das questões climáticas nessas cidades/países são tratados na atualidade como um problema de saúde pública, logo a identificação e a compreensão da climatologia urbana fornecem informações indispensáveis para o desenvolvimento de políticas públicas.

Quanto maior a clareza e compreensão das variáveis climáticas, suas origens e inter-relações com as estruturas urbanas, disponibilizadas em linguagens coesas, mais direcionamento podem ter os administradores para materializações de políticas públicas que visem à qualidade ambiental urbana e o aumento do bem-estar de sua população.

O mapeamento das informações climáticas de uma cidade é um dos instrumentos que podem e devem ser empregados para a compreensão das questões ambientais e na tomada de decisões em espaços urbanos. Metodologias como o Mapa Climático Urbano (MCU) desenvolvido por Katzschner (1997) configuram-se como um importante mecanismo de informação e análise integrada das questões que envolvem a climatologia na cidade, atendendo aos princípios do sistema clima urbano.

O Mapa climático urbano combina sinergicamente vários parâmetros climáticos e urbanos (por exemplo, volume edificado, rugosidade, calor antropogênico, altimetria, declividade, orientação das vertentes, etc). Esta metodologia é realizada através de um modelo que utiliza técnicas empregadas no Sistema de Informações Geográficas (SIG), onde se calcula fatores a partir da ponderação para cada variável, resultando nos aspectos da carga térmica e potencial dinâmico do recinto urbano, compartimentando as áreas geográficas com características microclimáticas, bem como os setores mais confortáveis e as parcelas mais problemáticas da cidade. Em posse de informações como estas, planejadores poderiam ter uma melhor base climática na tomada de decisão (REN et al. 2011).

No Brasil, cidades como Belo Horizonte, Fortaleza e Joao Pessoa, assentadas em características geourbanas completamente distintas são algumas amostras da possibilidade e potencialidade de aplicação desta metodologia para realidade heterogênea das cidades brasileiras, exemplificadas nos estudos de Ferreira (2017), Souza (2010) e Lima Júnior (2019).

Diante do quadro contextualizado, é visível que as relações clima e espaços urbanos são passíveis de serem medidas, quantificadas e estimadas, e quando nos referimos às cidades localizadas nos ambientes tropicais semiáridos, estas apresentam uma série de problemáticas associadas à alteração do balanço energético. Inicialmente estas cidades espontaneamente dispõem de situações de estresse térmico, consonantes à dinâmica natural, condicionada a baixa latitude e alta incidência solar no decorrer de todo o ano. Nestas extensões territoriais, ainda há grande probabilidade e predisposição a intensificação das temperaturas em resposta a presença de elementos que pactuados estão intrinsecamente relacionados com a gênese das chamadas ilhas de calor, sendo o fenômeno mais comum da manifestação das transformações antrópicas, e que também são responsáveis no desencadeamento de outros fenômenos.

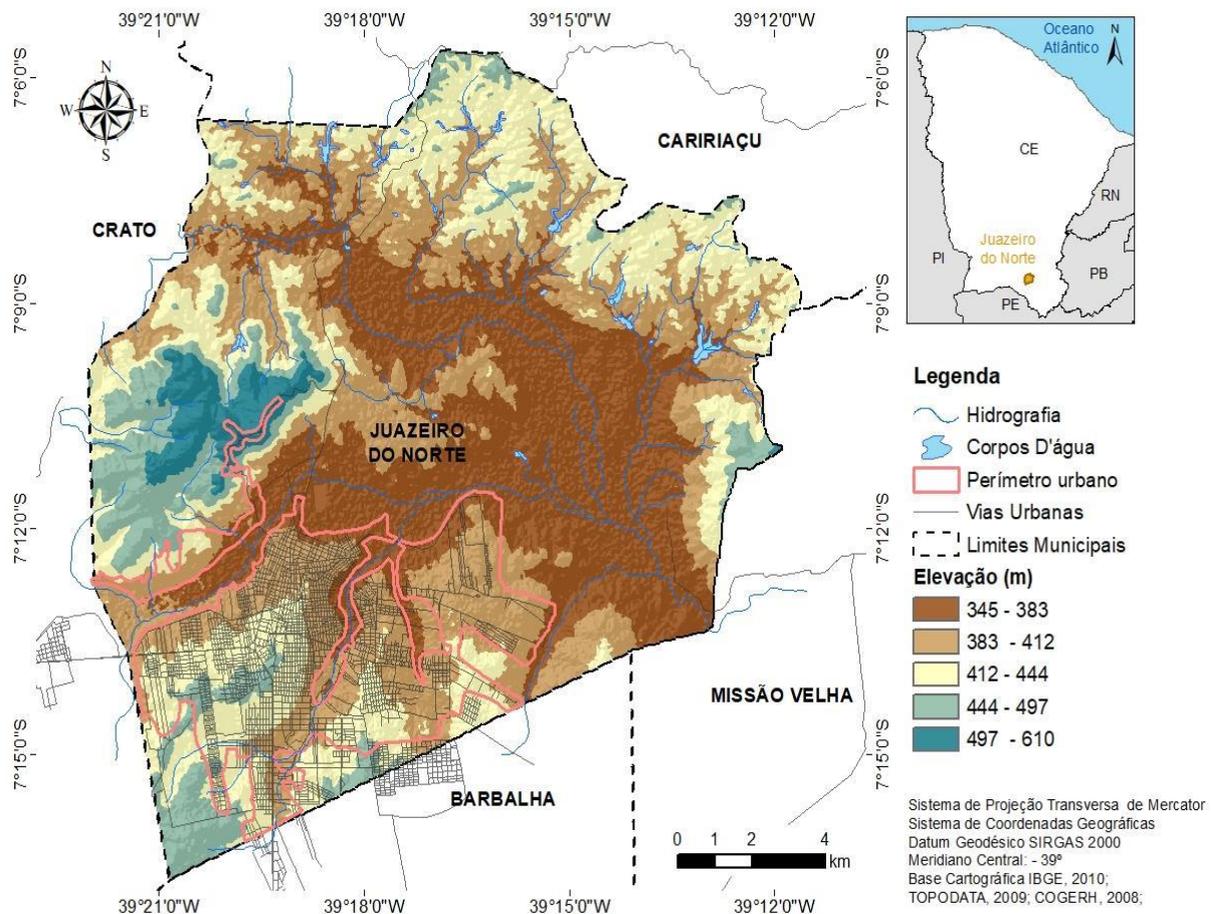
Juazeiro do Norte (Mapa 01) está localizado na Região Nordeste, ao sul do estado do Ceará. Inserido na chamada Região Metropolitana do Cariri (RMC), compreende uma área territorial de 258,788 km<sup>2</sup>. Nas últimas décadas apresentou um crescimento populacional considerável, quando comparados os dados apresentados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Segundo este órgão, em 1980 a cidade apresentava uma população de 135.616 habitantes, e em 2020 esse número salta para 276.264 habitantes, totalizando uma densidade demográfica de 1.004,45 hab/km<sup>2</sup>.

Alicerçado na análise do plano diretor e a partir da evolução temporal de imagens orbitais o espraiamento da malha urbana da cidade de Juazeiro do Norte, tornou-se mais evidente nos anos de 1980 e 1990. De acordo com Pereira (2014) esse processo foi fruto das políticas industriais e de investimentos de capital transnacional repercutindo na estrutura urbana da cidade.

Esse crescimento tanto populacional e como na estrutura urbana da cidade altera a maneira como se organiza os elementos no meio urbano, através do aumento do aproveitamento do solo, refletindo no aumento do volume edificado, das vias impermeabilizadas, da circulação dos veículos, da supressão vegetal local, modificando a estrutura do clima local.

Embora este recorte em especial já fora alvo de estudos realizados por Estevão (2016) no intuito de identificar e analisar o comportamento das ilhas de calor superficiais aplicando o sensoriamento remoto para a obtenção de informações térmicas, estas ilhas estavam associadas às rápidas mudanças no uso da terra, indicando uma forte variabilidade espacial, surgindo uma necessidade de investigações mais completas e detalhadas do clima no ambiente urbano dessa cidade a partir da análise de distintas variáveis, bem como o emprego de novas metodologias que apresentam sistematicamente informações climáticas urbanas.

Mapa 01 – Localização da cidade de Juazeiro do Norte, Ceará



Fonte: Elaboração da autora

## 1.1 Objeto da pesquisa

As cidades que compõem o semiárido brasileiro concentram uma população superior a 25 milhões de habitantes. Essa região constitui-se num dos espaços geográficos mais vulneráveis frente aos efeitos das alterações climáticas. Suas elevadas taxas de temperatura do ar e evapotranspiração, bem como os baixos e irregulares valores pluviométricos, condicionam um cenário que contribuem para o desencadeamento de problemas socioambientais para os seus habitantes.

As condições climáticas naturalmente quentes são potencializadas em virtude da combinação dos equipamentos que constituem a vida urbana. Amplamente discutido na literatura, o que ocorre é uma queda na qualidade de vida desses habitantes, que além de vivenciarem as problemáticas associadas às secas prolongadas, convivem com as altas temperaturas ao longo de todo ano, sofrendo ainda mais no período seco.

## 1.2 Justificativa

Desde a década de 1960 a metodologia de análise associada ao SIG vem sendo aplicadas, e no que se referem ao MCU, os primeiros estudos surgem em meados da década de 1980, em países europeus e asiáticos. No Brasil, os exemplos dessas aplicações se deram em cidades como Belo Horizonte, João Pessoa e Fortaleza, dentre outras. Na cidade de Juazeiro do Norte, estudos que caracterizam as condições climáticas são escassos. A ausência de informações referentes ao clima local e a imparcialidade dos gestores pelas condições ambientais climáticas só aumenta a diminuta interação entre o planejamento e as questões climáticas na cidade.

Diante disto, torna-se importante a aplicação do Mapeamento Climático Urbano, bem como as demais metodologias citadas neste trabalho, pelos seguintes motivos:

- A cidade de Juazeiro do Norte, considerada cidade de porte médio representa a principal cidade da chamada Região Metropolitana do Cariri (RMC), estabelecida recentemente por lei estadual. Atualmente contém 271.926 habitantes e é reconhecida pelo enérgico fluxo de serviços, indivíduos e mercadorias. Com base nos dados de 2007 das Regiões de Influências das cidades (REGIC), esta cidade está qualificada como Capital Regional C na hierarquia dos centros urbanos brasileiros, e dispõem área de influência de âmbito regional, sendo referida como destino para um conjunto de atividades por um grande número de municípios. Estas características repercutem em modificações em seu clima local, já constatados por estudos e pesquisas científicas com abordagem do clima urbano;
- A cidade possui um clima tropical quente semiárido e tropical quente semiárido brando e na perspectiva conceitual discutida, emerge a necessidade de compreender o comportamento térmico em ambientes naturalmente quentes, avaliando, sobretudo a carga térmica (ganho e armazenamento de calor) e o potencial dinâmico (arrefecimento da temperatura), responsáveis por regular o balanço de energia em ambientes urbanos e interferir diretamente no conforto térmico da população, além de estudos nessa perspectiva (clima urbano em cidades do semiárido) são escassos;
- O Estatuto das Cidades trata o equilíbrio ambiental como uma das questões principais para o planejamento, que deve ter como meta o desenvolvimento urbano com as questões ambientais, incluindo nesse caso as variáveis climáticas e sua interação com a cidade;

- E por último, a materialização desse estudo na cidade de Juazeiro do Norte visa contribuir tanto quanto teoricamente fornecendo subsídios que possam ser incorporados no planejamento e gestão do espaço urbano como ferramenta administrativa, bem como no desenvolvimento de objetivas e diretrizes com o intuito de delinear um melhor aproveitamento do uso e ocupação do solo quanto aos aspectos climáticos na cidade investigada.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo geral***

O objetivo central da pesquisa é desenvolver o mapeamento térmico da cidade de Juazeiro do Norte, com base no conhecimento das características dos microclimas e nas análises e avaliações dos aspectos geocológicos, urbanísticos e climáticos que influenciam o balanço de energia da cidade.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Mapear os microclimas da cidade de Juazeiro, identificando as possíveis áreas de geração de ilhas de calor e ilhas de frescor.
- Determinar a influência dos padrões de uso e ocupação nos microclimas urbanos a partir da caracterização dos raios dos pontos de transectos móveis em distintos períodos e setores da cidade;
- Contribuir com informações climáticas que possam auxiliar na proposição de normas e diretrizes do planejamento urbano local por parte dos gestores, na busca pela mitigação dos efeitos adversos da urbanização no clima;

### **1.4 Hipóteses da pesquisa**

Partindo do contexto apresentado e problematizado, e destacando que a pesquisa científica é um processo pelo qual tem-se por finalidade de gerar novos conhecimentos e/ou corroborar com conhecimentos preexistentes, questionou-se: Como estão distribuídos os microclimas na cidade de Juazeiro do Norte? Há relação entre o mapeamento climático urbano e os resultados dos transectos móveis? A partir da caracterização dos ambientes a partir dos raios pontos de transectos móveis pode-se determinar a influência dos padrões de uso e ocupação nos microclimas urbanos? Com base nas variáveis do mapeamento climático urbano é possível simular cenários da questão climática em Juazeiro do Norte? A partir dos resultados encontrados, é possível propor diretrizes para o planejamento da cidade investigada?

A estruturação desses questionamentos fomenta uma cadeia de demais questões que intervém na formulação de possíveis afirmações que traduzam a conjuntura ora estudada. Logo levantou-se as hipóteses de que as condições ambientais, urbanísticas e, associadas ao contexto tropical semiárido apresentam significativa influência no desempenho climático urbano da cidade de Juazeiro do Norte, e estas características climáticas podem ser adotadas no processo de planejamento, contribuindo para a melhoria da qualidade ambiental da referida cidade.

## 2 O CLIMA NAS CIDADES

As cidades contemporâneas são dinamizadas por uma urbanização rápida e intensa. É inegável que este processo estabelece a criação de enormes benefícios sociais e econômicos, mas em contrapartida altera profundamente os ambientes ecológicos urbanos, regionais e até globais (ZHANG, 2014).

As transformações e reconstruções dos espaços urbanos e as demandas de produção da população induziram cada vez mais esse processo de espraiamento do tecido urbano. E pensando o clima das cidades como um sistema inevitavelmente tem-se o surgimento de problemas que vão interferir diretamente no dia a dia da população que reside nesses grandes centros urbanos, colocando essas áreas como as mais vulneráveis ao impacto dos fenômenos atmosféricos devido às modificações urbanas.

A conversão da superfície natural por uma infraestrutura rígida e impermeável modifica as trocas radiativas e de energia na superfície da terra. Essas superfícies urbanas retêm grandes quantidades de energia térmica, que são intensificadas pelo calor liberado das atividades humanas, como o calor residual advindo de indústrias, carros ou edifícios. A velocidade de liberação desse calor nas áreas urbanas e rurais produz um contraste de temperatura conhecido como ilha de calor urbana (COUTTS, 2012).

A ilha de calor urbana induz à formação do ozônio troposférico, e as temperaturas mais altas afetam a demanda de energia dos equipamentos urbanos, aumentando sua energia total (para aquecimento e resfriamento) em 11% e a energia global por unidade de superfície da cidade em  $2,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^2$ , que corresponde a  $0,74 \text{ kWh}\cdot\text{m}^2$  por cada grau de intensidade da ICU, ou 70 kWh por pessoa, por cada grau de intensidade da ICU (CHUN, 2014; SANTAMOURIS, 2014).

A ilha de calor urbana é a manifestação mais evidente da urbanização, e hoje representa um desafio para o desenvolvimento urbano sustentável nas cidades, isso porque no contexto das mudanças climáticas, as temperaturas urbanas elevadas podem forçar a capacidade adaptativa das populações para responder ao calor extremo.

Como resultado do aquecimento global, as temperaturas médias e extremas (ondas de calor) também devem aumentar, com episódios de ondas de calor se tornando mais frequentes, mais intensos e mais duradouros, repercutindo como fonte de ignição para incêndios e precipitações extremas (CSIRO, 2020).

O aumento de temperatura da ICU, em combinação com ondas de calor, pode gerar na população problemas relacionados a enfermidades de diversas escalas, ou mortalidade. As temperaturas elevadas são uma preocupação, sobretudo para a parcela da população mais

vulnerável ao calor extremo, como os idosos, aqueles com condições de comorbidade e aqueles de nível socioeconômico mais baixo.

O aumento do calor também contribui para a formação e agravamento da poluição e qualidade do ar, que tendem a ser mais problemáticas em ambientes urbanos do que em ambientes rurais. Em ambientes urbanos, os efeitos do calor na poluição do ar podem ter um efeito muito maior sobre a mortalidade e morbidade do que os efeitos diretos do estresse térmico (PENGELLY, 2007).

As pessoas que vivem em cidades em todo o mundo enfrentam uma variedade de riscos para a saúde. Este panorama é de particular preocupação para a saúde pública, uma vez que, passou-se do ponto de inflexão no qual há mais habitantes residindo em áreas urbanas do que em áreas rurais, globalmente, renunciando a fragilidade da população urbana, a qual continuará a aumentar no futuro (PETTER HOFFMANN, 2012).

Frente a estas projeções, o estudo do clima nas cidades tem despertado considerável preocupação de uma ampla gama de pesquisadores nas últimas décadas, com esforço à compreensão das interações da atmosfera urbana. Estudos focados nas mudanças específicas no clima das cidades são, portanto, cruciais para explorar a quão exposta a população urbana está ao futuro de riscos climáticos (ARGÜESO *ET AL*, 2015).

Compreender e esboçar detalhadamente o funcionamento dos processos atuantes do clima no tecido urbano quantitativamente e qualitativamente é decisivo para desenvolver diretrizes consistentes para mitigar, limitar e se adaptar à tendência de aquecimento das cidades e os seus efeitos na saúde e no bem-estar das comunidades e ambientes.

Na atualidade existem inúmeras metodologias para fornecer informações que sejam capazes de desenvolver critérios específicos para a implementação de estratégias de planejamento urbano e mitigação da ICU, tornando-se ferramentas importantes para orientar cientificamente o planejamento urbano e a tomada de decisões para o desenvolvimento sustentável nas cidades, sobretudo relacionada a questões sobre como se desenvolver limitando a emissão de carbono, gerenciar a emissão de gases de efeito estufa efetivamente e aumentar a adaptabilidade ao UHI.

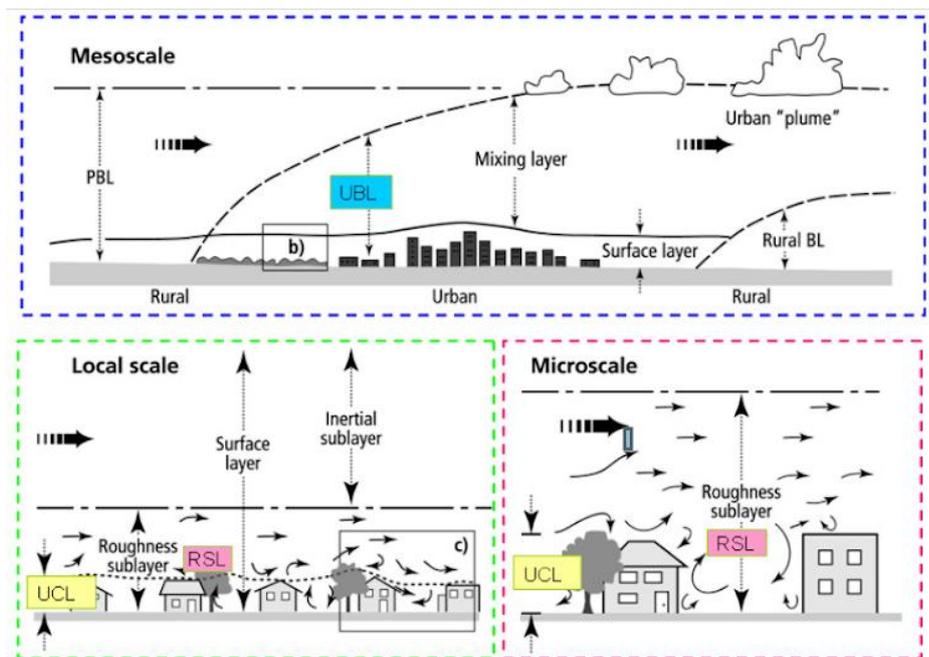
Independente da metodologia empregada é imprescindível respeitar a particularidade de cada cidade, isso porque, cada área urbana é única no que diz respeito à sua localização, tempo e clima, geometria urbana, exposição à energia solar, fundações do solo, etc. que influenciam a ICU de uma cidade em uma variedade de escalas. Portanto, o resultado de uma cidade *x* podem ser ligeiramente diferentes de uma cidade *y*, nesse caso, as prioridades de implementação de diretrizes podem variar entre as áreas urbanas dependendo de suas especificidades.

## 2.1 Escalas de análise no Clima Urbano

O entendimento das escalas de análise do clima urbano (Figura 01) é essencial para o desenvolvimento de qualquer investigação sobre este fenômeno. Relativo a esta perspectiva, Oke (2009) apresenta uma estrutura tridimensional do clima urbano que engloba a escala espacial (horizontal e vertical) e a escala temporal (entendendo o clima urbano como processo dinâmico), sendo a escala temporal responsável pela duração dos vários fenômenos em cada escala espacial.

Um exemplo desta abordagem corresponde à análise dos tipos de tempo, a variabilidade climática de curta duração, as tendências climáticas e o estabelecimento de médias. É nessa escala temporal que a maioria dos climatólogos da atualidade atua (MENDONÇA, DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Figura 01 - Representação esquemática de escalas espaciais horizontais do clima urbano e suas camadas verticais



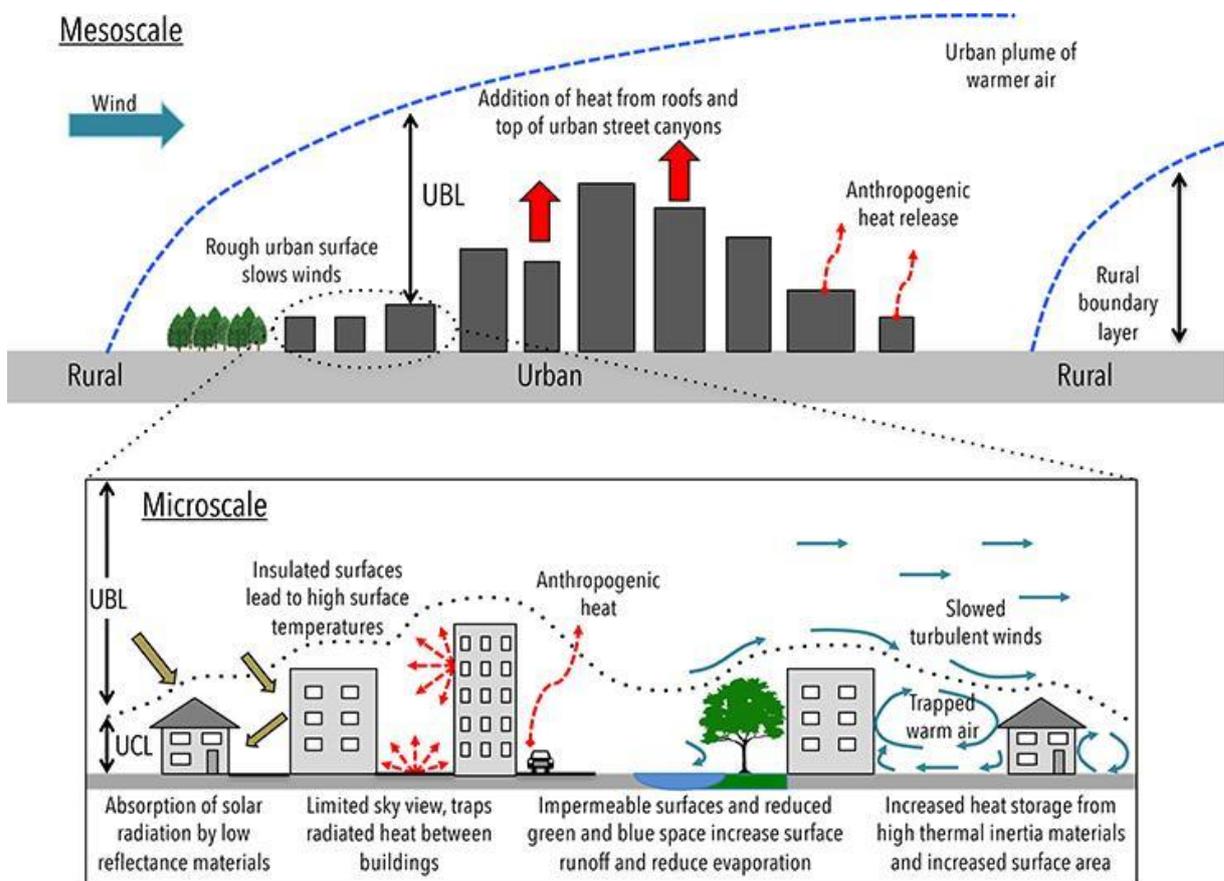
Fonte: Oke (1987)

Oke (2009) mostra que existem três escalas a serem consideradas no clima urbano. A menor escala é a microescala que se refere ao clima de edifícios individuais, casas, árvores, ruas e espaços intermediários. Os climas em microescala são o resultado do balanço de energia de superfície. A escala local centra-se no clima dos bairros/ruas, e integra efeitos microclimáticos com combinações semelhantes das características urbanas, sendo fruto do balanço de energia da superfície, bem como do balanço de energia da camada de dossel urbana.

A escala final e maior é a mesoescala, onde as cidades podem ter uma influência sobre o tempo e clima em maior escala, englobando mais de dezenas de quilômetros.

Em relação às escalas espaciais e verticais (Figura 02), a camada intra-urbana *Urban Canopy Layer* (UCL), aparece abaixo do nível das coberturas da estrutura urbana e compreende microclimas criados por edifícios, estradas e vegetação, da camada limite urbana *Urban Boundary Layer* (UBL) posicionada acima do último nível das coberturas que é uma incorporação dos microclimas urbanos sobre uma grande área (OKE, 1975, 1981; ARNFIELD 2003).

Figura 02 – Estratificação vertical da atmosfera urbana



Fonte: Norton et al (2014)

O efeito da urbanização é distinto nas duas camadas. Um exemplo que pode ser citado é, que embora as cidades contribuam para aquecer o clima na camada limite urbano, o sombreamento de edifícios e a própria vegetação na camada intra-urbana pode gerar temperaturas locais menores que as encontradas em áreas abertas (OKE, 1975).

Devido à complexidade do tecido urbano, toda uma variedade de microclimas é criado ao longo da paisagem urbana da área da cidade, combinando-se para formar o ICU, logo, a temperatura do ar e da superfície é impulsionada por muitas interações detalhadas e complexas.

Essas temperaturas registradas são influenciadas pela estrutura urbana, sendo afetadas pela geometria do cânion urbano e pela densidade do material. Ou seja, materiais de construções com densidades superiores podem evitar que a radiação solar alcance o solo devido ao sombreamento, resultando no resfriamento das superfícies. A geometria do cânion também pode limitar a capacidade da radiação de ondas longas a serem transmitidas da superfície para o céu à noite, o que significa que as temperaturas das superfícies permanecem quentes. Os materiais de construção também afetam a temperatura do ar e da superfície, já que diferentes materiais urbanos têm absorção e propriedades térmicas distintas. As temperaturas podem ser ainda influenciadas por fatores como o albedo da superfície, emissividade e atividades antropogênicas, enquanto as temperaturas de superfícies naturais variam com as condições de umidade e admitância térmica (COUTTS, 2011).

Figura 03: Abordagens em diferentes escalas de clima urbano

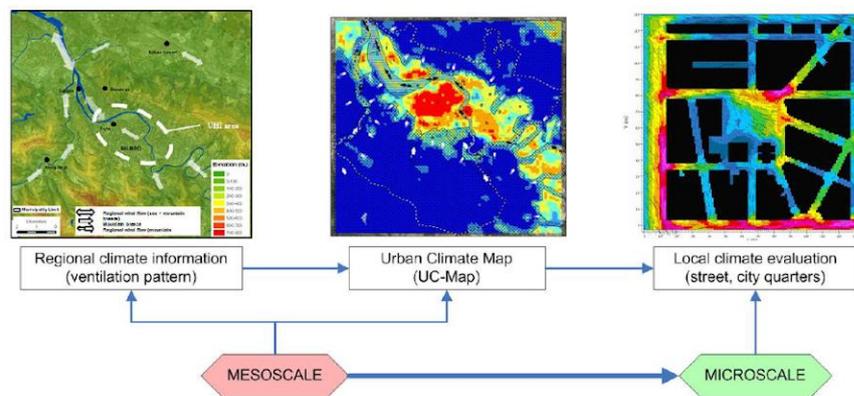


Fig 1. Multi-scale approach of urban climate. Steps to evaluate climate in an urban planning context

Fonte: Acero, 2015

Em cada escala de análise (Figura 03) do clima urbano uma abordagem diferente é usada, isso porque cada escala destaca um processo físico relevante. É necessário clareza para delimitar a escala investigada, pois isso afetará a compreensão dos processos incluídos e as considerações sobre a melhor forma de implementar direcionamentos para mitigação e planejamento urbano.

Considerando as proposições pontuadas anteriormente, ressalta-se que as investigações da presente pesquisa compreendem avaliações na camada intraurbana. O desempenho das variáveis climáticas nesta camada sofre, portanto, interferências de inúmeras características do volume edificado, como o tamanho das edificações, orientações das construções, densidades da área construída, tipos de materiais empregados na construção civil e padrões gerais de uso do solo.

## 2.2 Desempenho climático e morfologia urbana: Local Climate Zones (LCZ)

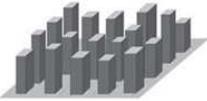
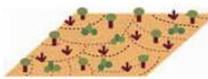
Existem inúmeros elementos da forma urbana que influenciam nos microclimas. Quando falamos em morfologia urbana, nos referimos ao estudo da forma urbana ou o estudo dos aspectos do ambiente urbano, onde sua análise acontece a partir da investigação dos elementos morfológicos ou partes físicas que, associadas e estruturadas, constituem a forma urbana (LAMAS, 1997).

O termo morfologia urbana corresponde à combinação de três elementos principais da estrutura urbana: o conjunto de vias de circulação, parques e vazios urbanos; as áreas construídas delimitadas pelo conjunto de edifícios construídos diferenciados pela sua tipologia e volume; e os usos do solo, delimitado pelo conjunto de diferentes empregos do espaço para as funções urbanas, como as áreas residenciais, industriais, públicas ou privadas (TORRES, 2017).

As características básicas mais importantes para a caracterização morfológica de recintos urbanos são as estruturas urbanas (dimensões dos edifícios e dos espaços entre eles, as larguras de ruas e espaçamento da rua), a cobertura urbana (*built-up*, pavimentado, vegetação, solo exposto, água), o tecido urbano (construção e materiais naturais) e o metabolismo urbano (calor, água e poluentes, devido à atividade humana) (OKE, 2006). Essas características do tecido urbano, quando investigados integradamente e de forma categórica, podem descrever classes morfológicas urbanas.

Para alguns autores as estruturas urbanas e como estão dispostas podem dizer muito sobre sua interferência nos microclimas urbanos. Segundo Oke (2006) as chamadas *Local Climate Zones (LCZ)* ou zonas climáticas urbanas, referem-se a um conjunto de classes incluindo peculiaridades detalhadas. Esta delimitação baseia-se na morfologia das estruturas urbanas, considerando alguns elementos, como a rugosidade, fluxo de ar e balanço de radiação energético, cobertura urbana, seu tecido e metabolismo.

Figura 04 – Classificação das formas urbanas e sua capacidade de afetar o clima local

Built types	Definition	Land cover types	Definition
 <p>1. Compact high-rise</p>	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	 <p>A. Dense trees</p>	Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
 <p>2. Compact midrise</p>	Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	 <p>B. Scattered trees</p>	Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
 <p>3. Compact low-rise</p>	Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	 <p>C. Bush, scrub</p>	Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.
 <p>4. Open high-rise</p>	Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	 <p>D. Low plants</p>	Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.
 <p>5. Open midrise</p>	Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	 <p>E. Bare rock or paved</p>	Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.
 <p>6. Open low-rise</p>	Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.	 <p>F. Bare soil or sand</p>	Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.
 <p>7. Lightweight low-rise</p>	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).	 <p>G. Water</p>	Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.
 <p>8. Large low-rise</p>	Open arrangement of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.	<b>VARIABLE LAND COVER PROPERTIES</b>	
 <p>9. Sparsely built</p>	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).	Variable or ephemeral land cover properties that change significantly with synoptic weather patterns, agricultural practices, and/or seasonal cycles.	
 <p>10. Heavy industry</p>	Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.	<p><i>b. bare trees</i></p> <p><i>s. snow cover</i></p> <p><i>d. dry ground</i></p> <p><i>w. wet ground</i></p>	<p>Leafless deciduous trees (e.g., winter). Increased sky view factor. Reduced albedo.</p> <p>Snow cover &gt;10 cm in depth. Low admittance. High albedo.</p> <p>Parched soil. Low admittance. Large Bowen ratio. Increased albedo.</p> <p>Waterlogged soil. High admittance. Small Bowen ratio. Reduced albedo.</p>

Fonte: Stewart, I. D; Oke, T. R. (2012)

A figura 04 demonstra algumas classes que variam de locais moderadamente abertos com eventuais obstáculos, áreas que apresentam obstáculos dispersos (edifícios) em distâncias relativas de 8 a 12 metros de altura dos obstáculos para objetos sólidos baixos (edifícios). Apresenta áreas moderadamente cobertas por edifícios baixos em separações relativas de 3 a 7 de altura do obstáculo e sem árvores altas, áreas densamente construídas sem muita variação da

altura do edifício, e áreas com a combinação de prédios baixos e altos. Esta estrutura demonstra classes das estruturas urbanas e o atrito entre as diversas superfícies urbanas, considerando a porcentagem de rugosidade, da área construída e a relação com o canyon urbano.

Mas não apenas a rugosidade influencia nos microclimas urbanos. Elementos como o relevo, radiação solar e ventilação combinam-se para produzir microclimas. Estes microclimas agem de tal forma que fazem com que certas porções dentro de uma área sejam mais vantajosas do que outras, conforme o clima e a estação.

O desenho urbano torna-se um importante condicionante do clima urbano através de características como rugosidade, mencionada anteriormente, porosidade, impermeabilidade do solo, densidade construída, ocupação do solo, horizontalidade e verticalidade, propriedades físicas dos materiais empregados na construção civil e, sobretudo a presença ou ausência de superfícies líquidas e manchas de vegetação na cidade (OLIVEIRA, 1988).

Referente à densidade e ocupação do solo e as áreas densamente construídas, detém elevada quantidade de superfícies artificiais, que irão colaborar para o aumento da temperatura, agravando quando a forma urbana não contribui para a dissipação do calor a partir dos processos de advecção. Estas alterações no microclima urbano intensificam as ilhas de calor urbanas, podendo afetar o conforto térmico nos espaços externos e, colaborar na elevação do consumo de energia artificial das edificações (figura 05) (MIYAMOTO, 2011).

Elementos como a horizontalidade e verticalidade também atua na composição dos microclimas urbanos, por serem determinantes no grau de insolação das estruturas urbanas. Estes elementos estão diretamente relacionados ao chamado Sky View Factor (SVF), ou fator de céu visível. Este conceito, trabalhado por diversos autores, como o próprio Oke (2006) delimita uma estimativa da área visível do céu a partir da malha urbana, sendo definido como razão entre a radiação recebida por uma superfície e por todo ambiente radiante. Este parâmetro está diretamente vinculado à capacidade de resfriamento das superfícies do recinto urbano.

Além da disposição e altura dos elementos construídos (Figura 05), outra variável que atua também na morfologia urbana e desempenho climático é a permeabilidade, ou o grau de infiltração da água no solo, que são determinantes para outras considerações, como o desenvolvimento vegetacional. Quando estas áreas são impermeabilizadas por pavimentos, sejam pavimentos asfálticos ou de concreto, estas superfícies por possuírem refletância solar baixa, chegam a altas temperaturas, consequência da sua incapacidade de infiltração, não evaporando o calor absorvido e armazenando-o.

Outro agravante tem relação com as propriedades dos tipos de materiais empregados na cidade. Grande parte desses materiais dispõe em sua estrutura características que facilitam a estocagem de calor, como concreto, asfalto, estruturas metálicas, e outros. A utilização desses

materiais implica disfunções nas edificações no qual são instalados, disfunções estas, no tocante as questões térmicas, uma vez que, em virtude das suas propriedades físicas, oferecem temperaturas internas e externas mais elevadas, sendo capazes de irradiar calor para o interior e exterior das estruturas.

Contrariamente a esta dinâmica, a evaporação encontra-se como processo importante para diminuição da temperatura seja superfícies artificiais ou naturais. Pertencente às superfícies naturais, a vegetação presente na cidade desempenha um papel importante na atenuação das condições térmicas elevadas no espaço urbano. A importância desta, não diz respeito apenas à evaporação/evapotranspiração exercida, mas na contribuição dos outros subsistemas do clima urbano, na medida em que absorve e infiltra a precipitação e minimiza os poluentes presentes na cidade.

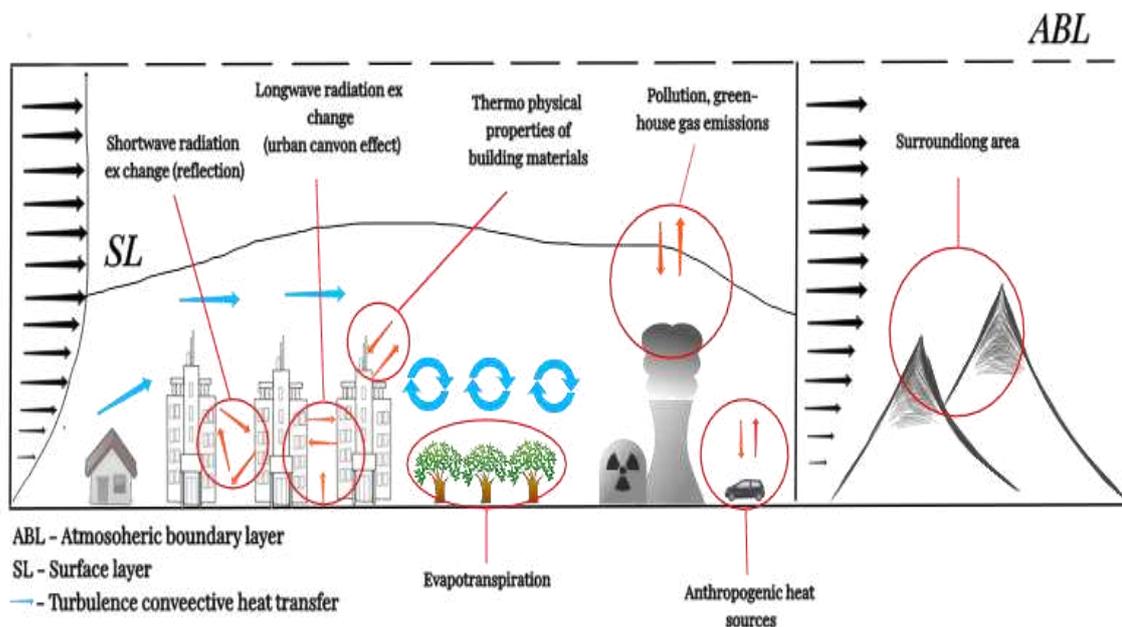
A vegetação que atua sobre os elementos climáticos em microclimas urbanos, contribuem para o controle da radiação solar, temperatura e umidade do ar, ação dos ventos e da chuva e para amenizar a poluição do ar (MASCARÓ, 1996).

Muita das abordagens de mitigação giram em torno da implementação de "infraestruturas verdes", constituída pela a implantação de ecossistemas naturais e vegetação (árvores de rua, telhados verdes e paredes verdes, etc.) em ambientes urbanos, auxiliando nas trocas de calor e ao mesmo tempo em que fornece um ambiente esteticamente mais agradável.

Pesquisas demonstraram a capacidade da infraestrutura verde para reduzir as temperaturas do ar e das superfícies, reduzir o fluxo de calor em edifícios, auxiliar no escoamento de águas pluviais, na remoção de poluentes do ar, atuando no resfriamento e restauração da eficiência energética, sendo uma opção de mitigação particularmente atraente devido aos vários benefícios que pode fornecer, apresentando custo relativamente baixo em comparação a outras possibilidades de mitigação (ASSIS et al, 2018; WONG *ET AL.*, 2003; CHEN, 2005; MCPHERSON *ET AL.*, 2003; WANG *ET AL.*, 2007).

Não só a vegetação que atua no controle dos contrastes térmicos, de acordo com Lombardo (1985) a presença de corpos de água nos ambientes urbanos podem gerar brisas locais, através do movimento de ar, além de absorverem radiação eletromagnética e transferi-la através da evaporação.

Figura 05 - A influência da forma urbana nos microclimas



Fonte: Valger, S. A; Fedorova, N. N. (2018). Adaptado pela autora.

### 2.3 Modelos em climatologia urbana

As abordagens e as técnicas empregadas nos estudos em climatologia urbana dependem das diferentes abordagens trabalhadas com o clima na cidade. Nas últimas décadas, empregar modelos nos estudos de clima urbano vem sendo bastante disseminado, por extrair informações multivariadas de diferentes escalas espaciais e temporais dos recintos urbanos.

O objetivo da modelagem em Climatologia é simular os processos e prever os efeitos resultantes nas mudanças e nas interações internas (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A aplicação das geotecnologias é indispensável para a construção de modelos capazes de representar o meio urbano com altos níveis de confiabilidade, detectando e mensurando as mudanças da paisagem urbanas em um contexto temporal atual e futuro. Autores como Baca *et al.* (2007), afirmam que a característica dinâmica da paisagem urbana exige que os modelos destinados a este estudo sejam adequados à abordagem e realidade, sendo fidedignos a este aspecto.

Os modelos em climatologia urbana são dispositivos de síntese eficazes na análise das alterações no espaço e no tempo e dos elementos que nela estão inseridos. Estes preceitos tornam possível o conhecimento dos agentes envolvidos na mudança espacial e como estes a influenciaram.

A modelagem dinâmica espacial constitui-se como modelos matemáticos inseridos em softwares destinados à simulação de cenários a partir da inserção de variáveis como vegetação,

população e tipos de uso e ocupação do solo urbano. Tais variáveis tendem a intensificar ou repelir os fenômenos que repercutem no espaço urbano, como as ilhas de calor.

Toda a cadeia de processos envolvidos na construção de cenários está incluso no geoprocessamento e na geoestatística. A aplicação do geoprocessamento para a análise espacial produz a construção de modelos capazes de representar o meio urbano com altos níveis de confiabilidade, detectando e mensurando as mudanças da paisagem urbanas em um contexto temporal atual e futuro. Autores como Baca et al. (2007), afirmam que a característica dinâmica da paisagem exige que os modelos destinados a este estudo sejam adequados à abordagem e realidade.

Para que se possa analisar e aplicar um modelo que leve em consideração à dinamicidade do ambiente urbano em questão, devem-se levar em consideração cinco condições básicas: o espaço como uma entidade não homogênea, tanto nas propriedades como nas estruturas; as vizinhanças como relações não estacionárias; a regra de transição como regra não universal; a variação no tempo como um processo regular e irregular; e o sistema como um ambiente aberto à influência externa (COUCLELIS, 1997).

Vários aspectos são relevantes na implantação da análise espacial dinâmica, e é de extrema importância a representação do tempo e do espaço integrada a um modelo computacional consistente. O tempo pode ser tratado de forma linear, ramificada ou cíclica. O tempo linear considera uma ordem de precedência entre pontos no tempo, no ramificado o mesmo pode ter um ou mais antecessores e sucessores e, por fim, o cíclico aplica-se para modelar processos recorrentes (EDELWESS E OLIVEIRA, 1994; PEDROSO E CAMARA, 2007).

Quanto à variação temporal, duas possibilidades podem ser aplicadas: o tempo contínuo ou discreto. Uma variável temporal contínua é usada em processos que demandam medidas de tempo com níveis arbitrários de precisão, e uma variável temporal discreta é usada quando o tempo é medido em certos pontos ou intervalos (PEDROSO E CAMARA, 2007).

Outro aspecto fundamental quando se trata de análise espacial dinâmica diz respeito ao conceito de espaço e no âmbito da ciência geográfica esse espaço pode ser de dois tipos: o espaço absoluto, que representa o palco das coisas e eventos, e o espaço relativo, constituído pelas relações entre as coisas e eventos (COUCLELIS, 1997).

O último aspecto e o mais relevante é o próprio modelo. Este deve responder a três questões: quais variáveis contribuem para explicar o fenômeno; quais são os processos existentes por trás do fenômeno; e como o processo evolui e onde ocorrem os fenômenos, sendo o modelo composto por três elementos: as variáveis, os relacionamentos e os processos (LAMBIN, 1994).

Pertencente à tipologia, os modelos podem ser empíricos e de sistemas. Os modelos empíricos focalizam a disposição entre as variáveis do modelo a partir da suposição de que os relacionamentos observados no passado continuarão no futuro, enquanto os modelos de sistemas são descrições matemáticas de processos complexos que interagem entre si enfatizando as interações entre todos os componentes de um sistema (LAMBIN, 1994). O quadro 01 apresenta uma síntese dos modelos empíricos e de sistemas.

Quadro 01 - Resumo dos modelos e suas potencialidades e limitações

Tipo	Modelo	Por que	Quando	Onde
<b>Empíricos</b>	Cadeias de Markov	Não pode explicar a razão de um fenômeno por ser processo estocástico e não suportar a inclusão de variáveis exógenas.	Pode prever a evolução de processos estacionários.	Pode prever distribuições espaciais de elementos do modelo se for combinado com GIS.
	Logístico de Difusão	Permite a inclusão de poucas variáveis exógenas, entretanto é um modelo descritivo, não suportando investigações exploratórias.	Suporta a dimensão temporal, podendo prever a evolução de processos não estacionários.	Pode prever distribuições espaciais de elementos do modelo se for combinado com GIS.
	Regressão	Contribui para identificar forças direcionadoras, entretanto são modelos descritivos, não sendo capaz de estabelecer relações causais entre as variáveis.	Pode prever a evolução de processos estacionários.	Não são modelos espaciais, entretanto podem ser combinados com GIS.
<b>Sistemas</b>	Simulação de Ecossistemas	Modelo exploratório que requer descrições funcionais dos sistemas ecológicos.	Pode formular cenários de mudanças futuras no uso do solo, baseado nos parâmetros do modelo.	Apresenta dificuldades na representação espacial,
	Simulação Espacial Dinâmica	Requer modelos funcionais espacialmente definidos.	Pode prever mudanças temporais no uso do solo, baseado nos parâmetros do modelo.	Pode prever evolução de padrões espaciais em processos determinísticos.

Fonte: Adaptado de Pedroso e Camara (2007).

## 2.4 Mapa climático urbano (UCM)

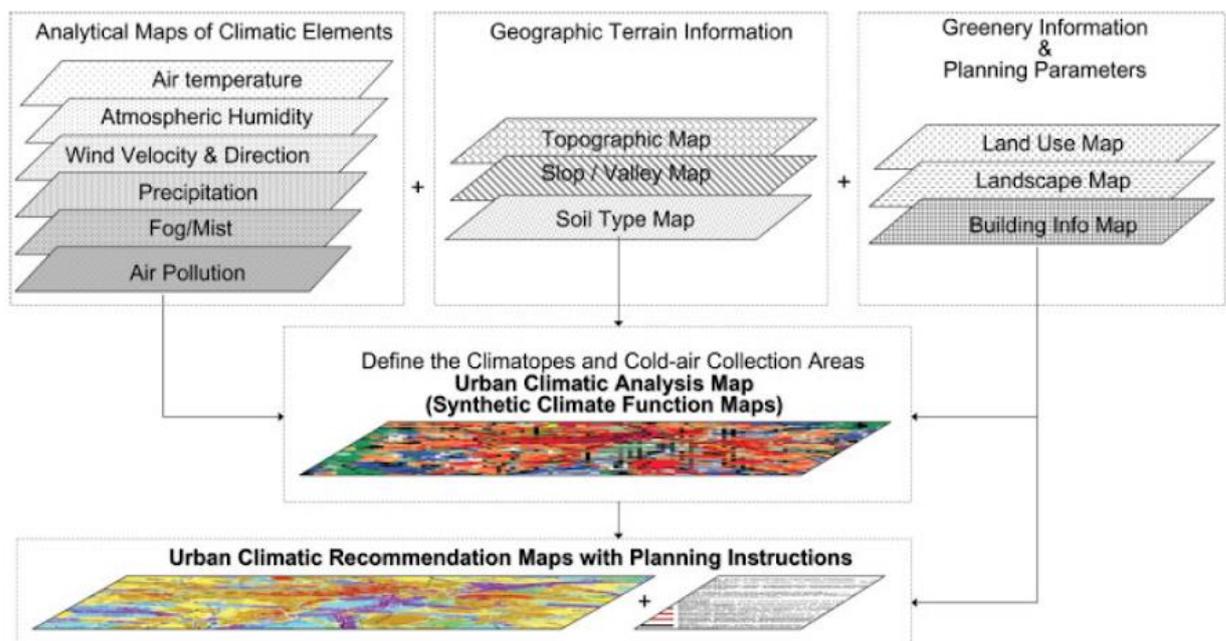
Uma ferramenta importante para criar uma plataforma de informações climáticas multivariada é o Urban Climatic Map (Figura 06). Desde sua introdução, há quarenta anos o interesse mundial nesse tipo de estudo tem crescido. Atualmente, diversos países ao redor do mundo vêm processando seus próprios mapas climáticos e desenvolvendo diretrizes e medidas de mitigação para práticas de planejamento que incluam a questão global das mudanças climáticas.



O UCM disponibiliza uma avaliação clara da compreensão científica do clima na cidade tendo como base a de entrada parâmetros e dados de uso da terra sob condições sazonais anuais ou específicas.

O resultado é a simulação do cálculo dos modelos de macro e meso-escala, especialmente na análise do fluxo de ar e balanço energético. Nessa perspectiva, existem aspectos analíticos climáticos do mapeamento climático urbano. O primeiro, o ambiente do vento, que se concentra em capturar os padrões locais de circulação de ar (por exemplo, canalizar vento, terra e brisa do mar, montanha vento e vale, e direções de vento prevalecentes locais), as vias aéreas existentes e zonas potenciais de ventilação (por ex. zonas de produção de ar frio), bem como a localização das barreiras de rugosidade, resultado dos efeitos de edifícios ou vegetação. O segundo refere-se à questão térmica do ambiente, concentrando-se em analisar o efeito das ilhas de calor e as variações bioclimáticas urbanas. Estes aspectos analíticos são tomados como as camadas básicas de entrada do mapeamento climático urbano, e desempenham um papel crucial na formação e compreensão da condição climática urbana atual.

Figura 07 – Estrutura do mapeamento climático urbano



Fonte: REN *et al.*(2011)

A importância no emprego dessa metodologia está, sobretudo pela clareza na e compreensão climática da cidade, tornando-se útil e podendo ser implementadas em processos reais de planejamento físico a nível municipal a partir dos planos diretores das cidades, planos de zoneamento e planos de uso da terra. Como as declarações relacionadas ao planejamento referem-se a áreas específicas, recomenda-se a utilização do UCM como base informativa, isso

por que, os mapas gerados são considerados ferramentas visuais significativas para o planejador e demais interessados no clima urbano nas cidades.

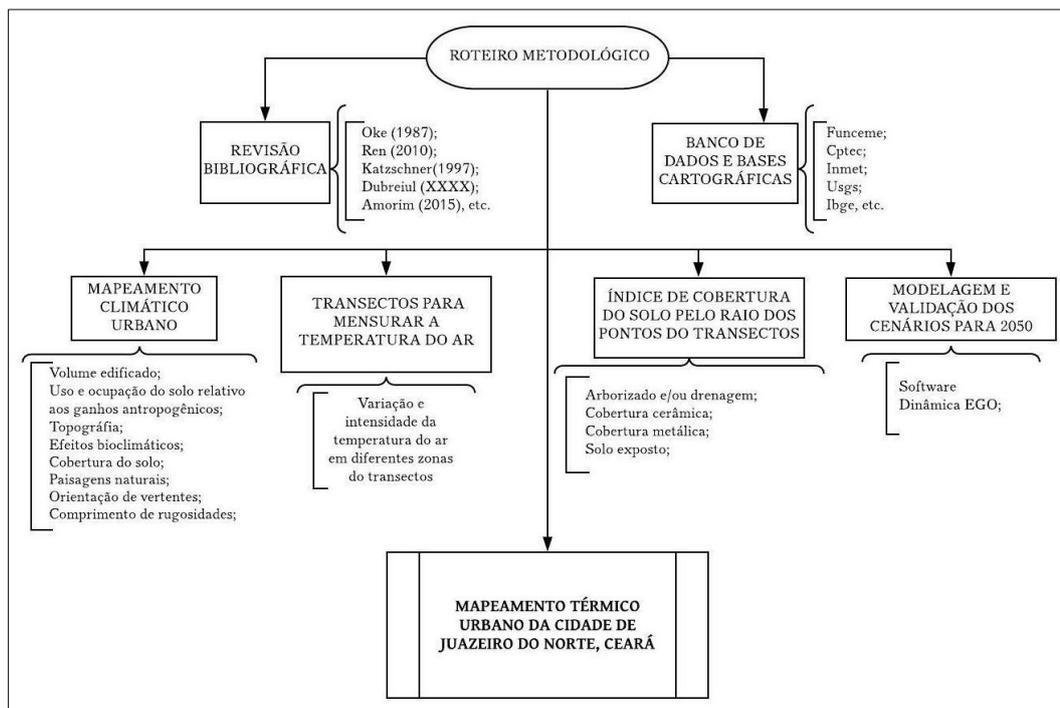
Dentre os primeiros trabalhos desenvolvidos no Brasil empregando essa metodologia destacam-se os estudos realizados nas cidades de Belo Horizonte (Vincent), João Pessoa (Souza, 2010) e em Fortaleza (Lima Júnior, 2018).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o cumprimento dos objetivos propostos da pesquisa recorreu-se a setorização das atividades desenvolvidas. Inicialmente foi realizada a revisão bibliográfica no intuito de tratar os temas centrais da pesquisa. Foi feito um banco de dados e uma base cartográfica da área investigada com base em informações disponibilizadas, sobretudo em órgãos públicos. Realizou-se o mapeamento climático urbano da cidade de Juazeiro do Norte para estabelecer e identificar os distintos setores da cidade quanto a sua sensibilidade climática.

No intuito de validar os dados do modelo realizou-se transectos móveis em dois períodos distintos (seco e chuvoso) nos anos de 2018 e 2020 e com base nos pontos dos transectos móveis desenvolveram-se as análises das características de uso e ocupação do raio dos pontos mensurados. Empregou-se as variáveis do mapeamento climático urbano para processar um modelo de cenário climático da cidade de Juazeiro do Norte do ano de 2050. Todos os dados coletados passaram por análise estatística para delimitar o nível de correlação das variáveis estudadas. Para a obtenção dos resultados da pesquisa, estruturou-se o seguinte fluxograma que dispõe como a mesma foi organizada metodologicamente, estabelecendo estruturalmente as etapas que foram e serão desenvolvidas para alcançar os objetivos da pesquisa (Figura 08):

Figura 08 – Roteiro metodológico



Fonte: A autora

### 3.1 Revisão Bibliográfica

Na revisão bibliográfica buscou-se o universo de contribuições científicas (Quadro 02) que tratassem dos eixos centrais da temática abordada, a exemplo, dos estudos de clima urbano em regiões tropicais, quais as variáveis que contribuem para o balanço energético nas cidades e as metodologias utilizadas para sua mensuração, especialmente o mapeamento climático urbano, caracterização do raio dos pontos do transecto e nas zonas climáticas locais. Nesta jornada, recorreu-se a autores como os descritos no quadro abaixo:

Quadro 02 - Principais autores e obras utilizadas para na pesquisa

<b>Autores</b>	<b>Obras</b>
Amorim, (2015)	Modelagem da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP), Brasil.
Argüeso <i>et al</i> , (2015)	Effects of City Expansion on Heat Stress under Climate Change Conditions.
Assis <i>et al</i> , (2017)	Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil.
Bacca <i>et al</i> , (2007)	Modelagem da Dinâmica da Paisagem com Processos de Markov.
Chao <i>et al</i> , (2011)	Program SPADE: species prediction and diversity estimation.
COUTTS, (2011)	Airborne thermal remote sensing for analysis of the Urban Heat Island.
Hayden, (2010)	Microclimate and human factors in the divergent ecology of <i>Aedes aegypti</i> along the Arizona, US/Sonora, MX Border.
Katzschner (2005)	The contribution of urban Climate studies to a new urbanity.
Miyamoto, (2011)	A influência das configurações urbanas na formação de microclimas: estudo de casos no município de Vitória-ES.
Oke (2006)	Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.
Pengelly, (2007)	Anatom of heat waves and mortality in Toronto.
Petter Hoffmann, (2011)	Weather Pattern Classification to Represent the Urban Heat Island in Present and Future Climate.
Ren, (2011)	Urban climatic map studies: a review, International Journal of Climatology.
Rosenzweig <i>et al</i> , (2006)	Mitigating New York city's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces
Stewart, I. D; Oke, T. R. (2012)	Local Climate Zones for Urban Temperature Studies.
Torres, (2017)	Forma e conforto: estratégias para (re)pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática.
Vincent, (2014)	Geographical Information, Remote Sensing and Climatology.

Elaboração: Autora

### 3.2 Banco de dados e base cartográfica

Para a criação do banco de dados e da base cartográfica da cidade de Juazeiro do Norte, recorreram-se às informações disponibilizadas por órgãos públicos que incluem dados referentes à dinâmica atmosférica regional, caracterização geocológica da cidade de Juazeiro do Norte, bem como elementos direcionados aos aspectos socioeconômicos. Dentre os órgãos consultados para aquisição desses dados, enfatiza-se: a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME); Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC);

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Serviço Geológico do Brasil (CPRM); Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA); Agência Nacional das Águas (ANA); Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) e Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE); Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e Secretaria de Infraestrutura do Ceará (SEINFRA).

### **3.3 Espacialização dos dados climáticos**

Quanto à espacialização dos dados climáticos, esta etapa foi realizada a partir das informações dos postos da FUNCEME distribuídos no estado do Ceará e no caso do município de Juazeiro do Norte, há quatro, sendo denominados: Aeroporto, Juazeiro do Norte, Sítio novo-Vila Padre Cícero, Vila São Gonçalo-Marrocos.

Dos quatro postos pluviométricos utilizou-se apenas o posto Juazeiro do Norte (1981-2010), para representar a maior série de dados referentes a totais anuais, valores de quadra chuvosa, temperatura média e precipitação média, muito embora, os postos restantes, também foram analisados.

Com base na metodologia estatística do box plot proposta por Vieira (1999) foi realizada a classificação do regime pluviométrico que fornece a partir dos totais mensais de chuva os intervalos máximos, médios e mínimos. A base de dados empregada do município de Juazeiro foi uma série compreende 30 anos correspondendo de 1981-2010. Os valores de precipitação foram distribuídos de forma crescente, onde delimitou-se a mediana e os quartis, sendo o primeiro (1º) e terceiro (3º) quartil os valores habituais (normais). O próximo passo destinou-se a delimitação do range, responsável por classificar os valores menos habituais e por fim demarcaram-se os valores secos e chuvosos, onde os valores secos encontraram-se no limite do primeiro (1º) quartil e o início do range negativo e os valores chuvosos situaram-se entre o limite do terceiro (3º) quartil e o início do range positivo (GALVANI, 2004).

Os dados de temperatura foram obtidos no software Celina, que tem como base as regiões climáticas do Ceará, empregando o método estatístico regressão linear múltipla. A partir da inserção de dados referentes aos postos pluviométricos como latitude, longitude e altitude o software estima a média mensal da temperatura do ar. O motivo da utilização do software Celina para estimar temperatura do ar está vinculado à ausência de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na cidade de Juazeiro do Norte, gerando uma carência no acesso às informações de algumas variáveis climáticas como a própria temperatura, descrita

anteriormente, mas também dos valores de pressão atmosférica, umidade relativa do ar, radiação solar, direção e velocidade do vento.

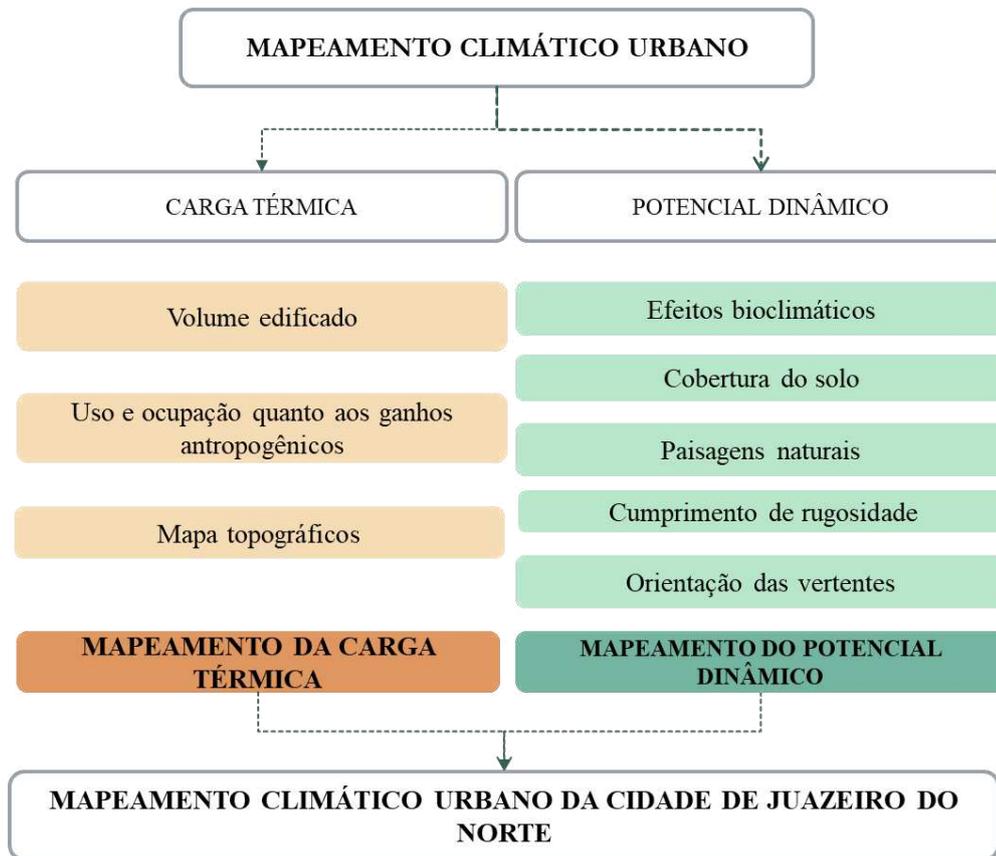
### **3.4 Mapeamento climático urbano**

Na terceira etapa da pesquisa, encontra-se o mapeamento climático urbano (Figura 09) da cidade de Juazeiro do Norte, no qual objetiva avaliar os elementos que condicionam o balanço energético no ambiente urbano. Esta metodologia proposta pelo arquiteto alemão Katzschner (1997) representa o resultado da interação dos aspectos associados à carga térmica e ao potencial dinâmico, sendo que o primeiro aspecto refere-se ao ganho e armazenamento térmico, e o segundo diz respeito ao arrefecimento.

As variáveis analisadas para a produção do mapa climático estão condicionadas a pesos negativos quando atuam no arrefecimento e positivos quando contribuem para o aquecimento. A ponderação desses pesos está intrinsecamente condicionada pelas características ambientais e urbanas dos espaços antropizados, portanto, o desenvolvimento desse modelo varia da realidade de cada cidade, aspecto esse construtivo uma vez que não busca tratar o clima do ambiente urbanizado de forma cartesiana.

Em meio às potencialidades em empregar-se essa metodologia evidencia as possibilidades de classificar o solo urbano em diferentes microclimas, incluso possíveis áreas de formação de ilhas de calor, no qual essas informações podem dialogar com outras fontes dados, na intenção de assimilar de modo tangível o clima do espaço urbano.

Figura 09 - Estrutura do Mapeamento Climático Urbano



Fonte: Elaboração da autora.

Para realizar o mapeamento climático urbano da cidade estudada, inicialmente desenvolveu-se o mapeamento da carga térmica, a partir da identificação das variáveis que colaboram com o ganho e armazenamento de calor (Mapa de volume edificado, Mapa de uso e ocupação do solo relativo aos ganhos antropogênicos, Mapa da topografia). Seguidamente foi feito o mapeamento do potencial dinâmico (Mapa de efeitos bioclimáticos, Mapa de cobertura do solo, Mapa de paisagens naturais, Mapa de orientação de vertentes e Mapa de comprimento de rugosidades) que atuam no arrefecimento, descritos detalhadamente a seguir.

### 3.4.1 Mapeamento da carga térmica

#### 3.4.1.1 Mapa de volume edificado

Para a elaboração do mapa de volume edificado foram utilizados dados de uso e ocupação a partir de imagens de alta resolução do satélite *Geoeye* da cidade de Juazeiro do Norte. O imageamento dos sensores acoplados a bordo do satélite *Geoeye* é feito com 0,41 cm, e as imagens são entregues com 0,40 ou 0,50 m de resolução nos modos pancromáticos. Foram

extraídas informações com base no processo de vetorização manual, ou também denominado classificação manual, mapeando o total de quatro classes, sendo elas: área industrial, área residencial (1 e 2 pavimentos), aglomerados subnormais, verticalização intermediária (03 a 05 pavimentos) e verticalizado (acima de 05 pavimentos). Realizado a vetorização das referidas classes, o arquivo “*shp*” foi convertido para “*tiff*”, onde posterior esta imagem foi reclassificada gerando pesos para cada classe de uso do solo, indo de 0 a 5.

#### *3.4.1.2 Mapa de uso e ocupação do solo relativo aos ganhos antropogênicos*

Referente ao mapa de uso e ocupação do solo relativo aos ganhos antropogênicos, foram utilizadas as classes do mapa anterior que estão associados à geração de calor proveniente das atividades humanas. A partir do mapeamento anterior, foi realizada uma reclassificação, setorizando as classes aglomerados subnormais, área residencial e áreas de verticalização intermediária, onde as áreas que apresentam baixo potencial de aquecimento receberam o peso 0. Já as classes de áreas industriais, áreas verticalizadas e áreas comerciais demandam alto consumo de energia, tornando-se áreas com alto potencial de aquecimento, seguindo este raciocínio estas classes receberam o peso 01.

#### *3.4.1.3 Mapa altimétrico*

Para o desenvolvimento do mapa altimétrico, utilizou-se imagem proveniente de sensoriamento ativo, especificamente imagens do satélite *Alos*, lançados pela *Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)* e disponibilizados no *Earth Explorer* do *United States Geological Survey (USGS)*, onde essas imagens apresentam uma resolução espacial de aproximadamente 14 metros. De acordo com a literatura, a topografia dependendo do seu posicionamento reduz o movimento do ar, nesse sentido, as classes de menores valores tendem a apresentar o efeito da Ilha de Calor Urbana (ICU) mais acentuado. Nesse sentido foram estabelecidas três classes de altura topográfica a serem utilizadas: de 100 a 200 metros (peso 03), a segunda classe de 200 a 300 metros (peso 02) e a terceira classe de 300 a 500 metros (peso 01), onde foi aplicada reclassificação, com o intuito de verificar a influência da altimetria na formação das ilhas de calor.

### **3.4.2 Mapeamento do potencial dinâmico**

#### *3.4.2.1 Mapa de efeitos bioclimáticos*

Para o desenvolvimento do mapa de vegetação urbana, utilizou-se o Índice de Vegetação Ajustada para o Solo (SAVI) empregando a imagem do satélite Landsat 8, que

apresenta resolução espacial de 30 metros. Este índice é idêntico aos parâmetros utilizados pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), no entanto, introduz-se no SAVI a uma constante “L” que tem a função de minimizar o efeito do solo no resultado final do índice (equação abaixo).

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{iv}-\rho_v)}{L+\rho_{iv}+\rho_v} \quad (1)$$

onde:

L= Constante que minimiza o efeito do solo e pode variar de 0 a 1.

L= 1 (para densidades baixas de vegetação);

L= 0,5 (para densidades médias);

L= 0,25 (para densidades altas);

#### **3.4.2.2 Mapa de cobertura do solo por edificações**

Empregando o mapa de volume edificado como base, calculou-se estatisticamente os setores das zonas de presença de edificações e ausência da mesma por cada bairro da cidade de Juazeiro do Norte, classificando de acordo com os seus padrões. Nesse sentido estabeleceu-se as seguintes classes: classe 01 com alto potencial (considerando entre 50% a 100% de cobertura do solo), classe 02 com médio potencial (entre 0 e 50%) e classe 03 com baixo potencial (áreas impermeáveis livres/áreas verdes).

#### **3.4.2.3 Mapa de vegetação**

Para o desenvolvimento do mapa de paisagens utilizou-se o Índice de Vegetação Ajustada para o Solo (SAVI), no qual setorizou as classes de vegetação rasteira e classe de arborização, ponderada de tal forma que a vegetação rasteira, apresenta peso -2 e vegetação arbórea com o peso -1.

#### **3.4.2.4 Mapa de declividade**

O mapa de declividade da cidade de Juazeiro do Norte foi desenvolvido a partir das imagens provenientes do sensoriamento remoto ativo, denominadas Alos. Essas imagens possuem três sensores à bordo, sendo o radiômetro *Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM)* capaz de adquirir imagens tridimensionais detalhadas da superfície terrestre; o radiômetro multiespectral *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2 (AVNIR-2)* voltado aos mapeamentos de uso e cobertura das terras e o por último o sensor de microondas

*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR)* capaz de obter imagens diurnas e noturnas sem a interferência de nebulosidade. Essas imagens foram submetidas na ferramenta *Spatial Analysis* no ArcMap com medida de saída para aumento percentual, e posterior foi realizado a classificação em 4 classes, sendo elas indiferente (áreas planas), baixa (áreas com declividade de 1 a 5%), média (áreas com declividade de 6 a 40%) e alta declividade (áreas com acima de 40%).

#### ***3.4.2.5 Mapa de orientação de vertentes***

A mesma imagem *Alos* que foi utilizada para realizar o mapa de declividade foi utilizada para desenvolver o mapa de orientação das vertentes, a partir da ferramenta *Aspect of Spatial Analysis*, responsável em realçar as orientações das vertentes. Nesse mapeamento foram setorizadas em 4 classe, sendo: i) Oeste, Sudoeste, Noroeste; ii) Norte, Nordeste; iii) Sul; iv) Sudeste, Leste.

#### ***3.4.2.6 Mapa de comprimento de rugosidade***

Utilizando o mapa de volume edificado como base, reclassificou-se as áreas em 3 classes, no intuito de destacar os setores com maior potencial de arrefecimento, classificando as áreas da seguinte forma: áreas de alta rugosidade com as zonas edificadas (incluindo as zonas residenciais, industriais, e verticalizadas), áreas de baixa rugosidade com as zonas impermeabilizadas sem edificações (com as vias, e corpos hídricos) e por último, áreas média rugosidade (que são as áreas verdes não edificadas, que possuem efeito acumulativo favorável).

Com o mapeamento climático urbano (Quadro 03) e a compartimentação dos climas locais, delimitaram-se os percursos para mensurar a temperatura do ar da cidade de Juazeiro do Norte através da metodologia de transectos móveis no intuito de validar as informações geradas no referido modelo.

Quadro 03 - Detalhamento dos pesos adotados no MCU

Variável	Pesos	Justificativa
Mapa de volume edificado	0 a 5	Variável com peso regulado de acordo com a repercussão da geometria urbana no microclima urbano, onde quanto mais verticalizado maior o peso adotado.
Mapa de uso e ocupação do solo relativo aos ganhos antropogênicos	0 a 1	Variável com o peso regulado de acordo com a geração de potencial de aquecimento, onde quanto maior o potencial, maior o peso adotado.
Mapa altimétrico	1 a 2	Variável com o peso regulado de acordo com a altitude do relevo, onde quanto mais alto, menor o peso.
Mapa de efeitos bioclimáticos	0 a -1	Variável com o peso regulado de acordo com a atuação da presença de vegetação, onde há presença da vegetação o peso apresenta-se negativo.
Mapa de cobertura do solo por edificações	0 a -2	Variável com o peso regulado de acordo com a presença ou não de edificações, onde quanto maior sua distribuição, maior o peso adotado.
Mapa de vegetação	0 a -2	Variável com o peso regulado de acordo com tipo vegetacional, onde quanto maior seu porte, o peso apresenta-se negativo.
Mapa de declividade	0 a (-3)	Variável com o peso regulado de acordo com a dinâmica de circulação do ar, onde quanto maior a declividade o peso apresenta-se negativo.
Mapa de orientação de vertentes	0 a (-2)	Variável com o peso regulado de acordo com o direcionamento da vertente, que dependendo do seu posicionamento podem receber maior ou menor incidência solar, onde quanto menor incidência, o peso apresenta-se negativo.
Mapa de comprimento de rugosidade	0 a (-2)	Variável com o peso regulado de acordo com o potencial de arrefecimento, onde quanto maior a rugosidade o peso apresenta-se próximo a 0.

Fonte: Autora

### 3.5 Transectos móveis

Para mensurar a temperatura do ar a partir dos transectos móveis noturnos, inicialmente ocorreu à delimitação dos pontos através do software Google Earth e tais pontos foram selecionados levando-se em consideração as características do sítio urbano, assim buscou-se desenvolver trajetos que enquadraram todos os usos do solo e aspectos ambientais, na intenção de obter dados que respondam às diferentes influências.

Ainda nessa etapa, foi delimitado o horário de execução dos transectos, preferindo o período noturno (21:00 h), pois segundo Amorim (2015) este horário é adequado para este tipo de registro, uma vez que as temperaturas não experimentam naturalmente mudanças rápidas.

Foram realizados quatro transectos, contemplando dois trajetos com duração de cinquenta minutos. O primeiro e o terceiro transectos móveis realizaram-se nos percursos sul-norte-leste (25 registros) e segundo e quarto transectos realizaram-se nos percursos leste-oeste (32 registros). É válido ressaltar, que as datas dos transectos realizados no ano de 2020 tiveram suas datas iniciais alteradas em virtude das restrições sanitárias para conter a disseminação

causada pela pandemia do vírus SARS CoV-2, responsável pela doença infecciosa Covid-19 (Coronavírus).

Inicialmente, os transectos do ano de 2020 seriam realizados respeitando os mesmos períodos (chuvoso e seco) do ano de 2018, no entanto, devido às barreiras sanitárias localizadas nas saídas dos viadutos da CE-292, o transecto tornou-se inviável, uma vez que ambos os trajetos finalizavam na divisa dos municípios entre Juazeiro e Crato. Desse modo, as coletas foram adiadas e realizadas a partir do início das flexibilizações das medidas para conter o vírus, como observado no Quadro 04.

Quadros 04 – Dados dos transectos móveis

<b>Transecto</b>	<b>Trajeto</b>	<b>Pontos</b>	<b>Período</b>	<b>Data</b>
1	Sul-norte-leste	25	Final período chuvoso	11/06/2018
2	Leste-oeste	32	Período seco	23/11/2018
3	Sul-norte-leste	25	Período seco	22/09/2020
4	Leste-oeste	32	Início do período chuvoso	29/12/2020

Fonte: Autora.

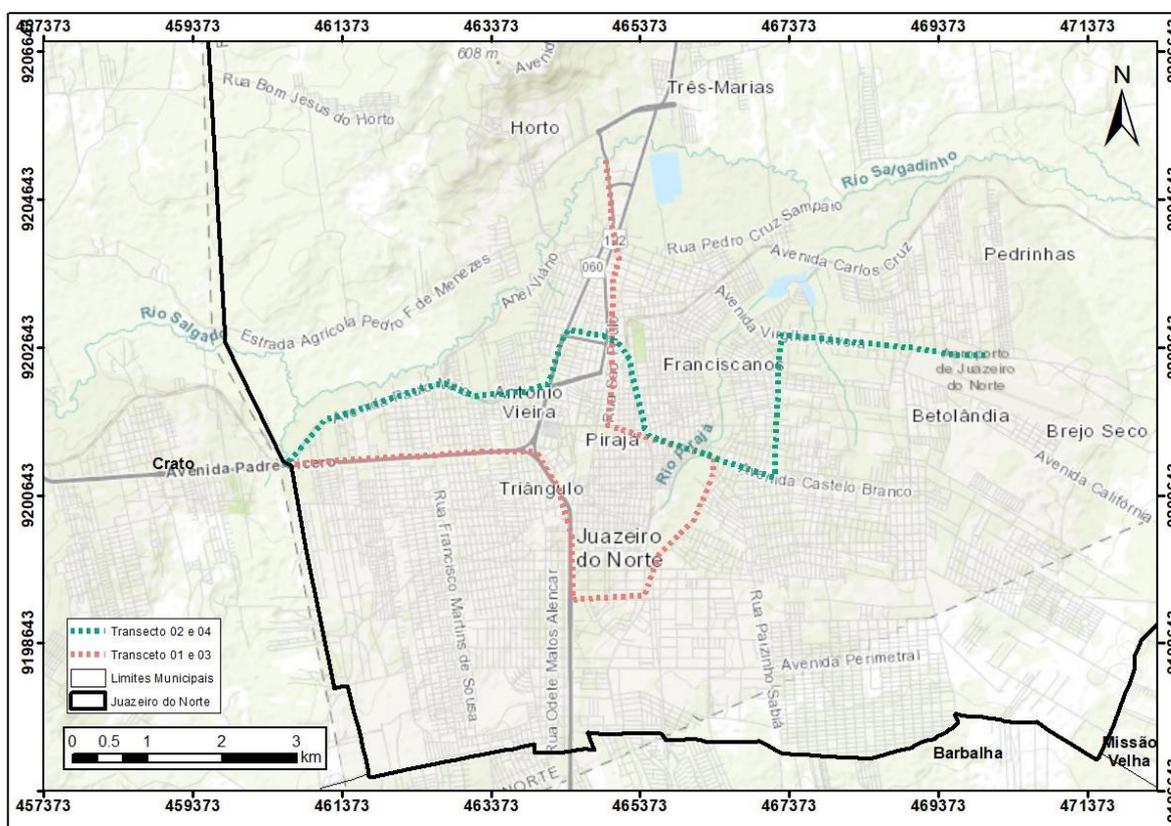
O trecho dos transectos (Mapa 02) considerou as características geocológicas do sítio urbano para coleta dos pontos, tais como o relevo, a morfologia urbana, uso da terra e da vegetação, os tipos de materiais empregados na construção, áreas abertas, e dentre outros, ponderando as variáveis que colaboram para o armazenamento térmico e do potencial dinâmico, que juntos refletem no balanço energético da cidade. Os registros foram executados utilizando um termômetro digital com sensor externo com cabo de 2m Icotem, responsável por registrar a temperatura do ar interna e externa e um receptor GPS (Global Positioning System) modelo Garmin Map 76CSX para marcação das coordenadas UTM, sendo registradas em todos os pontos. O transecto móvel iniciou-se em áreas periféricas e menos urbanizadas, onde na literatura a temperatura é descrita como mais amena, adentrando o setor central e mais urbanizada da cidade, onde as temperaturas tendem ser mais elevadas.

Para espacialização dos dados em mapas e gráficos, estes foram realizados utilizando o software ArcGis e Surffer. Nos primeiros mapas objetivou-se apresentar o trajeto percorrido pelos transectos contemplando os setores norte, sul, leste e oeste da cidade e indicando o número de pontos coletados, bem como variação da temperatura do ar no momento do registro. Para o desenvolvimento do segundo mapa utilizou-se a interpolação dos dados de temperatura

e suas respectivas coordenadas através do método de Ponderação do Inverso da Distância (IDW), método este, baseado na distância ponderada de um ponto amostral.

Logo, este levantamento preliminar da área de estudo foi realizado como base e reconhecimento da área investigada. Contudo, se faz necessária à expansão do horizonte de dados para validação espacial e estatística do modelo processado no mapeamento climático urbano, tais variáveis bem como, intervalo temporal serão apresentados no tópico a seguir.

Mapa 02 – Trajetos dos transectos móveis na cidade de Juazeiro do Norte



Fonte: A autora.

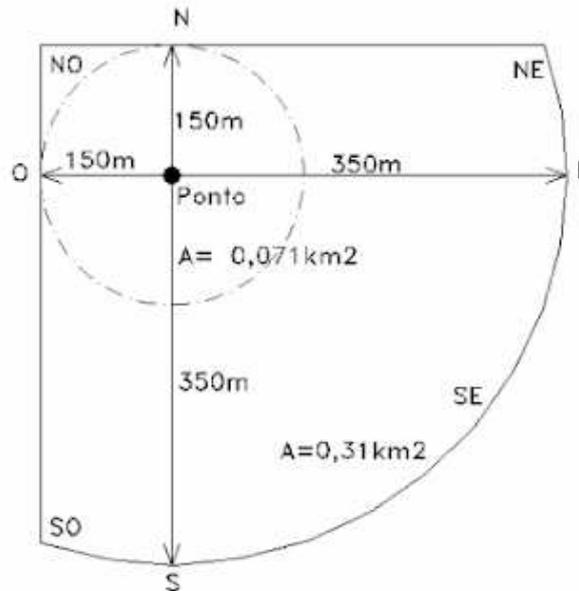
### 3.6 Índice de cobertura do solo dos pontos

A partir dos transectos, foram selecionados seis pontos para a caracterização do seu entorno em função das suas diferenciações quanto ao uso de cobertura do solo dentro do espaço interurbano da cidade de Juazeiro do Norte e sua influência nos microclimas. Segundo a literatura, para análise das variáveis é determinado para cada unidade climática local um raio de 150 metros da localização do ponto de coleta, nas direções norte e oeste (Katzschner *et al.*,

2002) e um raio de 350m nas direções leste e sul, de maneira que se obtenha o valor total de 500 m (Figura 10) que correspondesse à medida de 0,5 km defendida por Oke (2006).

No entanto, considerando a ausência de imagens de alta resolução para região, e que a classificação da imagem foi feita empregando a resolução da banda pancromática do satélite Landsat 8 que corresponde a 15 metros, adaptou-se a metodologia para um único buffer de 500 metros no total, isso porque essa resolução não permite um grau de detalhamento dos objetos que compõem a urbe.

Figura 10 – Composição da área de análise do entorno dos pontos



Fonte: Katzschner *et al.*, 2002.

Para a execução dessa etapa foi feita a classificação supervisionada do produto orbital (banda 8 - pancromática) proveniente da série Landsat 8, no *software Arc Gis* e o algoritmo usado pela ferramenta foi o *Maximum Likelihood Classification* (Classificação de Máxima Verossimilhança), que considera as médias e covariâncias das assinaturas de classe ao atribuir cada célula a uma das classes representadas no arquivo de assinatura.

O índice de cobertura do solo foi obtido a partir da setorização das classes de coberturas de cada ponto experimental, sendo:

- a) Arborizado/drenagem para representar áreas de vegetação tanto isolada como associadas a redes de drenagem;
- b) Cobertura cerâmica para representar o tipo mais comum de cobertura em áreas residenciais;
- c) Cobertura metálica/concreto para representar cobertura e/ou calçamentos, mais associados a prédios, ginásios e estacionamentos;

- d) Solo exposto para representar possíveis áreas agrícolas/pecuárias e especulação imobiliária.

Ao fim desta etapa, foi gerado os buffers de 500 metros e extraído as classes no formato vetor almejando realizar o cálculo das respectivas áreas. Tal procedimento objetiva analisar a importância dos elementos do uso do solo como um elemento de controle climático para o campo térmico da área.

### 3.7 Local Climate Zones (LCZs)

Buscando criar um novo sistema de classificação que ultrapassasse as limitações da tradicional classificação urbana rural, Stewart e Oke (2012) propôs um sistema de classificação da paisagem nomeado como *Local Climate Zones* (LCZ), traduzido como zonas climáticas locais com o objetivo de compartimentar a paisagem de acordo com classes/zonas de escala local e de natureza climática (OKE, 2012) .

As LCZs é uma proposta que procura setorizar a paisagem de acordo com as propriedades da morfologia da superfície e cobertura da terra, ou seja, ao passo que a forma do meio urbano influencia o clima local através da alteração da circulação do ar, bem como o transporte de calor, a cobertura da terra altera o albedo, o fornecimento de umidade e o potencial de aquecimento/arrefecimento do solo (CARDOSO, 2017).

As investigações empregando as zonas climáticas possibilita identificar a carga negativa do processo de ocupação e sua alteração no microclima urbano, tornando-se um parâmetro internacional de identificação da morfologia urbana e de seus impactos na temperatura local (ZAMBONATO *ET AL*, 2021).

Para esta etapa da pesquisa, realizou-se o mapeamento das potenciais LCZs, a partir da classificação supervisionada no *software Arc Gis* utilizando a banda pancromática de 15 metros de resolução do satélite Landsat 8 sensor *Operational Land Imager* (OLI).

A elaboração do mapa das zonas climáticas de Juazeiro foi alicerçada a partir da interpretação visual adaptando a metodologia dos formuladores, uma vez que as limitações sofridas pela resolução oferecida pela imagem de satélite não forneceu detalhe suficiente para identificação de outras zonas climáticas. Nesse sentido, foram identificadas as seguintes classes: LCZ B - Vegetação arbórea esparsa; LCZ A - Vegetação arbórea densa; LCZ F - Solo exposto; LCZ D - Vegetação rasteira; LCZ 10 – Indústria; LCZ 7 - Compacta pouco consolidada de baixa elevação; LCZ 3 – Compacta de baixa elevação; LCZ 2/4 - Compacta de baixa e alta elevação; LCZ 3/4 - Compacta de alta e média elevação.

### **3.8 Análise e interpretação dos dados**

Por fim, foi feita a análise das informações extraídas das demais etapas, sobretudo no intuito de compreender a dinâmica climática da cidade estudada, e contribuir na elaboração futura de medidas propositivas visando melhorias na qualidade ambiental da cidade.

## 4 ASPECTOS CLIMÁTICOS E GEOURBANOS DA CIDADE DE JUAZEIRO DO NORTE

### 4.1 Caracterização Climática

A cidade de Juazeiro do Norte, por encontrar-se próximo a linha do Equador é considerada área de baixa latitude, e por esta razão oportuniza uma incidência elevada de radiação solar, durante todo o ano, refletindo nas altas temperaturas que permeiam entre 23°C a 27°C, podendo alcançar alguns graus mais elevados, sobretudo no segundo semestre do ano (FUNCEME, 2006).

Em virtude de sua posição em baixas latitudes, o estado do Ceará, bem como a cidade de Juazeiro não é abastecido por sistemas frontais provenientes do sul da América do Sul, nesse sentido na região prevalece uma dinâmica associada à atividade convectiva proveniente de sistemas atmosféricos, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), a massa Equatorial continental (mEc), as Repercussões de Frentes Frias (RFF) e as Ondas de Leste (OL) e, notadamente a atuação quase permanente da massa Equatorial atlântica (mEa), que opera na estabilidade dos tipos de tempo, nativa do centro de ação do Atlântico (SOARES, 2015).

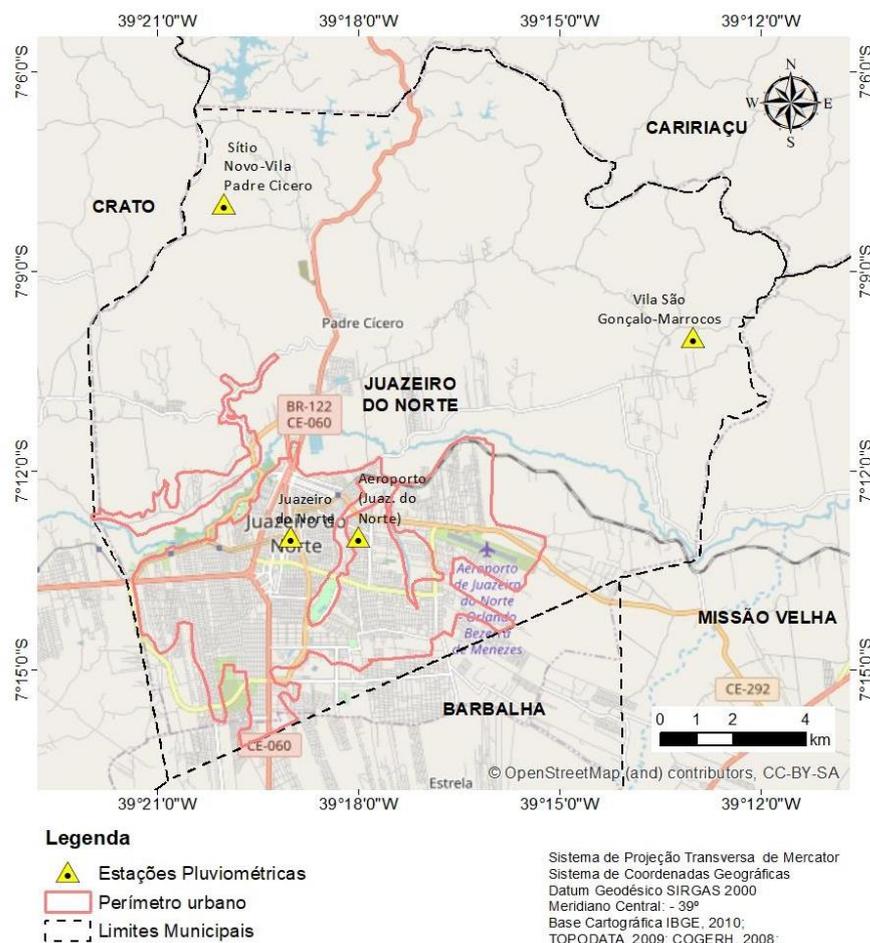
As primeiras precipitações iniciam-se já no final do mês dezembro, e são consideradas chuvas de pré-estação, influenciadas, sobretudo pela proximidade da atuação de frentes frias, que geralmente encontram-se estacionadas sobre as extensões territoriais que compreendem a Bahia, sul do Maranhão e Piauí. Estas chuvas efetivam-se entre os meses seguintes representados pelas estações de verão e outono pela atuação dos sistemas atmosféricos como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), um dos principais sistemas causadores de chuva no Nordeste. Muito embora, a atuação desse sistema, como de outros dependem de alguns fatores que favorecem ou não a ocorrência de precipitação no nordeste de modo geral, associada à condição das temperaturas do pacífico (atuação do El niño/La niña), ou pelas temperaturas do atlântico (dipolo positivo ou negativo) (FUNCEME, 2006).

Embora a ZCIT seja um mecanismo demasiado importante, para a ocorrência de chuvas no nordeste e respectivamente em Juazeiro do Norte, outros sistemas atuam neste município, a exemplo do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), Linhas de Instabilidade (LI), Ondas de Leste (OL) e Brisas Continentais (FERREIRA E MELO, p. 5, 2005). Nos meses de inverno-primavera (entre os meses de junho a novembro), correspondente ao segundo semestre do ano o município fica sob a influência do Anticiclone do Atlântico Sul, responsável pela estabilidade atmosférica.

Pelo fato de Juazeiro do Norte encontrar-se na esfera do semiárido, dispõe de uma pluviosidade marcada por um período chuvoso breve e irregular, acompanhada de um extenso período seco, com a ausência de precipitação (ZANELLA, 2007). A área apresenta totais, que se não padrões ou os mais frequentes, permeando entre 700 a 900 mm anuais, concentrados na maioria das vezes em meados do verão a meados de outono, sobretudo nos meses de fevereiro, março e abril (NÍMER, 1979).

Na cidade não há nenhuma estação automática do INMET para coleta de dados das variáveis climáticas, esta estação encontra-se no município limítrofe (Barbalha) a uma distância de aproximadamente 20 km. Entretanto, em relativo às questões de pluviometria, há 04 estações pluviométricas da Funceme (Mapa 03), duas localizadas na sede do município, sendo uma nas instalações do Aeroporto e a segunda nas instalações do INSS. As duas restantes encontram-se em distritos, denominados Vila Padre Cícero e Vila São Gonçalo-Marrocos. Destes 04 postos pluviométricos, os dados do posto Juazeiro do Norte (INSS), representam uma das séries históricas mais consistentes (1981-2010).

Mapa 03 – Localização dos postos pluviométricos



Fonte: Elaborado pela autora.

Dentre os 29 anos de coleta de informações pluviométricas (Tabela 01 e Quadro 05), os anos de 1985 e 2004 enquadraram-se como os anos de precipitação mais elevados apresentando o valor de 1660,3 milímetros para 1985 e 1544 milímetros para 2004, qualificando-os como muito chuvosos para a série em questão. Entre o *outlier* e o terceiro quartil da série, encontram-se os anos considerados chuvosos, demarcando o intervalo entre 1399 milímetros para o ano de 2008 e 1188,8 milímetros para o ano de 1986.

No intervalo do terceiro quartil ao primeiro quartil, englobam-se os anos habituais para a série histórica. Entre o terceiro e primeiro quartil, acha-se o segundo quartil, também nomeado de mediana, equivalente ao milímetro habitual da série, como sendo 937 mm. O intervalo entre o primeiro quartil e o segundo *outlier* corresponde aos anos qualificados como secos, oscilando entre 783,7 mm para o ano de 1990 e 590,5 para 1981. Para os anos extremamente secos, estes, enquadram-se ao último *outlier*, equivalente ao ano de 1983 com 571,4 mm e 1993 com 564,4 mm.

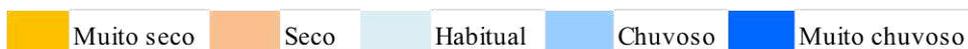
Tabela 01 – Distribuição dos principais valores da série

Posto Juazeiro (1981 - 2010)	
Variável	Precipitação (mm)
Mínimo	564.4
1º Quartil	787.4
Mediana	937.0
3º Quartil	1,168.4
Máximo	1,660.3

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 05 – Variabilidade interanual da série (1981-2010)

Classificação	Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total Anual
Seco	1981	91	51	308.5	25	0	0	0	0	0	0	0	115	590.5
Seco	1982	234	108	84.5	129	15	3	0	0	0	0	0	37	610.5
Muito Seco	1983	46.2	245	147	48.2	8.5	25	0	0	3.5	2	0	46	571.4
Habitual	1984	47	116	204.5	510	0	0	0	0	0	0	0	75.5	953.0
Muito Chuvoso	1985	186.1	341.3	253.2	521.2	93.5	21.5	10	2.5	0	0	0	231	1660.3
Chuvoso	1986	142.2	197	575.8	204.3	26	34	9.5	0	0	0	0	0	1188.8
Habitual	1987	95	273	274.5	115	25	39	0	0	0	0	0	0	821.5
Habitual	1988	131	219.5	115	241	27.4	0	0	0	5	0	0	89	827.9
Chuvoso	1989	270	50.6	255	335	44	3	0	6	0	56	25	183	1227.6
Seco	1990	72.6	129.3	167.7	195.1	119.1	7.3	10	0	24.6	0	31	27	783.7
Habitual	1991	108.7	200.5	419.5	192.4	34.9	10	0	0.6	0	0	35	0	1001.6
Habitual	1992	195.3	322.1	306.6	118.9	0	0	0	0	42	0	2	2.4	989.3
Muito Seco	1993	32.5	149.7	136.8	61	26.1	0	7	0	14	0	118	19.3	564.4
Habitual	1994	145.7	148	89.2	146.7	76.1	94.9	4	0	0	0	0	161.3	865.9
Habitual	1995	201.6	191.9	293.7	208.8	142.6	9.5	29	0	0	4.6	29.7	36.6	1148.0
Habitual	1996	190.3	255.6	275.7	197.7	74.5	16	0	0	0	0	0	0	1009.8
Seco	1997	94	121	131	24	56	19	18	0	0	23	1.6	150	637.6
Seco	1998	98.4	123.6	162.8	204.8	0	12.5	0	0	0	0	1.5	136.5	740.1
Habitual	1999	281.5	89.5	294.5	134.5	84	3	0	0	0	0	21.5	76	984.5
Habitual	2000	146	285.5	115.5	202	52.5	8	0	0	0	0	18	115.5	943.0
Habitual	2001	81.5	101	296	64	31	38	0	0	0	9	0	312	932.5
Chuvoso	2002	431	153	325.5	64	38	0	100	0	0	0	64	55	1230.5
Chuvoso	2003	282	231	495	156	72	0	0	0	0	0	0	64.8	1300.8
Muito Chuvoso	2004	539	206	179	140	158	0	0	0	0	0	14	8	1544.0
Habitual	2005	107	97	361	77	68	17	0	0	0	0	0	85	812.0
Habitual	2006	22	278	211.5	271	24	0	0	0	0	0	31	53	890.5
Habitual	2007	58	307	55	149	54	0	0	0	0	0	40	128	791.0
Chuvoso	2008	250	323	528	92	60	0	0	0	0	0	0	146	1399.0
Habitual	2009	68	90	154	310	286	0	48	0	0	42	35	78	1111.0
Habitual	2010	183	120	105	168.5	13	49	0	0	0	7	0	148	793.5



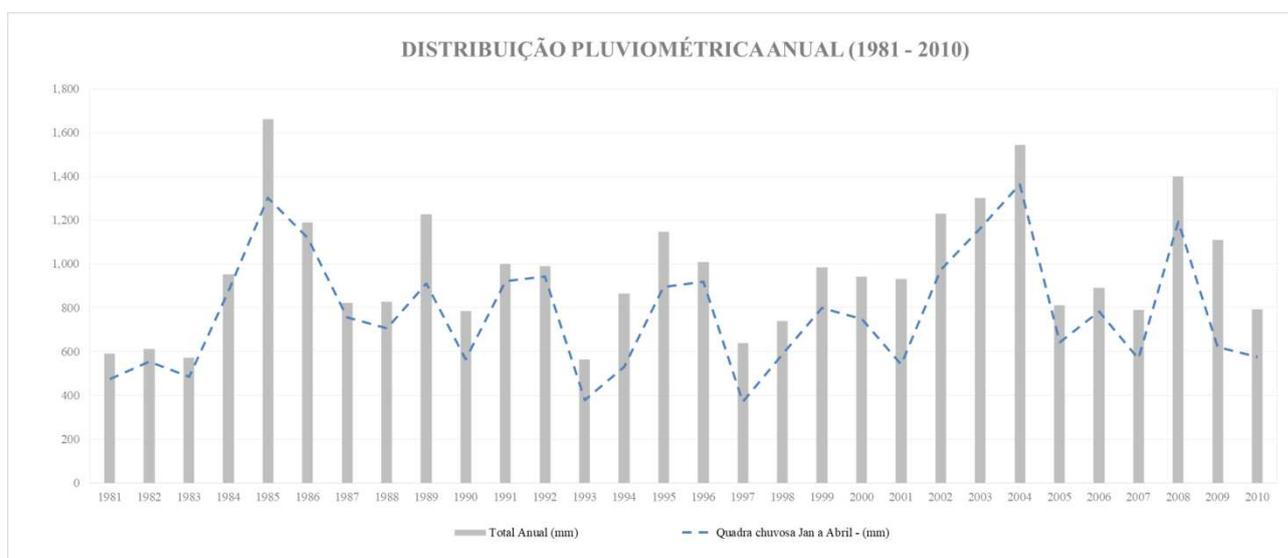
Fonte: Posto pluviométrico Juazeiro do Norte.

Estes dados demonstram que a variabilidade interanual das chuvas em Juazeiro do Norte é considerada habitual dentro dos limites da amplitude interquartil (de 1,148 a 791 mm). Entretanto, quanto aos totais da pluviosidade anuais inferior ao primeiro quartil e superior a terceiro quartil, temos os anos classificados como secos e chuvosos. E por fim, têm-se os valores considerados com pluviosidade excepcional, muito chuvoso (1544 e 1666 mm) e muito seco (564 a 571 mm).

Ainda que a mediana não auxilie na função de separar o habitual do excepcional, o desvio quartilítico das chuvas auxilia bastante no que concerne a análise dos dados. Não obstante, é sempre apropriado usar outras medidas de variabilidade, antes de assinalar categoricamente os anos habituais e excepcionais de uma série temporal de dados climatológicos (ZAVATTINI E BOIN, 2013).

A distribuição pluviométrica do posto Juazeiro do Norte (1981-2010) apresenta totais anuais de 1660 mm em 1985 e reduzem-se a 564 mm em 1983. A média pluviométrica para este posto encontra-se nos 964,14 mm e a média da quadra chuvosa (janeiro a abril) para mesma série apresenta 776,06 mm. Pertinente à representatividade da quadra chuvosa a mesma concentrou um percentual de 56% a 95% das precipitações totais anuais (Gráfico 01).

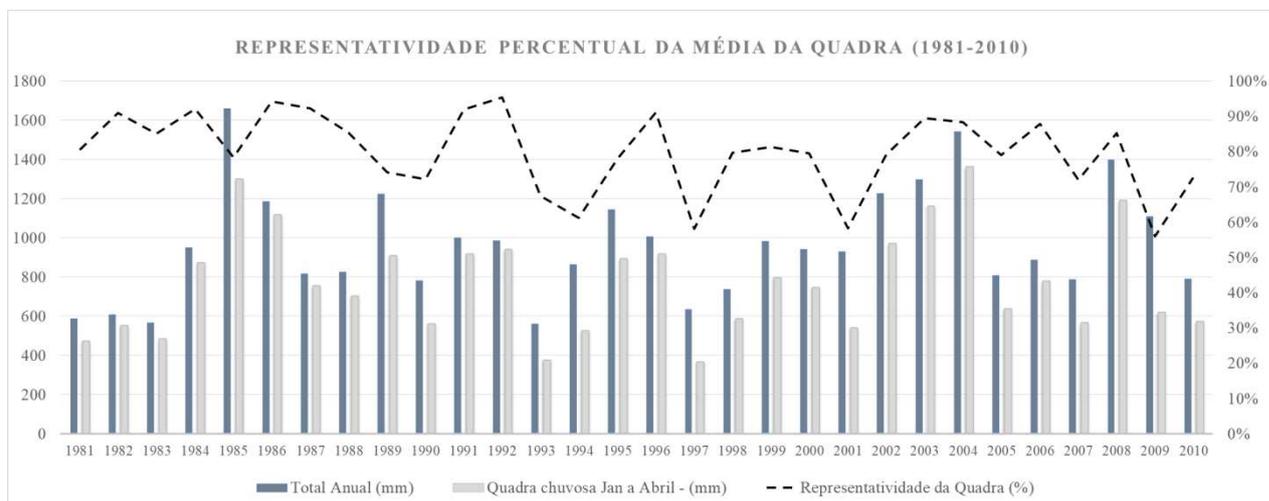
Gráfico 01 – Distribuição Pluviométrica do posto Juazeiro do Norte



Fonte: FUNCEME. Elaboração da autora.

Quando trabalha-se com tratamento estático do clima, se subtrairmos o ano mais chuvoso da série (1660 mm) em 1985 e o menos chuvoso (564 mm) em 1983, encontramos a Amplitude Total de Variação (ATV) do período, isto é, 1096 mm. Zavattini e Boin (2013) explica que como os valores extremos ocorreram só uma vez em toda a série temporal, a frequência dos valores é igual a 1.

Gráfico 02 – Representatividade percentual da média da quadra posto Juazeiro do Norte

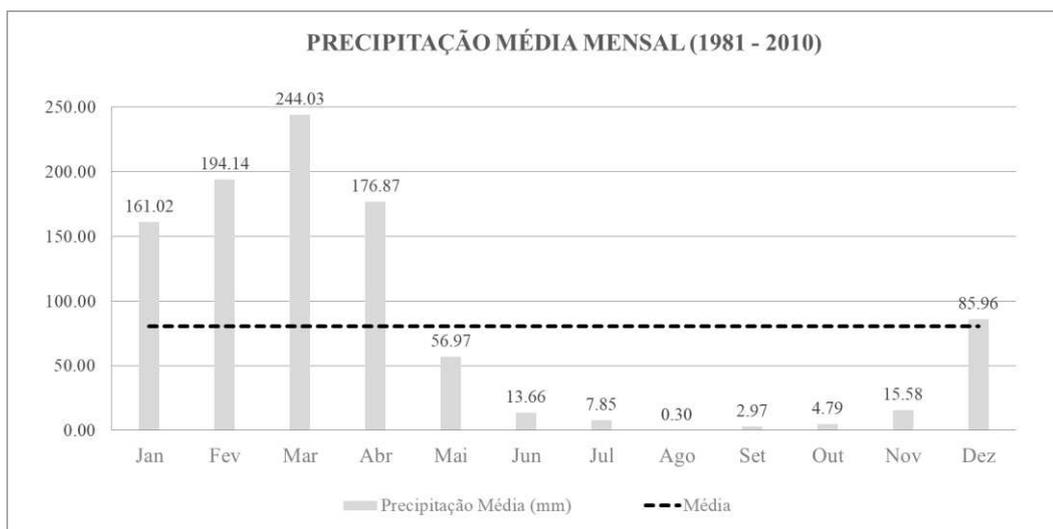


Fonte: FUNCEME. Elaboração da autora.

Os maiores valores das precipitações mensais (Gráfico 03) registram-se nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, correspondendo ao período chuvoso para esta localidade. Os valores que se distribuem abaixo da linha da média relacionam-se com os meses de maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro (segundo semestre do ano), considerado o período seco.

Os dados exemplificados pelo gráfico 03 estão intrinsecamente vinculados à dinâmica atmosfera descrita, onde temos as primeiras chuvas no final de dezembro, muito embora, não apareçam tão expressivas, resultado de repercussões de frentes frias que incidem sobre a região. Nos meses seguintes, até maio temos a efetivação desse cenário com ocorrência de chuvas acima da média em virtude dos sistemas atuantes na região como a ZCIT, os VCAN, as RFF e as OL. A partir do inverno (seco no nosso caso), as precipitações cessam, e esse segundo semestre do ano o município fica sob a influência do Anticiclone do Atlântico Sul, responsável pela estabilidade no clima.

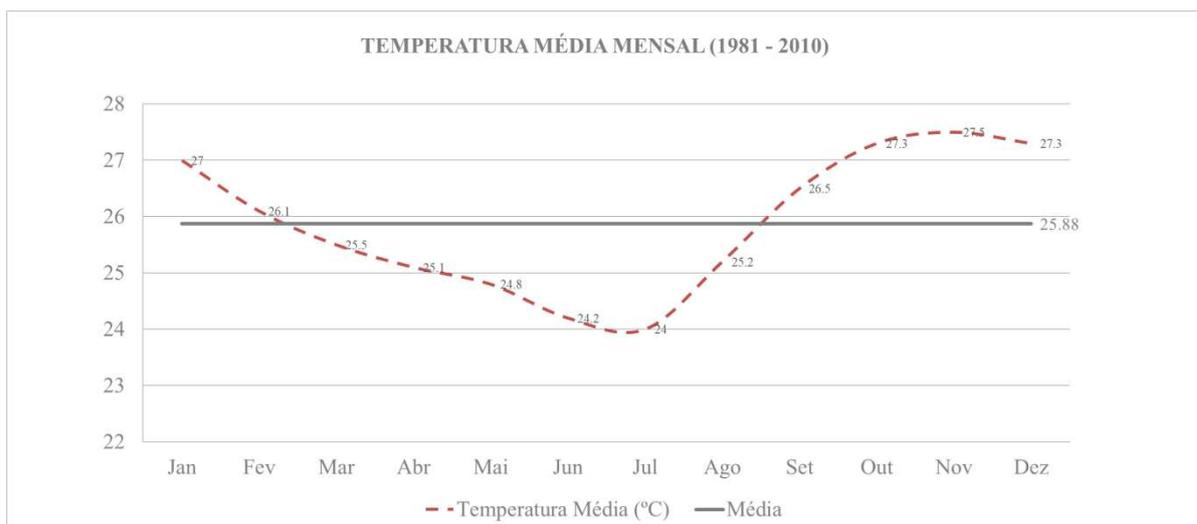
Gráfico 03 - Precipitações média mensais posto Juazeiro do Norte



Fonte: FUNCEME. Elaboração da autora.

A temperatura estimada (Gráfico 04) para o posto em análise apresenta uma média próxima aos 26°C, muito embora, durante quase todo o ano, registram-se temperaturas bem superiores a esta estimada, sobretudo com o fim do inverno. Essas temperaturas acima da média encontram-se no período de primavera/verão, entre os meses de setembro e dezembro. As temperaturas abaixo da média estão distribuídas no período de outono/inverno, registrando uma queda de temperatura, sobretudo nos meses de junho e julho, permeando os 24 °C, fruto de repercussões de frentes frias que conseguem chegar à região.

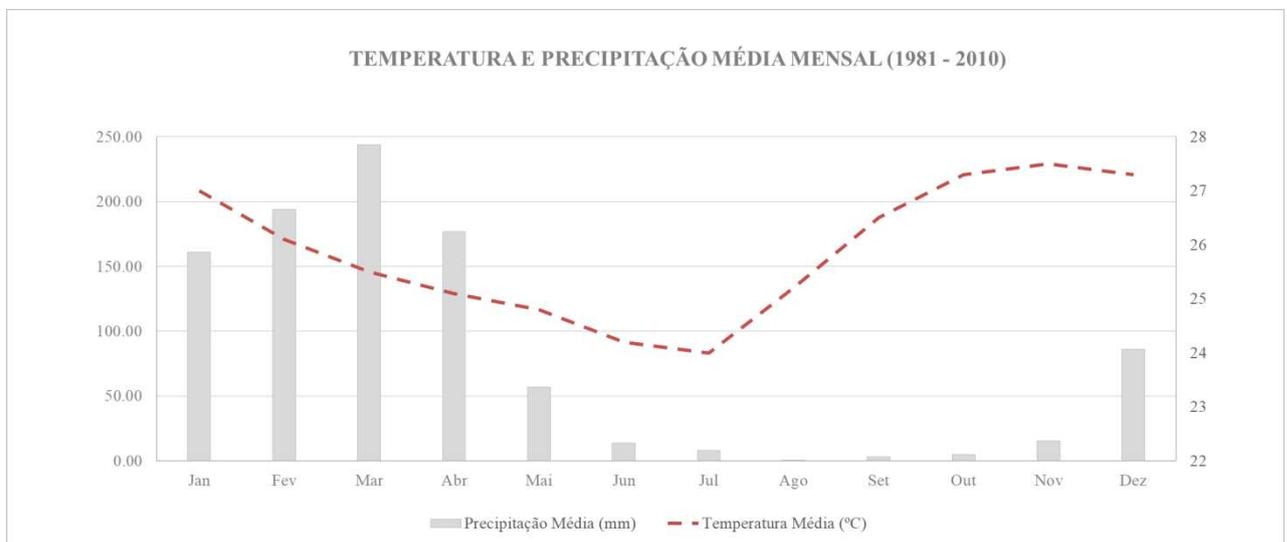
Gráfico 04 – Temperatura média mensal do posto Juazeiro do Norte (1981-2010)



Fonte: FUNCEME. Elaboração da autora.

Em relação à precipitação média e a temperatura média (Gráfico 05), os dados, mostram as temperaturas mais elevadas no início e final do ano, havendo uma redução nos meses de junho e julho. Este delineamento reflete o comportamento cíclico sistemas atmosféricos/ precipitações. Ou seja, no primeiro semestre têm-se o período de atuação dos sistemas atmosféricos causadores de chuva na região, em contrapartida, por ser verão as temperaturas são mais altas. Encerra-se o período chuvoso, as temperaturas caem pela repercussão de frentes frias no inverno, tem-se a influência preponderante do Anticiclone do Atlântico Sul, há uma “estabilidade no clima” e as temperaturas tendem a elevar-se novamente.

Gráfico 05 – Temperatura e precipitação média mensais do posto Juazeiro do Norte (1981-2010)



Fonte: FUNCEME. Elaboração da autora.

#### 4.2 Urbanização da cidade de Juazeiro do Norte

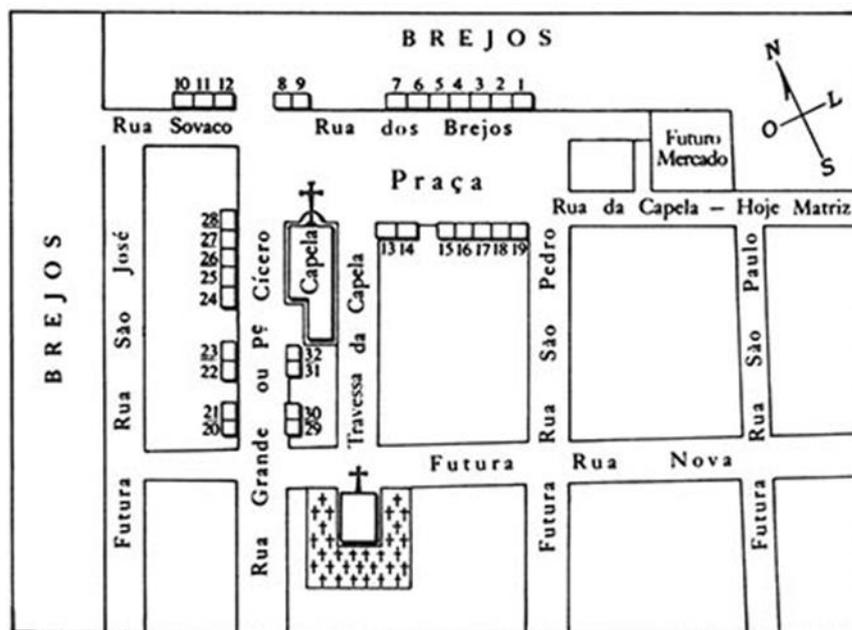
Juazeiro do Norte tem suas origens datadas no início do século XIX, sobretudo sob influência religiosa em virtude da figura do padre Cícero, que se constitui como um dos principais agentes simbólicos da rápida expansão do lugar, proporcionando intensas transformações urbanas, políticas, sociais, culturais e econômicas que podem ser observadas na atualidade.

As três primeiras décadas do século XX Juazeiro passou de um simples aglomerado a uma das mais significativas cidades do Estado do Ceará, tanto no aspecto político quanto em termos de economia. Os fatores que dinamizaram essa conjectura estão associados em

primeiro lugar pelas ações protagonizadas pela figura do padre Cícero e em segundo lugar fruto de ações de um capital comercial e industrial forte, que mesmo pequeno foi responsável por produzir o centro da cidade e sua respectiva expansão (PEREIRA, 2018).

Ainda baseado nas proposições de Pereira (2018), não há dúvida que o principal fator que determinou a ascensão econômica de Juazeiro do Norte foi à instalação do ramal da estrada de Ferro de Baturité no ano de 1926, influenciando um novo traçado e uma nova expansão formada por estabelecimentos comerciais, atacadistas e varejistas, permitindo articulações com escalas geográficas mais amplas bem como a produção do espaço das cidades que sustentava a expansão econômica do Cariri cearense.

Figura 11: Espacialização da dimensão espacial de Juazeiro em 1875



Fonte: Della Cava (2014)

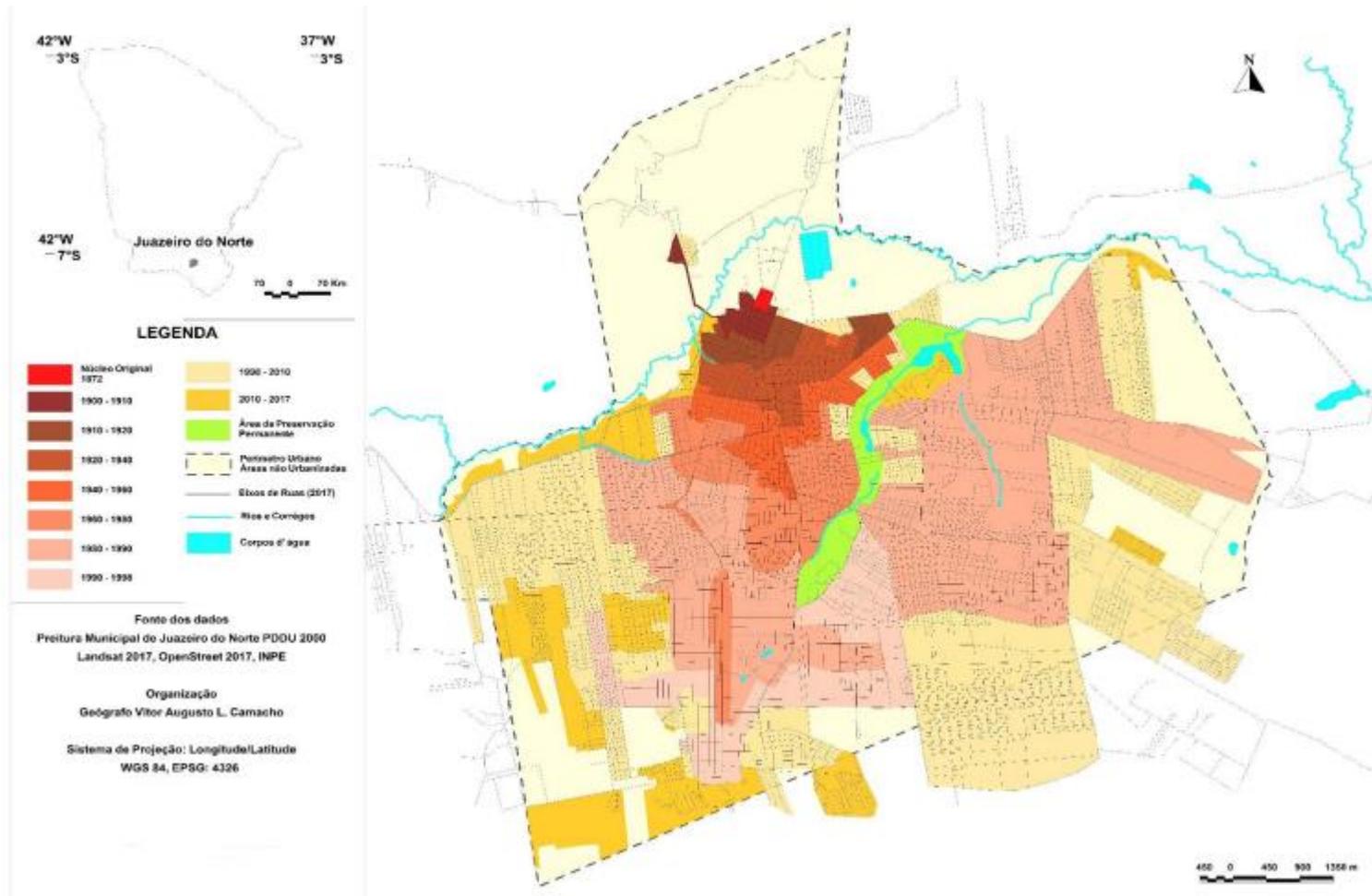
Juazeiro passa de um modesto lugarejo (Figura 11), e em um intervalo pequeno adquire autonomia política, força econômica e principalmente, uma condição urbana significativa. É com base nestes elementos que o cenário religioso de Juazeiro também dá lugar ao cenário político e econômico que o povoado passa a desempenhar (QUEIROZ, 2013).

O município de Juazeiro vivenciou intensos processos políticos e econômicos que influenciaram sua expansão espacial, bem como de sua população, como visto no ponto anterior. Estas intensas modificações ao longo dos anos atuaram como agentes do espaço urbano, e tais alterações podem ser observadas com a evolução dos padrões de uso e ocupação.

No final do século XX, ocorre uma alteração e conseqüentemente uma nova organização espacial, isso porque, dissolve-se os agentes políticos e econômicos que ditaram

as transformações da produção do espaço e ocorre a introdução de uma nova conjuntura, agora sob os pareceres do neoliberalismo, envoltos na reorganização do capital em escala global (PEREIRA, 2018).

Figura 12 – Expansão territorial urbana (1871-2017)



Fonte: Cláudio (2014)

Nos 110 anos de autonomia política esta urbe modificou-se quase que totalmente em comparação ao núcleo urbano original. Esta expansão pode ser visualizada ao analisarmos a distribuição espacial do referido município compartmentado em décadas (Figura 12). Esta distribuição deu-se no sentido sul-oeste, inicialmente partindo do aglomerado inicial, muito embora atualmente encontra-se expandindo no setor leste e sudoeste.

Ainda sobre essa expansão territorial, desde o final dos anos 1980 passaram a se consolidar os bairros mais elitizados e distantes do centro da cidade (ao sul), e quanto os mais proletarizados, esses estão espalhados por várias direções na cidade, constituindo a divisão social e desigual do espaço que conhecemos hoje. Outra particularidade é a estruturação urbana de novos espaços comerciais impulsionadas pela mundialização do capital (PEREIRA, 2018).

No que diz respeito às funções comerciais a cidade apresenta três centros comerciais estabelecidos, alojados nos bairros Centro, Pirajá e Triângulo. O primeiro encontra-se localizado nas imediações do núcleo original da cidade, conhecido por dispor de funções comerciais que englobam o atacado e varejo. Os outros dois dispõem das mesmas funções, embora com menor proporção, e tendo características mais recentes em relação ao centro tradicional. A maior parte da população acha-se domiciliada no aglomerado urbano correspondente à sede, Juazeiro do Norte e aos distritos, somando uma pequena parcela estabelecida na zona rural.

Novos investimentos locais, nacionais e internacionais escolheram as margens das rodovias como o locus para as suas atividades, e o principal ponto aglutinador encontra-se no bairro Triângulo, devido a sua centralidade geográfica no contexto do Crajubar. Dessa maneira, os fluxos de pessoas e mercadorias entre as três principais cidades da região passam, em sua grande maioria, pela CE-292 ou CE-060. Essa dinâmica retrata a relação de simbiose entre esse conjunto de municípios, onde as suas funcionalidades estão entrelaçadas, ainda que Juazeiro do Norte tenha se consolidado como polo socioeconômico regional e tenha aumentado sua hegemonia regional nas últimas décadas (NASCIMENTO, 2018).

O perfil da cidade é em grande maioria horizontal, entretanto, no setor que compreende o bairro Triângulo, o mesmo descrito anteriormente, percebe-se um índice significativo de edificações verticalizadas acima de 10 pavimentos, retrato dos agentes já discutidos anteriormente. Neste recorte observa-se, especialmente, o espraiamento da malha urbana e, sobretudo, a verticalização que marca a paisagem urbana moderna da cidade de Juazeiro do Norte (Figura 13).

Figura 13 – Verticalização do bairro Triângulo



Fonte: Coelho (2017)

Alusivo ao crescimento populacional, em meados do século XX Juazeiro praticamente já era um município urbano, sendo excepcionalmente o único no estado com população urbana maior que a rural (PETRONE, 1955; PEREIRA, 2018). Esse dinamismo pode ser mais bem compreendido quando se observa que em 1940 a população total contabilizava 38.145 habitantes e para o ano de 2010 totalizava 249.939 habitantes, representando assim um acréscimo expressivo no que tange a população total. De acordo com os dados, desde 1940 a população urbana permaneceu superior à população rural, apresentando uma taxa de urbanização de aproximadamente 96%. A estimativa para 2021 é de 278.264 habitantes, sendo a terceira maior população do estado do Ceará.

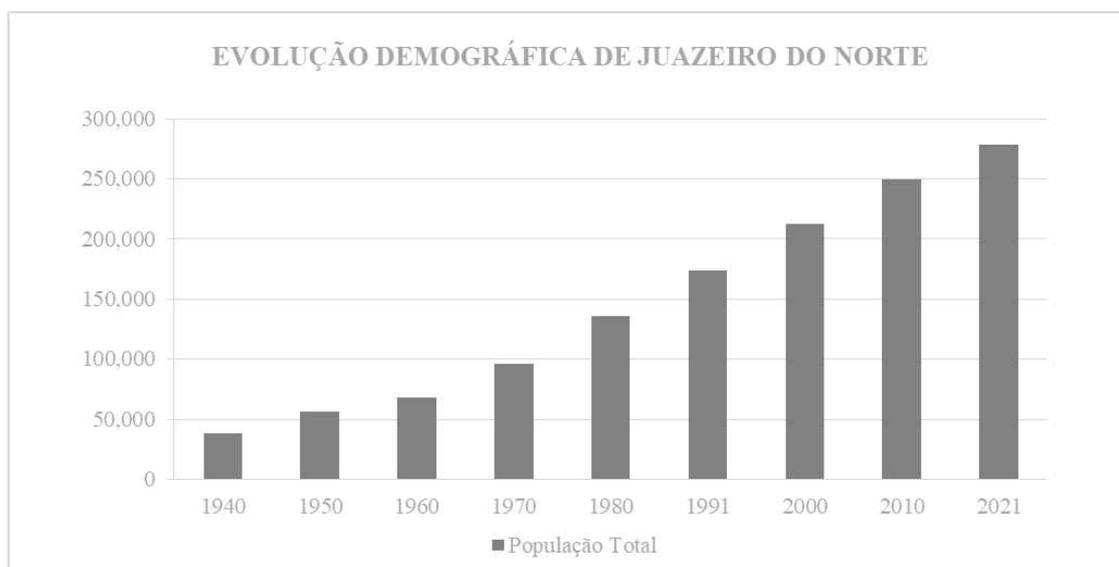
Quadro 06- Evolução populacional de Juazeiro do Norte

Evolução Demográfica de Juazeiro do Norte					
Ano	Distribuição da População (1940 - 2010)				
	População Urbana	Urbano (%)	População Rural	Rural (%)	População Total
1940	24,153	63%	13,992	37%	38,145
1950	42,823	76%	13,323	24%	56,146
1960	54,165	79%	14,329	21%	68,494
1970	80,641	84%	15,406	16%	96,047
1980	126,028	93%	9,588	7%	135,616
1991	164,922	95%	8,644	5%	173,566
2000	202,226	95%	9,907	5%	212,133
2010	240,116	96%	9,823	4%	249,939
2021	270,000	97%	8,264	3%	278,264

Fonte: IBGE, 2010. Elaboração do Autor

No quadro 06 e gráfico 09 é possível observar a evolução demográfica de Juazeiro ao longo dos anos catalogados desde 1940 até os dias atuais. Analisando estas informações e como discutido anteriormente percebe-se que desde o ano 1940 os dados retratam que a população urbana sempre se demonstrou superior à população rural, mesmo no contexto brasileiro de urbanização tardio vivenciado por grande parte das cidades brasileiras. Ainda em 1940 a diferença entre população urbana e rural ainda não eram tão expressiva, esse padrão de distribuição só passa a ser observado a partir da década de 1970 onde cerca de 80% (80,641 habitantes) dos habitantes juazeirenses habitavam o espaço urbano e apenas 16% (15,406 habitantes) possuíam domicílios na área rural. Hoje, cerca de 97% da população total do município encontram-se domiciliadas no perímetro urbano e apenas 3% da população é rural.

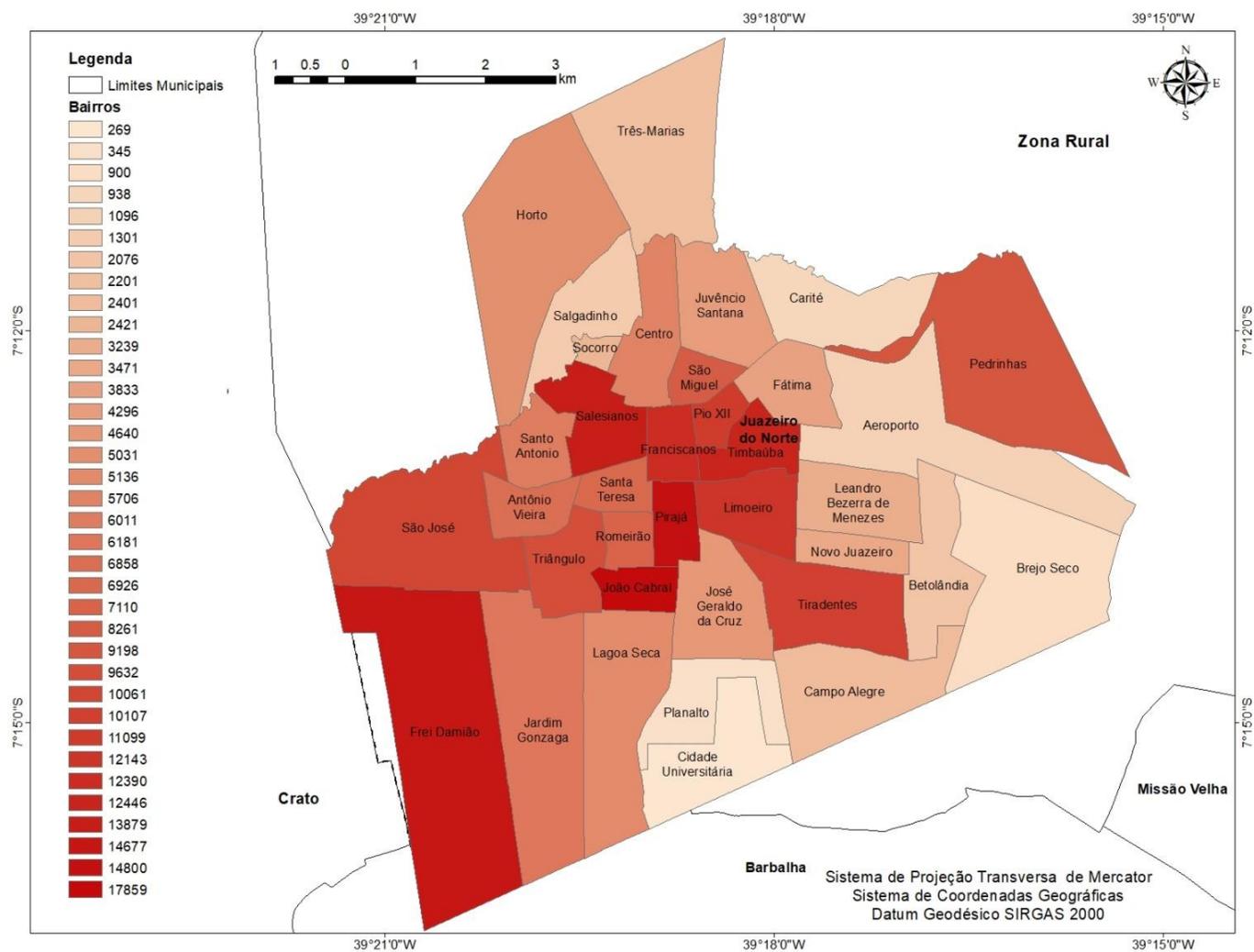
Gráfico 09 - Evolução populacional de Juazeiro do Norte



Conforme se pode perceber o município de Juazeiro do Norte, figura com uma diminuta área territorial, grande contingente populacional e, por conseguinte, alta densidade demográfica, e a medida que foi crescendo passou a incorporar áreas próximas às divisas com as cidades vizinhas (NASCIMENTO, 2018).

O Mapa 04 mostra que a maior concentração populacional encontra-se nas porções norte, sul e oeste da cidade, destacando-se os bairros João Cabral, Pirajá e Frei Damião. Dentre os bairros que possuem os piores índices socioeconômicos estão os bairros Horto, Pedrinhas, Frei Damião e João Cabral, perfazendo os setores mais vulneráveis da cidade. Em contrapartida, o bairro que apresenta o melhor Índice de Desenvolvimento Humano, é o bairro Lagoa Seca, que se consolidou como um dos bairros mais elitizados da cidade. Esse cenário pode facilmente dialogar com as questões térmicas da cidade, analisada detalhadamente nos próximos capítulos, uma vez, que de acordo com a literatura as áreas que registram maiores temperaturas muitas vezes podem estar associadas aos setores mais fragilizados da população, resultado de uma série de agentes que culmina essa realidade. Ademais, relatórios como IPCC nos alertam que lamentavelmente, serão essas parcelas da população as mais susceptíveis aos problemas causados pelos efeitos das mudanças climáticas, não se adaptando de maneira rápida nem tampouco eficientes a nova realidade do clima.

Mapa 04 - Distribuição populacional de Juazeiro do Norte

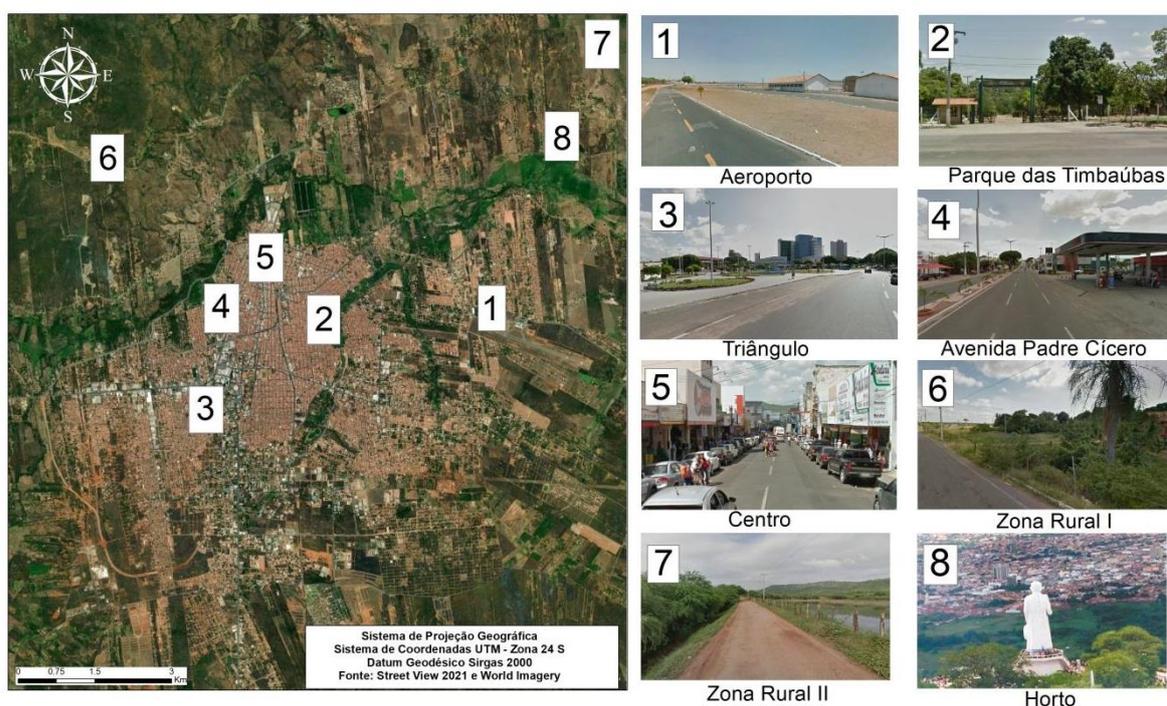


Fonte: Autora.

Portanto, a questão demográfica bem como os números acima demonstrados justifica a função que a cidade investigada desempenha no cenário estadual, regional e nacional, tratando-se do principal centro econômico da região sul do Ceará, repercutindo no influxo de pessoas a procura do mercado de trabalho, no setor educacional e no setor de industrial. Aliado a isto, Juazeiro do Norte ainda conta com um importante potencial turístico religioso ligado à figura do padre Cícero, que atraem milhares de romeiros durante todo o ano, e responsável por impulsionar uma população que flutua anualmente. Esta condição assegura uma propagação da malha urbana da cidade com o espraiamento e implementação de diferentes padrões de uso e ocupação, influenciados no presente, sobretudo a partir de um importante polo industrial, comercial e de grande potencial turístico religioso.

Na carta imagem (Figura 14) abaixo é possível identificar alguns pontos com diferentes usos do solo e sua distribuição no território do município, pontuando alguns setores que desempenham uma função primordial para dinâmica da urbe, e já supracitada, como bairro Centro, Triângulo e CE 292.

Figura 14 – Carta imagem de Juazeiro do Norte



Fonte: Elaborado pela autora.

A consolidação desses pontos, inserido em um ambiente naturalmente quente como a do semiárido nordestino e associado às variáveis que dinamizam a geração e armazenamento da carga térmica do balanço energético da cidade, pode dinamizar alterações que estão associadas ao desconforto da população, e prejuízos de distintas ordens. Todas essas particularidades reverberam na dinâmica climática incidentes nos mais variados microclimas urbanos.

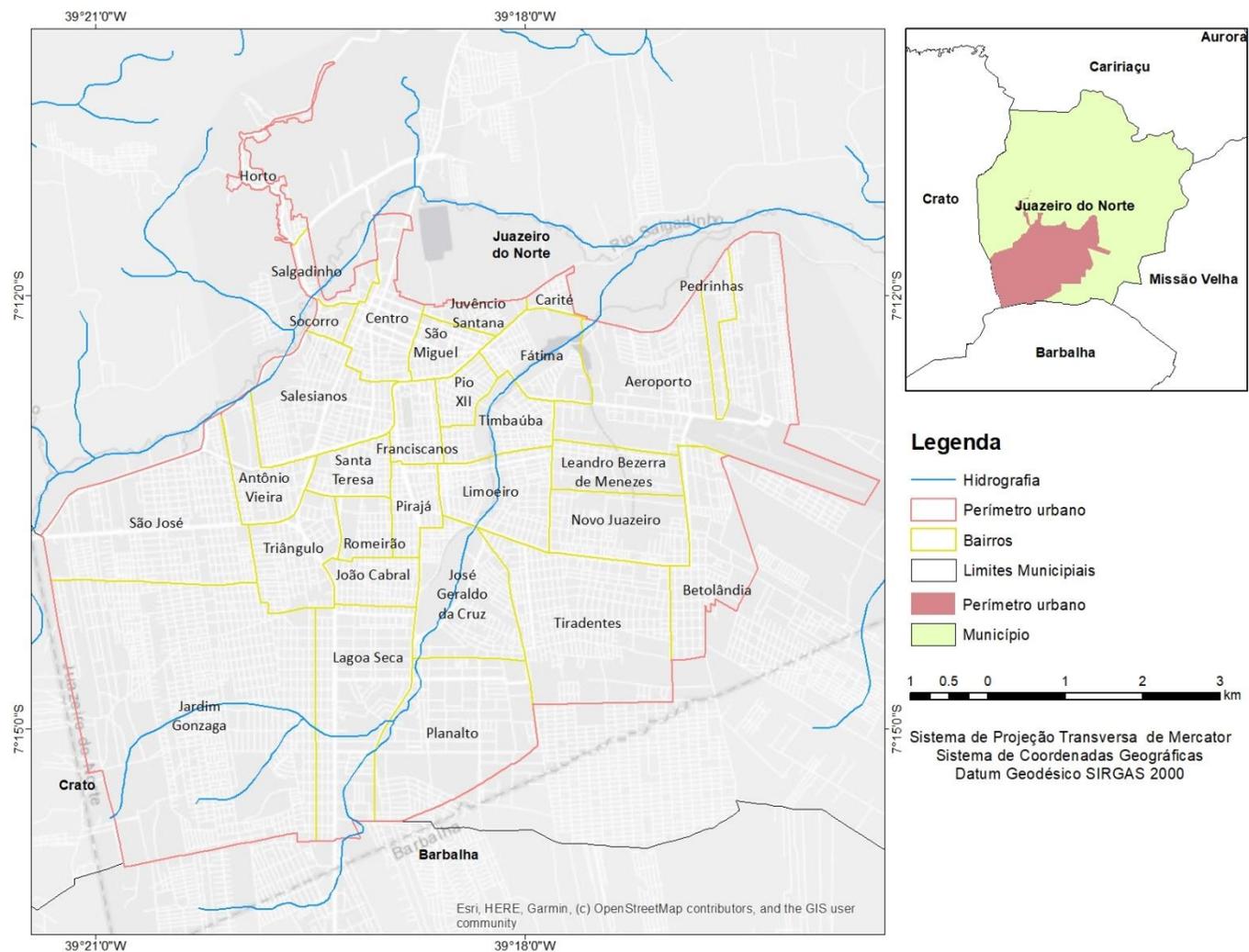
## 5 MAPEAMENTO CLIMÁTICO URBANO

O resultado do mapeamento climático urbano é um produto cartográfico que expõe informações setorizadas das áreas que apresentam potencial de aquecimento e arrefecimento da cidade de Juazeiro do Norte. Este produto cartográfico, disposto na forma de mapa foi construído com base nas variáveis que influenciam o ganho e armazenamento de calor, retratado pelo mapa de carga térmica, e as variáveis que intervêm no arrefecimento da cidade, especificados no mapa de potencial dinâmico.

Foram desenvolvidos 03 mapas incumbidos a gerar um 01 mapa de carga térmica, e 06 mapas associados à geração de 01 mapa de potencial dinâmico. Em posse do mapa de carga térmica e potencial dinâmico, realizou-se a soma de ambos para constituição do mapa climático urbano da cidade de Juazeiro, totalizando ao todo, 12 mapas confeccionados.

No Mapa 05 encontra-se exatamente a área mapeada e bem como a localização dos bairros. Essa informação é importante, porque esta análise busca pautar a discussão das variáveis e seu posicionamento no espaço urbano, uma vez que essa metodologia permite através de uma classificação a definição dos climatopos, traçando domínios de vulnerabilidade frente a situações de desconforto térmico, à medida que nos indica áreas fundamentais para equilíbrio do clima urbano.

Mapa 05 – Perímetro urbano e distribuição dos bairros



Fonte: Auto

## 5.1 Mapeamento da carga térmica

### 5.1.1 Mapa de volume edificado

Com o mapa de volume edificado (Mapa 06) da cidade de Juazeiro do Norte, constatou-se que o principal uso para a cidade é a classe residencial de um a três pavimentos, compreendendo quase que toda a área urbana da cidade, principalmente nos setores mais densamente urbanizados, prevalecendo, sobretudo, residências de apenas um pavimento, estruturadas de forma contíguas umas às outras.

Considerando que o volume edificado traduz o impacto dos equipamentos urbanos, esse padrão de ocupação oportuniza um arranjo espacial que influencia na formação e provisionamento de calor nessas áreas. Embora o principal material utilizado nos telhados das estruturas residenciais (cerâmica), sejam defendidas por alguns autores (Gartland, 2010; Cardoso, 2015), como material de temperatura superficial e emissividade menores em comparação com outros, a impermeabilização e adensamento do solo por parte da densidade das construções, do tipo de material construtivo, as cores desses materiais, bem como a dinâmica urbana oportunizada pelo fluxo de veículos e pessoas, gerando calor antropogênico e diminui o resfriamento evaporativo da superfície como explana Oke (1981), tornando-se esse processo mais lento na cidade em relação suas adjacências.

A classe destinada à área industrial está distribuída nos setores oeste e sul em direção aos municípios vizinhos de Crato e Barbalha, em parcelas do território que abriga o chamado distrito industrial da cidade, permeando a CE-292 e BR-060.

A industrialização da cidade acompanha o processo industrial contemporâneo do estado do Ceará como um todo, e que a partir de meados de 2002 recebeu forte investimento estatal no processo de interiorização das indústrias (GUERRA, 2010). Os tipos de indústrias presentes estão vinculadas ao setor do beneficiamento do couro (curtume) para fabricação de calçados, indústrias de velas, alumínio, bebidas, bem como indústrias associadas a confecção de roupas. Não obstante, é importante destacar que também verificou-se alguns pontos remanescentes que representam a classe industrial em outros bairros além do distrito industrial. O mais notável efeito ligado a esta variável é a emissão de particulados no ar próximo do solo resultantes da queima de combustíveis fósseis como CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e de CH<sub>4</sub> (metano) (IPCC, 2007).

A classe referente aos aglomerados subnormais, não aparece com tanta expressão no mapa de volume edificado, isto por que, de acordo com as bases de dados do IBGE, só existe um único setor na cidade que compreende essa classe, estando inserida no bairro horto,

especificamente na via conhecida como “Estrada velha ou de pedra”, uma das vias de acesso ao ponto turístico da estátua do padre Cícero. Essas habitações, ainda de acordo com a tipologia do IBGE (2021) são determinadas por um padrão urbanístico de habitações irregulares carentes de serviços públicos essenciais. Considerando esse padrão de habitações, e os tipos de materiais utilizados nas suas construções, bem como nas vias de acesso (pavimento de paralelepípedo), caracterizados por rochas expostas ao aquecimento, poderiam gerar condições susceptíveis ao armazenamento de calor, no entanto, essas áreas estão localizadas na porção mais alta da cidade, onde se tem a atuação do fator altitude, visto que, quanto maior altitude maior o movimento do ar e menor é a temperatura.

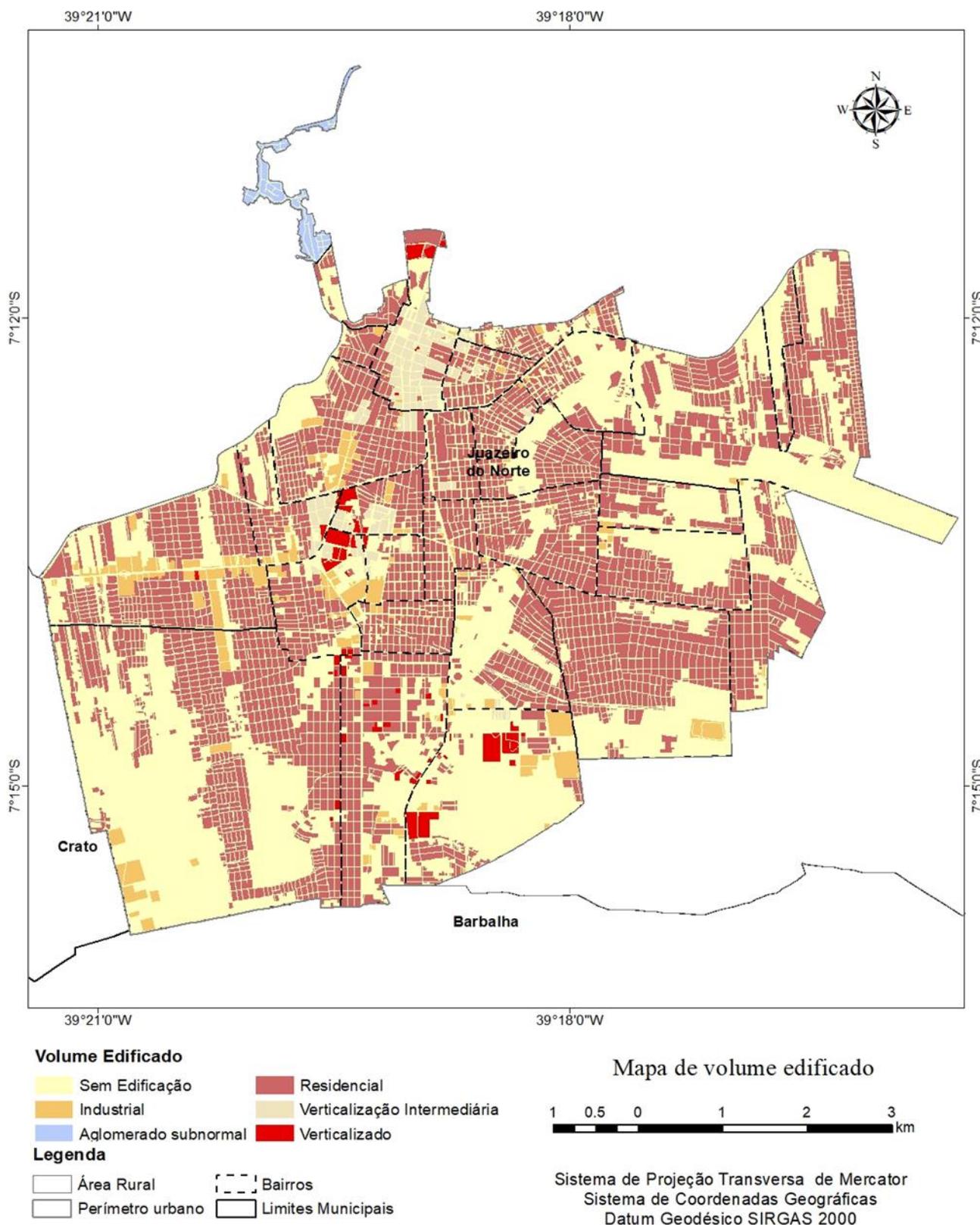
A categoria que se destina às áreas verticalizadas são bastante pontuais na cidade, ainda que, ao longo dos anos tem se observado uma marcha cada vez mais crescente do processo de verticalização da cidade, sobretudo nas áreas mais modernas, para atender as demandas comerciais e residenciais responsáveis pelo desenvolvimento da cidade.

O reconhecimento desta categoria foi setorizado na classe verticalização intermediária que compreende as estruturas urbanas de 03 a 05 pavimentos, e a classe verticalizado, dispendo em sua estrutura até 10 pavimentos. A classe de verticalização intermediária pode ser encontrada no Centro, Salesianos e Triângulo, tendo como principal finalidade servir ao setor comercial. No setor de verticalização mais efetiva, estas se concentram, sobretudo, no Triângulo e Lagoa Seca, próximo às áreas de avenidas com intenso fluxo de pessoas, mercadorias e automóveis, tendo como as principais funções relacionadas à demanda comercial, residencial e industrial.

Ambas as classes influenciam na dinâmica de escoamento do vento, especialmente as áreas com equipamentos urbanos de até 10 pavimentos. Além do fluxo de ar alterado, os edifícios influenciados pelas barreiras construtivas promovem maiores valores de temperatura nos pontos caracterizados pelo revestimento do solo com presença de asfalto e concreto, e na proximidade de edificações a sotavento (BRANDÃO, 2019).

Dentre as classes geradas no mapa de volume edificado, dar-se destaques aquelas que mais contribuem para a geração de calor, sendo elas, verticalizado peso 05, verticalização intermediária peso 04, aglomerados subnormais com peso 03, residencial com peso 2, industrial peso 1 e sem edificações, peso 0.

## Mapa 06 – Mapa do volume edificado



Fonte: Autora.

### ***5.1.2 Mapa de uso e ocupação do solo relativo aos ganhos antropogênicos***

O calor antropogênico é o calor que tem sua gênese oriunda das atividades humanas de fontes variadas como edifícios, processos industriais, meios de transporte e pelos habitantes, contribuindo para a formação de ilhas de calor urbana (GARTLAND, 2010).

As atividades humanas e usos empregados por estas, que geram calor na cidade de Juazeiro foram representadas no mapa de uso e ocupação do solo em função dos ganhos antropogênicos. Para o desenvolvimento desse mapa (Mapa 07) inicialmente utilizou-se como base os dados gerados no mapa de volume edificado. Para tal realizou-se uma nova categorização distribuindo pesos de acordo com as funções que são responsáveis na produção de calor na cidade.

Todas as atividades desenvolvidas utilizam uma fonte de energia, seja ela elétrica, mecânica, química ou proveniente da combustão do gás ou gasolina. Na cidade existem algumas atividades que necessitam de maior eficiência energética para realização de determinado trabalho, a exemplo das áreas industriais e comerciais.

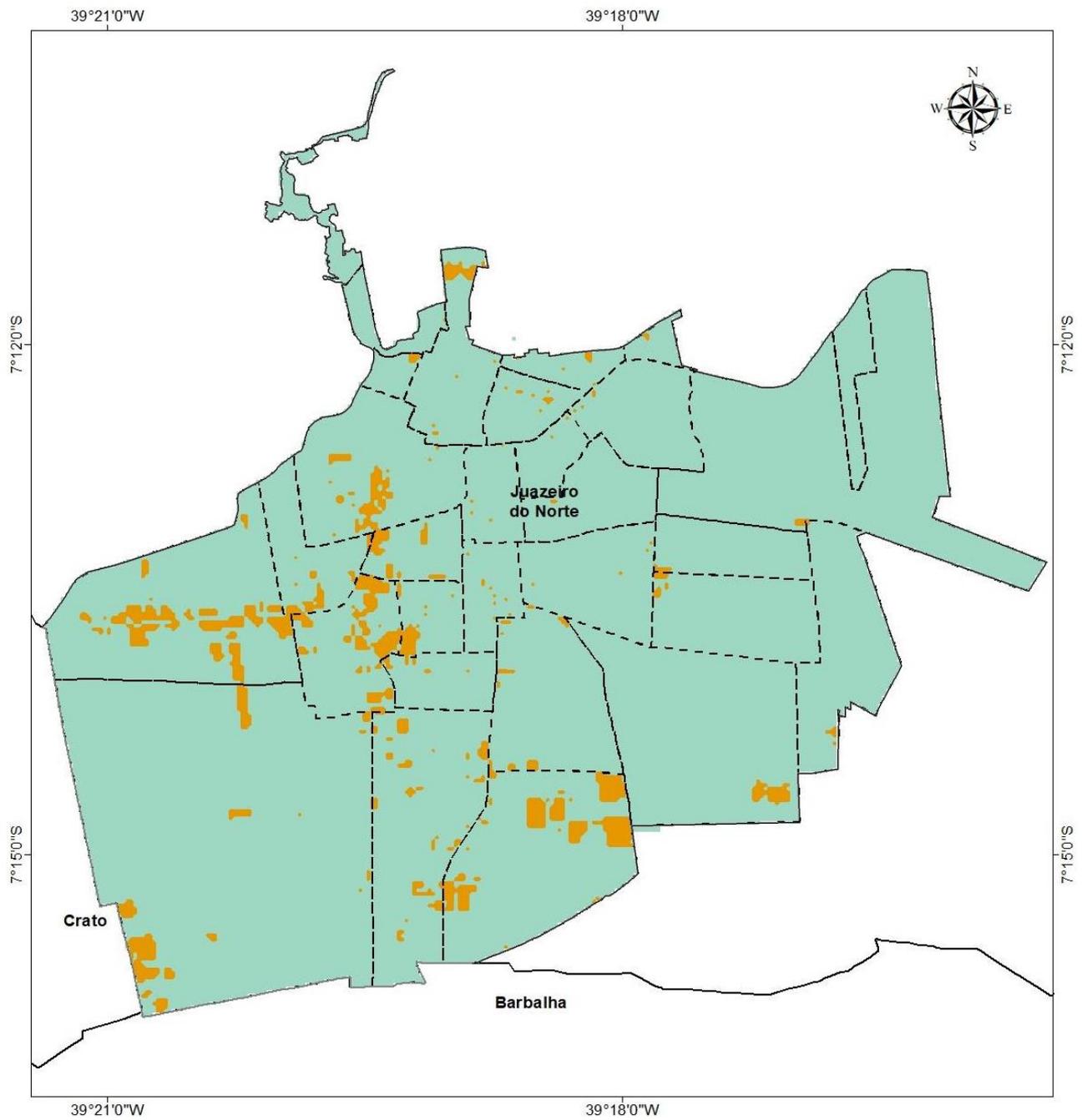
Nesse sentido, analisando a realidade da cidade de Juazeiro, as classes com maiores pesos para a geração de calor foram as áreas verticalizadas, as áreas de verticalização intermediária e a classe industrial.

As áreas verticalizadas, setor que compreende empreendimentos de até 10 pavimentos, inseridas no Triângulo e Lagoa Seca. Essas áreas abrigaram grandes edifícios empresariais e residenciais que empregam unidades de refrigeração quase que em sua totalidade, aliviando um problema imediato, tendo em vista, que esses instrumentos resfriam o interior e aquecem o ar externo. Outro agravante é a presença de um hospital de grande porte e shopping center, onde o primeiro opera 24h de consumo energético e o segundo tem altas demandas de iluminação e sistemas de ar-condicionado.

As áreas de verticalização intermediária, classe onde encontra-se o principal e mais antigo centro comercial da cidade, demanda bastante energia para o funcionamento de prédios comerciais. Já a classe industrial, embora, não esteja distribuída de forma expressiva como em uma cidade de porte grande, são atividades que geram calor, sobretudo relacionadas ao alto consumo de energia para o funcionamento de grandes maquinários.

Contrariamente, as classes com menores pesos e conseqüentemente que geram menos ganhos antropogênicos comparada às demais classes são os aglomerados subnormais e as áreas residenciais, que devido o padrão de uso, tendem a utilizar menos energia, e gerar menos calor.

# Mapa 07 – Mapa de uso e ocupação do solo relativo aos ganhos antropogênicos



### Ganhos Antropogênicos

- Alto Potencial de Aquecimento
- Baixo Potencial de Aquecimento

### Legenda

- Perímetro urbano
- Área Rural
- Bairros
- Limites Municipais

Mapa de uso do solo relativos aos ganhos antropogênicos



Sistema de Projeção Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum Geodésico SIRGAS 2000

Fonte: Autora.

### **5.1.3 Mapa altimétrico**

O mapa altimétrico (Mapa 08) foi construído a partir da imagem proveniente do sensoriamento remoto ativo (radar), especificamente do satélite Alos Palsar, disponibilizada pelo catálogo de imagens do Serviço Geológico Americano o Earth Explorer, esses produtos apresenta aproximadamente 14 metros de resolução espacial.

A altimetria é uma variável importante para a construção do mapeamento climático urbano, isso por que, sabe-se que a temperatura e altitude são inversamente proporcionais. Segundo (Fritzons, 2016, p. 81) “a relação direta da altitude com a temperatura é especialmente importante para as regiões tropicais e subtropicais, onde uma diferença altitudinal de algumas centenas de metros provoca mudanças sensíveis no clima”.

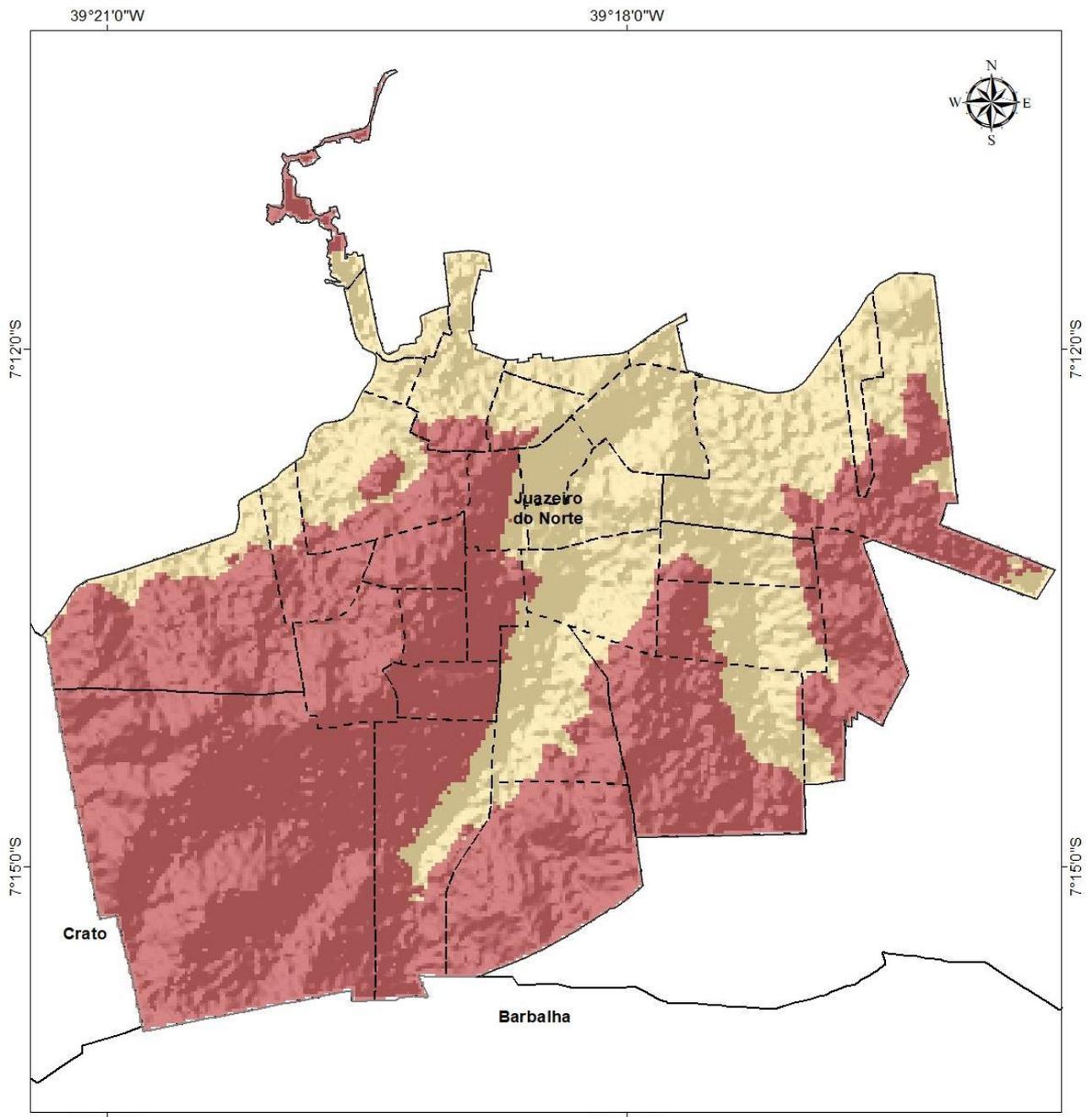
Em termos gerais, a temperatura modifica-se em virtude de alguns fatores como a latitude e altitude e, em termos microclimáticos, esta altera-se em virtude do relevo, da exposição e direcionamento das encostas ao sol e ao vento, bem como com a proximidade de áreas alagadas, marítimas, etc. A temperatura do ar normalmente diminui com a elevação da altitude numa proporção de, aproximadamente, 1°C/100m, e este índice de arrefecimento ocorre, pois a massa de ar seco em ascensão está subordinada a pressão cada vez menor, expandindo seu volume e decrescendo a temperatura, transformando a energia térmica em energia potencial (DURY, 1972; FRITZONS, 2016).

Em resposta a esta dinâmica da rugosidade tem-se o seguinte quadro, quanto maior a rugosidade, maior a diminuição do processo de advecção, ou seja, as áreas com as menores cotas altimétricas, geralmente apresentam maior intensidade ao efeito do fenômeno das ilhas de calor urbanas.

Assim, de acordo com o mapa altimétrico, as classes com as maiores altitudes para a cidade de Juazeiro, localizam-se nos setores associados à colina do Horto (580 metros) e nas áreas em direção aos municípios vizinhos de Crato e Barbalha, com cotas entre 400 a 600 metros em relação o nível do mar.

Em contrapartida, as classes com menores cotas altimétricas espriam-se por parcelas que compreendem as planícies de inundação associadas às drenagens que cortam o município, destacando a drenagem das Timbaúbas e o rio Salgadinho.

# Mapa 08 – Mapa altimétrico



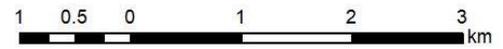
### Altimetria (metros)

- Altimetria 400 - 600
- Altimetria 300 - 400

### Legenda

- Perímetro urbano
- Área Rural
- Bairros
- Limites Municipais

### Mapa de altimetria



Sistema de Projeção Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum Geodésico SIRGAS 2000

Fonte: Autora.

## 5.2 Mapeamento do potencial dinâmico

### 5.2.1 Mapa de efeitos bioclimáticos

Para categorização dos dosséis vegetativos (Mapa 09) da cidade de Juazeiro do Norte, utilizou-se o Índice de Vegetação Ajustada para o Solo (SAVI) (Equação 01). Este índice segue os mesmos parâmetros do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), muito embora, introduz-se no SAVI uma constante “L” que tem a função de minimizar o efeito do solo no resultado final do índice e pode variar de 0 a 1, e para gerá-lo, assim como no NDVI, utiliza-se as bandas 4 e 5 do satélite Landsat 8, nos intervalos espectrais infravermelho e infravermelho próximo.

$$SAVI = \frac{(L) \rho IV - \rho V}{L + \rho IV + \rho V} \quad (01)$$

Segundo Huete (1988), os valores de L são, L igual a 01 para densidades baixas de vegetação, L igual a 0,5 para densidades médias e L igual a 0,25 para densidades altas.

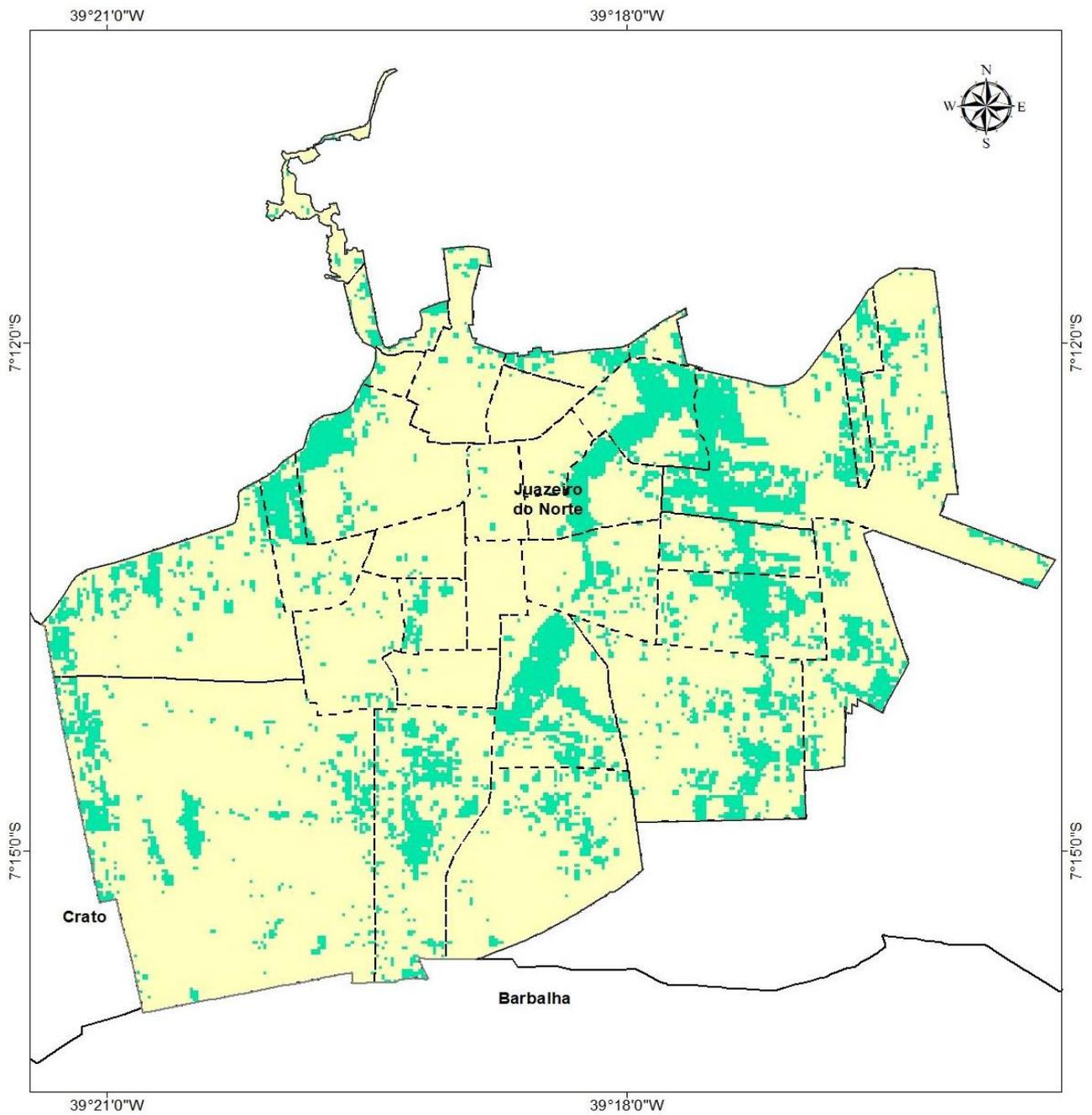
Esta variável atua sobre os elementos climáticos em microclimas urbanos, colaborando positivamente no controle da radiação solar, temperatura, umidade do ar, ação dos ventos e da chuva, além de amenizar a poluição do ar. Essa influência varia de acordo com o tipo de vegetação, seu porte, idade, período do ano, formas de associação dos vegetais e também, com relação às edificação e seus recintos urbanos (MASCARÓ, 2009).

Assim, a vegetação urbana é uma importante variável na atenuação das temperaturas da cidade, isso por que além dela transformar o calor advindo da radiação solar a partir da evaporação com o processo da fotossíntese, a presença de dosséis vegetativos produzem sombreamentos na cidade que evitam o aquecimento das superfícies, sejam calçamentos asfálticos ou de concreto.

As áreas que mostraram os maiores efeitos bioclimáticos para a cidade de Juazeiro foi o setor que está inserido na recente Unidade de Conservação do Parque Natural Municipal das Timbaúbas, criado por meio decreto 328, de 23 de outubro de 2017. Além da presença dos efeitos da vegetação urbana no parque citado anteriormente, estas classes também estiveram associadas às vegetações adjacentes às drenagens que cortam a cidade, principalmente a drenagem do rio Salgadinho e a drenagem do riacho das Timbaúbas, ambas incluídas na Bacia do Salgado. No mapa ainda é possível observar áreas onde existe a presença de áreas remanescentes de vegetação distribuída esparsamente em toda a cidade.

O padrão de distribuição encontrado com o mapa de efeitos bioclimáticos conversam com os resultados obtidos na análise de ilhas de calor superficiais desenvolvido por Estevão (2016) no qual “as áreas com classe de TST mais baixas distribuíram-se em recintos com presença de vegetação, corpos hídricos ou solo com alguma influência vegetacional, como gramíneas (que em relação ao asfalto ou concreto transforma calor através da evapotranspiração), ou seja, a distribuição das classes mais aprazíveis nestes espaços específicos sobreveio por conta da relevante concentração de umidade nos ambientes naturais.

# Mapa 09 – Mapa de efeitos bioclimáticos



### Efeitos bioclimáticos (espaços verdes urbanos)

- Ausência de Espaços Verdes (Vegetação)
- Presença de Espaços Verdes (Vegetação)

### Legenda

- Bairros
- Área Rural
- Perímetro urbano
- Limites Municipais

### Mapa de efeitos bioclimáticos (espaços verdes urbanos)



Sistema de Projeção Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum Geodésico SIRGAS 2000

Fonte: Autora.

### ***5.2.2 Mapa de cobertura do solo por edificações***

Para esta variável (Mapa 10), utilizou o primeiro mapa confeccionado (volume edificado) como alicerce para calcular o mapa de cobertura do solo por edificações, representado pela ausência ou presença da mesma. Para o desenvolvimento deste produto cartográfico categorizou-se por classe, diferenciando os padrões das edificações, podendo ser: alto potencial (áreas residenciais, verticalização intermediária, verticalizada e aglomerados subnormais) no qual considerou entre 50% a 100% de cobertura do solo com peso 0, a segunda classe representa as porções de médio potencial (áreas industriais) que variam entre 0 e 50%, com peso -1 e a última classe, foi classificada com baixo potencial (áreas sem edificações), com peso -2.

O mapa de cobertura do solo por edificações tem como principal finalidade avaliar o efeito da densidade dos equipamentos urbanos na cidade bem como o impacto da impermeabilização e seu papel no acúmulo de calor diurno.

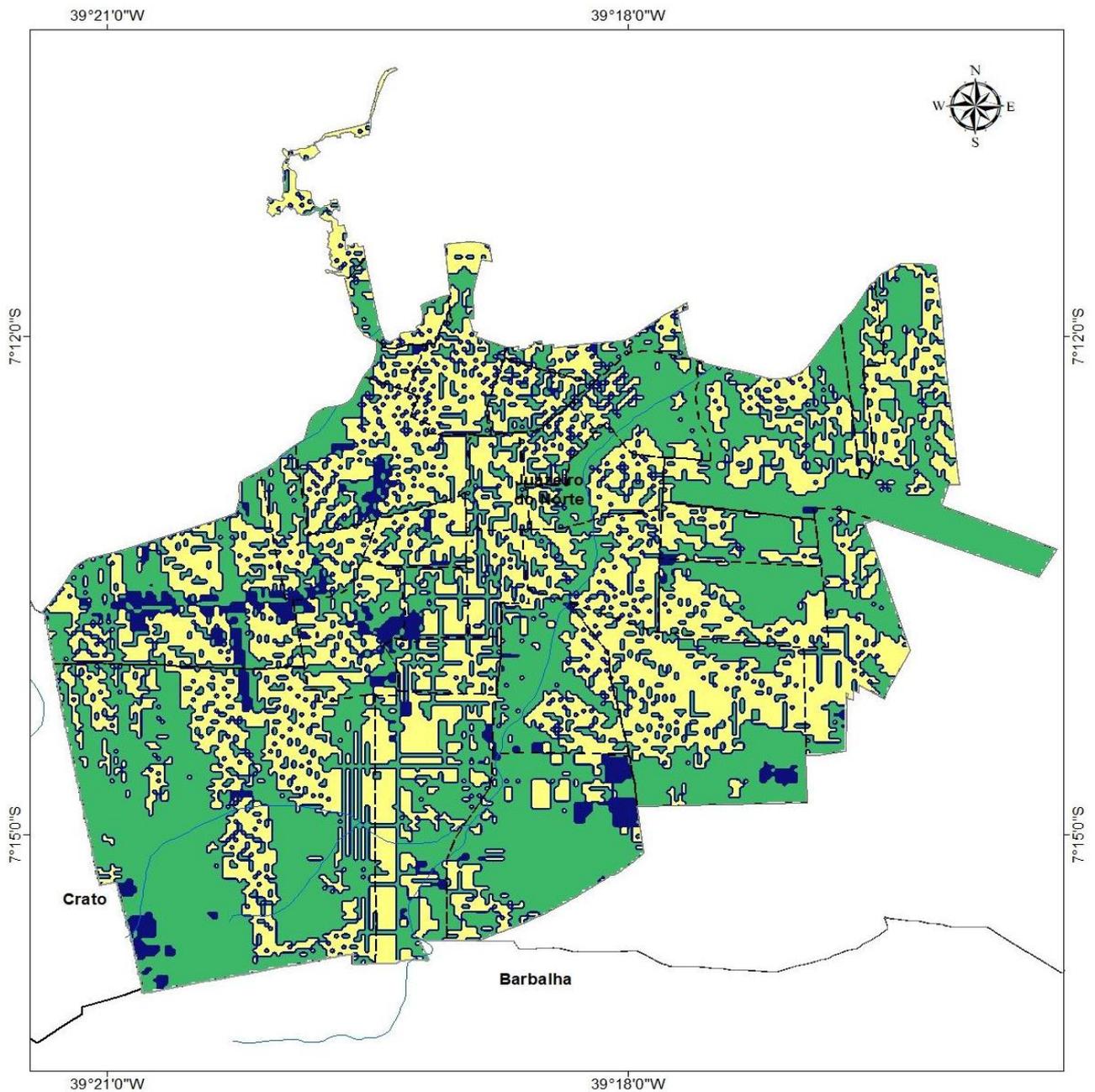
Quanto maior densidade de construções e verticalização, maior armazenamento de calor, em função da capacidade das construções de armazenar calor, elevando a temperatura e reduzindo a umidade, somatório desses fatores potencializa os efeitos da ilha de calor e colabora para o aumento da carga térmica (FREITAS ET AL, 2021).

Com base na análise do produto gerado, em termos gerais, considerando o perímetro urbano observou que a classe mais presente na cidade é a de 50 a 100% de cobertura por edificações, traduzido no processo de impermeabilização do solo por parte das construções urbanas, e promovendo modificações no balanço energético.

Nos setores que correspondem com densidade edificada de 0 a 50%, estas porções estão localizadas em áreas muitas vezes associadas à expansão do tecido urbano a partir da especulação imobiliária na figura das construções de novos prédios comerciais e loteamentos, assim como áreas de edificação intermediária com a presença de alguns espaços abertos, que oportunizam a circulação do vento.

Por último tem-se a classe com baixo potencial de cobertura do solo por edificação, que em sua maioria apresentam solo exposto, áreas com vegetação rasteira e esparsa, assim como áreas de especulação imobiliária na formação de loteamentos urbanos.

Mapa 10 – Mapa de cobertura do solo por edificações



**Cobertura do solo por edificação**

- Alto Potencial (50 a 100%)
- Baixo Potencial (Sem edificação)
- Médio Potencial (0 a 50%)

**Legenda**

- Hidrografia
- Área Rural
- Perímetro urbano
- Bairros
- Limites Municipais

**Mapa de cobertura do solo por edificação**



Sistema de Projeção Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Datum Geodésico SIRGAS 2000

Fonte: Autora.

### **5.2.3 Mapa de vegetação**

Uma série de elementos geocológicos encontrados na paisagem urbana quando combinados atuam no arrefecimento das elevadas temperaturas causadas pela atuação de uma ilha de calor.

A vegetação, assim como foi discutido no mapa de efeitos bioclimáticos (Mapa 11), é uma das alternativas mais acessíveis para atenuação de elevadas temperaturas, independente de sua estratificação. Mesmo com a estratificação da vegetação, essa variável sempre se mostrará com temperaturas mais amenas do que em relação à outros integrantes do ambiente urbano, muito embora, sua estratificação estará diretamente relacionada à capacidade de arrefecimento a ponto de produzir condições climáticas mais confortáveis para a população.

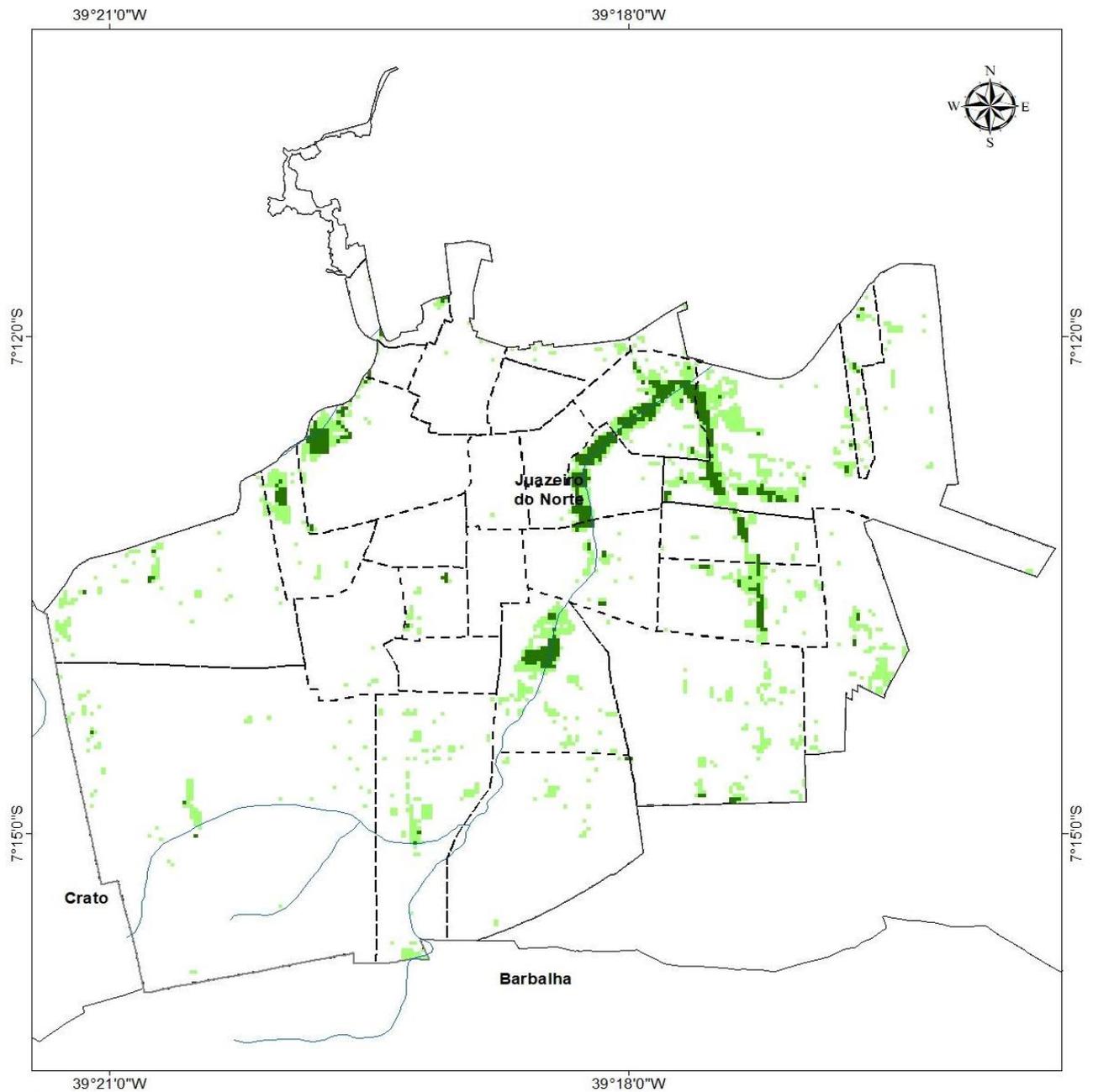
A vegetação plantada a pouco menos de 1 metro de distância da parede oeste de um edifício em horários de pico de calor tem a capacidade de causar o arrefecimento de diferentes graus dependendo do porte vegetacional. Trepadeiras podem reduzir a temperatura em até 20 °C, árvores sempre verdes em até 18 °C, arbustos e árvores em até 16 °C e gramado em até 6 °C. Essa vegetação também atua na economia energética durante picos de energia para arrefecimento ( $W/m^2$ ) ou redução do ganho de calor ( $W$ ), a trepadeira, por exemplo, pode economizar 175  $W/m^2$  (75%), as árvores sempre verdes economizam 60  $W/m^2$  (50%), os arbustos e árvores 5000  $W$  (58%) e o gramado economiza 100  $W$  (25%) no consumo energético (MEIER, 1991).

Considerando o porte vegetacional e sua influência no arrefecimento, o mapa de vegetação empregou Índice de Vegetação Ajustada para o Solo (SAVI) e o categorizou em duas classes, sendo elas: vegetação rasteira, com o peso -2 e vegetação arbórea, com o peso -1.

Com a interpretação do mapa, pode-se visualizar que as classes de vegetação arbórea localizam-se predominantemente em áreas adjacentes aos leitos dos rios, sobretudo na Unidade de Conservação do Parque Natural Municipal das Timbaúbas e no leito do rio Salgadinho, já mencionadas anteriormente, além de áreas de lazer como praças, parque urbano e areninhas distribuídas pela cidade.

Referente à classe que engloba as gramíneas, estas estão situadas também em áreas próximas aos leitos dos rios, áreas de especulação imobiliária e áreas de solo desnudo na cidade. A classe referente aos setores que não apresentam vegetação estão inclusas, sobretudo, nas parcelas do espaço urbano que são destinados às edificações, principalmente residenciais.

# Mapa 11 – Mapa de vegetação



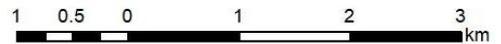
## Paisagens Naturais

- Vegetação Gramínea
- Vegetação Arbórea
- Ausência de Vegetação

## Legenda

- Perímetro urbano
- Área Rural
- Hidrografia
- Bairros
- Limites Municipais

## Mapa de Paisagens Naturais



Sistema de Projeção Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum Geodésico SIRGAS 2000

Fonte: Autora.

#### ***5.2.4 Mapa de declividade***

O mapa de declividade (Mapa 12) foi construído com base na imagem proveniente do satélite Alos Palsar capaz de adquirir imagens tridimensionais detalhadas da superfície terrestre. Para o desenvolvimento desse mapa, setorizou-se a declividade com base em quatro classes, sendo indiferente para as áreas mais planas do terreno, baixa declividade, para as áreas com declividade em torno de 1 a 5%, média declividade para as áreas com declividade de 5 a 30% e declividade alta para as áreas acima de 30%.

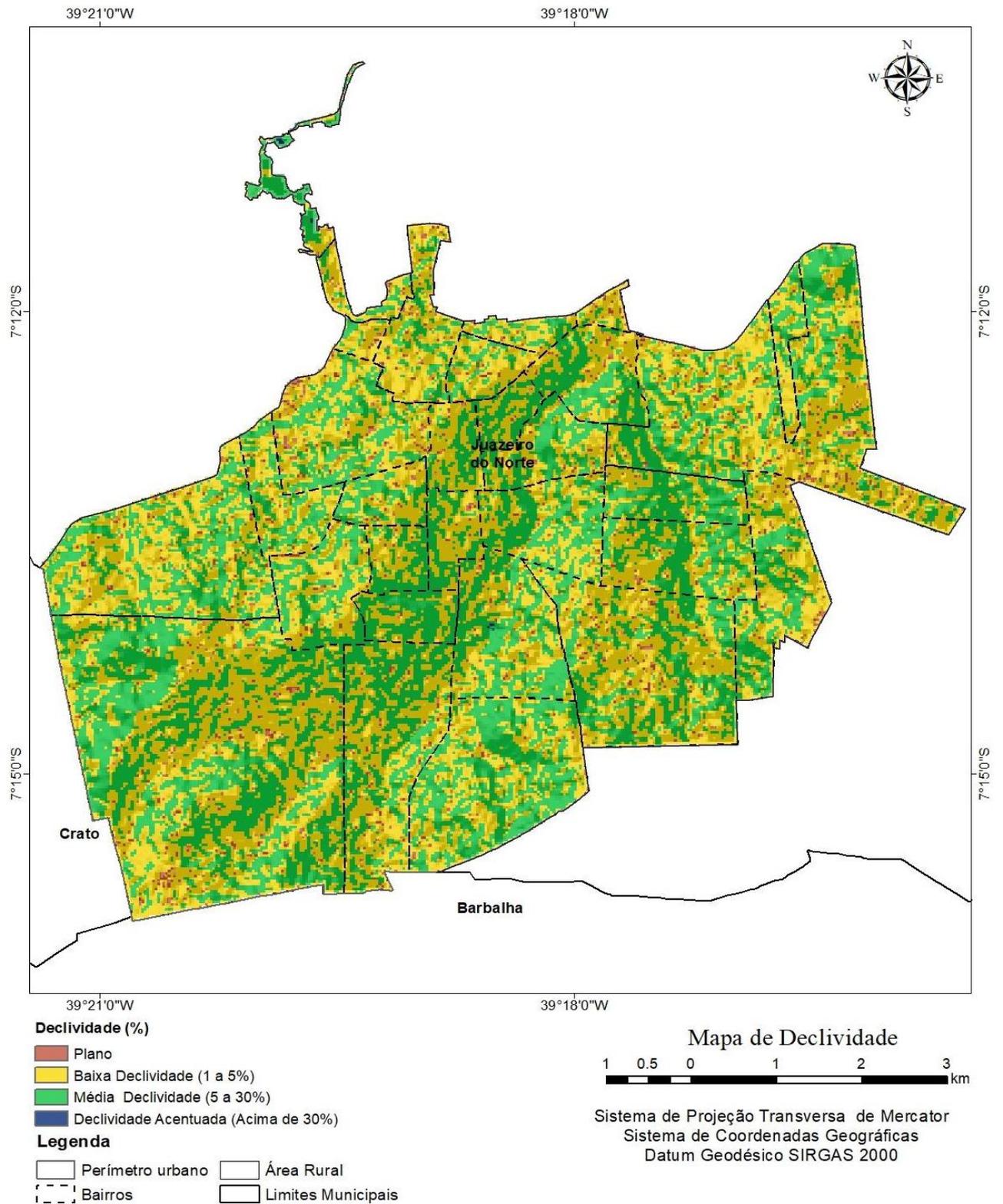
A declividade interfere no desempenho da ventilação por meio do movimento do ar, deste modo os ventos descendentes provenientes das encostas, ventos frios resultantes do balanço negativo de radiação, exercem impacto positivo nas regiões localizadas na base dos declives, esses ventos catabáticos ocorrem frequentemente ao longo de vales estreitos e declives acentuados (LIMA JÚNIOR, 2018).

A cidade de Juazeiro está inserida num contexto que apresenta três unidades geomorfológicas: os domínios de colinas dissecadas e morros baixos, planícies fluviais e superfícies aplainadas degradadas. Os domínios de colinas dissecadas e morros baixos localizam-se nos setores norte e noroeste do município, já as planícies fluviais caracterizadas por formas de relevo planas permeiam as drenagens possuindo elevado processo de sedimentação, estas estão enclausuradas nos canais que cortam o município e quanto às superfícies aplainadas degradadas acham-se nos setores leste, sul, sudeste e oeste (ESTEVÃO, 2016).

Dessa forma as áreas de planícies fluviais, como o rio Salgadinho e riacho das Timbaúbas apresentam declividades indiferentes, perfazendo as áreas mais planas do terreno. A maior parte da cidade encontra-se com baixa (1 a 5 %) e média (5 a 30%) declividade, inseridas nas unidades geomorfológicas que englobam as superfícies aplainadas degradadas. O único setor que dispõe de declividade acentuada (acima de 30%) está situado na unidade geomorfológica, domínio de colinas dissecadas e morros baixos, nomeada a colina do Horto.

Em posse dos dados gerados, nota-se que a camada declividade representa uma influência de característica local, intervindo na produção de ar frio descendente devido a ação da gravidade. O setor com maior declividade na cidade em estudos realizados outrora demonstraram que essas áreas experimentaram temperaturas inferiores em comparação a outras variáveis, em termos gerais, a porcentagem de declividade promove diretamente a circulação de ventos, e estes por sua vez atuam como verdadeiros dissipadores de calor.

## Mapa 12 – Mapa de declividade



Fonte: Autora.

### 5.2.5 *Mapa de orientação de vertentes*

A disposição das vertentes (Mapa 13) atua principalmente no arrefecimento dos ambientes urbanos. A esse respeito Mendonça (1990) assinalou que a variação da inclinação do relevo de um dado local, cumpre importante função na disseminação de energia calorífica das mesmas, ou seja, o deslocamento radioativo de uma vertente inclinada e estabelecida em direção norte, em área subtropical austral será mais acentuado do que uma vertente sob as mesmas condições e localização posicionada em direção sul.

A utilização dessa camada para o desenvolvimento do mapa climático urbano foi utilizada pois a orientação das faces das vertentes é determinada a princípio pelo fato das superfícies inclinadas receberem mais ou menos calor que a superfície horizontal (GEIGER, 1961).

A construção deste importante fator microclimático pôde ser identificado a partir da elaboração do mapa de orientação de vertente, que possui distintas formas de elaboração. Nesta investigação empregou-se a imagem do satélite Alos utilizando a ferramenta *TIN legend editor* disponível no Arc Map que tem por finalidade realçar as orientações das vertentes. Seguidamente, esta imagem foi categorizada em 4 classes fundamentais na intervenção sobre o clima urbano da cidade de Juazeiro.

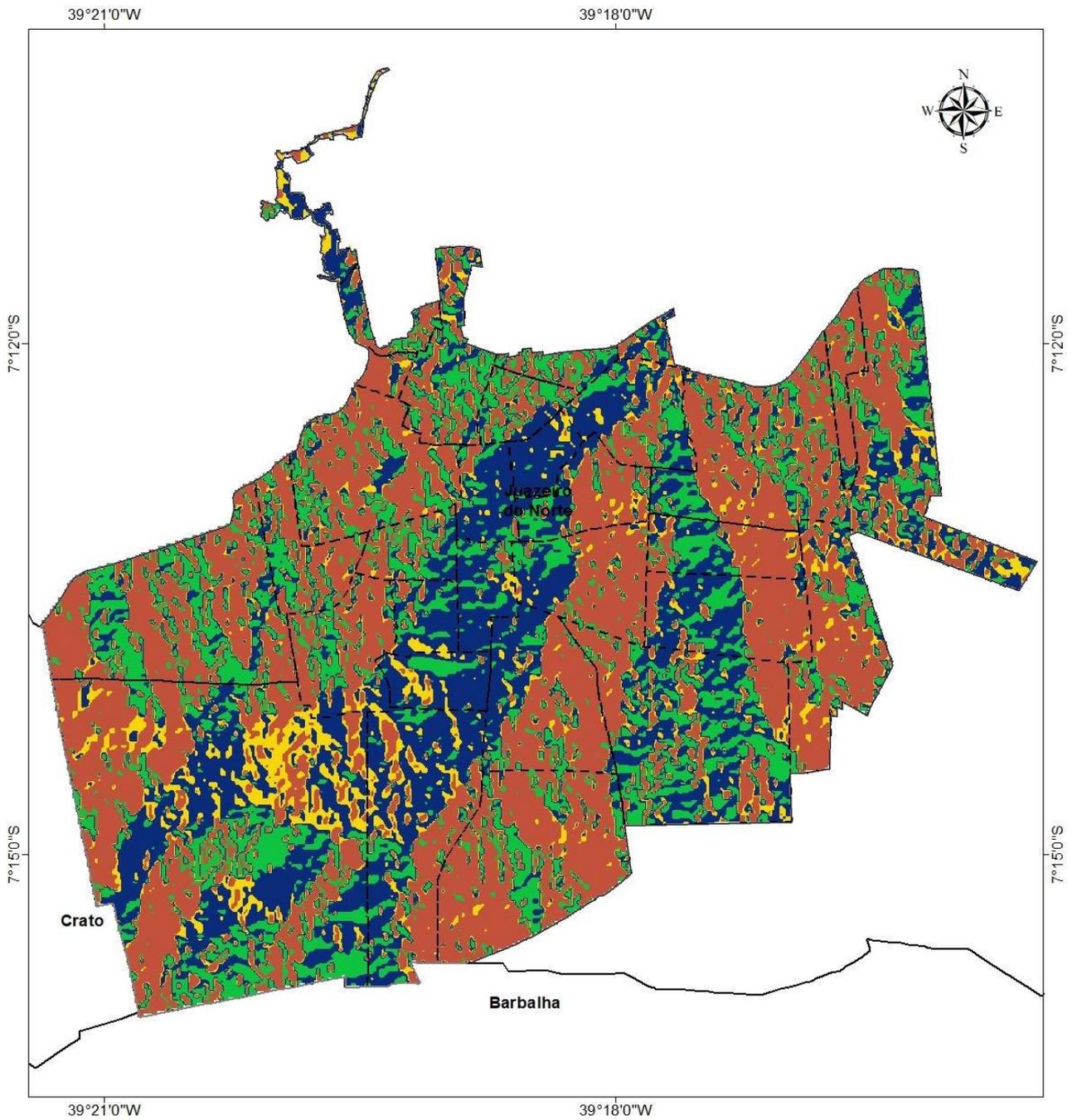
Alguns autores alertam um olhar mais cauteloso frente a esta camada para as regiões próximas ao Equador, o alemão Geiger (1961) indica que a exposição das vertentes nas regiões de excesso de calor, ou seja, próximas ao Equador não tem o mesmo significado prático frente altas latitudes.

Diante do exposto, esse critério seguiu as adaptações realizadas por Lima Júnior (2018) no qual modificou o modelo original para atender as características da região Nordeste do Brasil. Para tanto as classes bem como os pesos foram deliberados com base na orientação das vertentes e principalmente no deslocamento dos ventos de macro escala.

Desse modo, nessa adaptação considerou os alísios de Sudeste os mais significativos no que se refere a atuação nesta região, sendo as principais direções de entrada dos ventos (Leste e Sudeste), recebendo peso -3. As vertentes posicionadas a Norte e Nordeste receberam peso -2, em virtude da atuação dos ventos alísios durante a quadra chuvosa. As vertentes direcionadas ao Sul receberam peso -1 resultado da entrada de ventos de menores proporções nessa direção. Por último, as vertentes Oeste, Noroeste e Sudoeste, receberam peso 0 (LIMA JÚNIOR, 2018).

A disposição da face das vertentes na cidade de Juazeiro identificou que nas extremidades do perímetro urbano localizam-se vertentes direcionadas a Oeste, Sudoeste e Noroeste, não desempenhando muita influência no que se refere ao potencial dinâmico. As vertentes direcionadas ao sul estão localizadas em direção aos municípios limítrofes de Crato e

Barbalha e na literatura, também não possui um deslocamento radioativo acentuado. E no que concerne à disposição das vertentes com orientação a Norte, Nordeste (-2) e Sudeste, Leste (-3) estas categorias interseccionam no sentido norte/sul o setor central do perímetro urbano. Tais classes oportunizam maior entrada de vento, atuando positivamente no arrefecimento da energia calorífica, ainda que essas mesmas áreas são as mais aquecidas pela energia eletromagnética proveniente do sol.

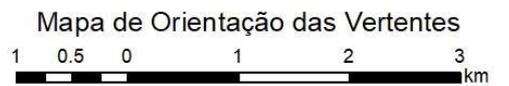


**Orientação das Vertentes**

- |  |  |
|--|--|
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #C85130; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Oeste, Sudoeste, Noroeste | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #38A848; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Norte, Nordeste |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FFD700; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Sul                       | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #004080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Sudeste, Leste  |

**Legenda**

- |  |  |
|--|--|
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Perímetro urbano | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Área Rural         |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border-top: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Bairros     | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Limites Municipais |



Sistema de Projeção Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Datum Geodésico SIRGAS 2000

Fonte: Autora.

### ***5.2.6 Mapa de comprimento de rugosidade***

A rugosidade (Mapa 14) está intrinsicamente ligada à interceptação das correntes de ventos por parte dos equipamentos urbanos. O menor ou maior barramento desse vento está relacionado com a quantidade de pavimentos que estas estruturas vão dispor, dinamizando assim o comprimento da rugosidade.

No que concerne à velocidade e direção dos ventos predominantes na cidade, há uma lacuna nesse sentido uma vez que não existe nenhuma estação meteorológica automática responsável pela coleta dessas informações.

De modo genérico, os mecanismos de macroescala que condicionam os ciclos sazonais da direção do vento em regiões tropicais são os ventos alísios, e seu comportamento é afetado pelas suas particularidades climáticas e orográficas. Já as características do vento em microescala os principais fenômenos são decorrentes da contínua geração de vórtices devido a fricção do vento sobre a superfície, onde o mesmo perde velocidade naturalmente frente a passagem do fluxo de ar sobre uma variedade de superfícies, podendo ser naturais (chapadas, colinas, vegetação) ou artificiais (construções) (SILVA, 2003).

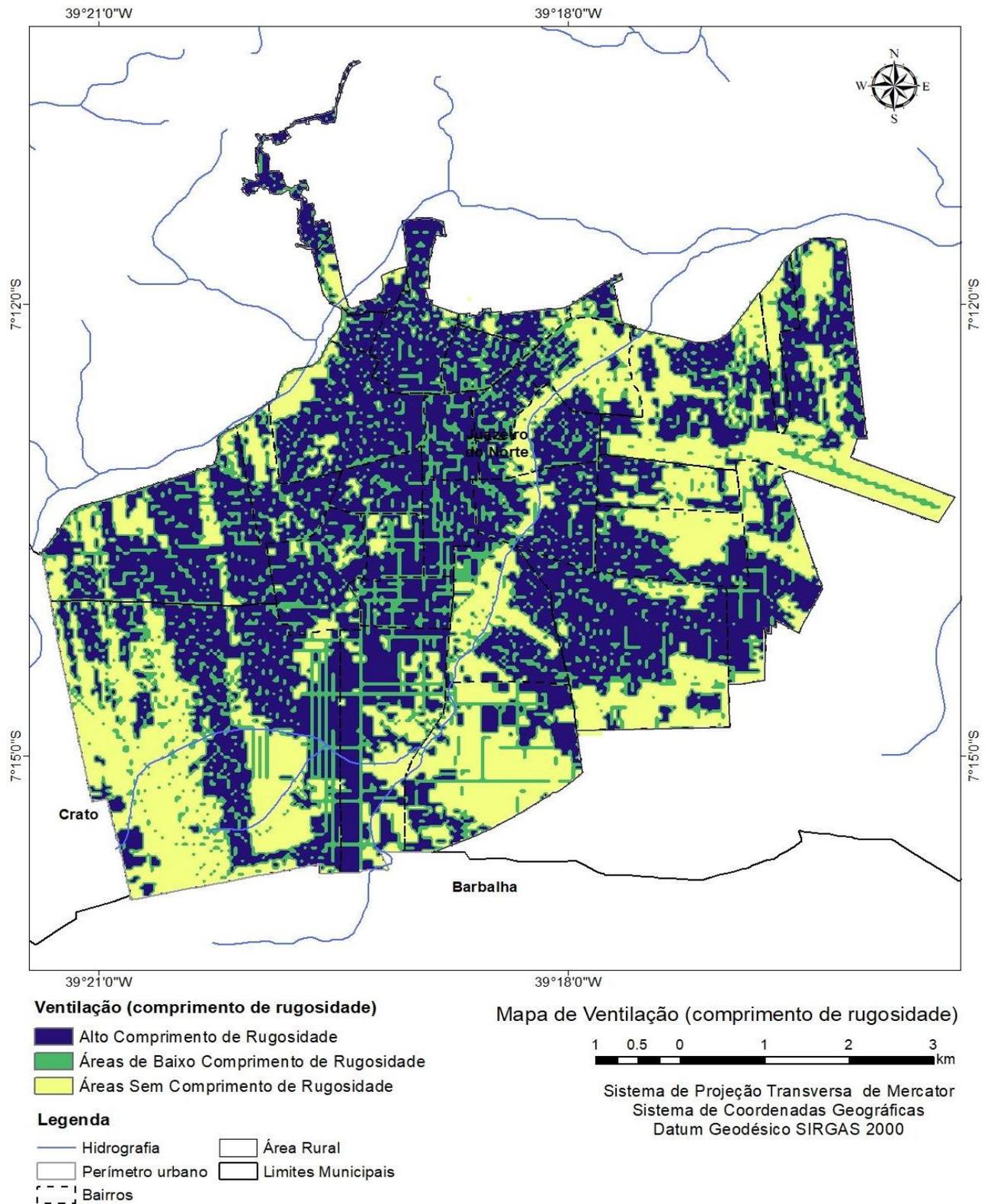
O produto gerado para distribuir a rugosidade da cidade foi elaborado considerando o mapa de volume edificado, uma vez que essa camada sofre influência direta da quantidade de pavimentos que uma construção urbana possui. Setorizou-se essas classes em 3, sendo classe alta, baixa e áreas sem comprimento de rugosidade. A classe alta inclui os setores edificados como as áreas residenciais, verticalizadas e industriais. As áreas de baixo comprimento de rugosidade estão associadas às vias de acesso da cidade, e por último a classe que compreende as áreas sem comprimento de rugosidade, representada pelas áreas verdes, as áreas não edificadas e solos desnudos.

Interpretando o mapa de comprimento de rugosidade, percebe-se que a maior parte da cidade de Juazeiro do Norte dinamiza um alto comprimento de rugosidade, considerando que a maior parte do tecido urbano encontra-se como residencial, colaborando parcialmente para um barramento da ventilação urbana.

As informações analisadas nesse produto refletem como algumas variáveis na elaboração do mapa climático urbano estão interligadas a ponto de interferir umas nas outras, independente se sua contribuição é positiva ou negativa no balanço energético da cidade. Esta afirmação pode ser facilmente confirmada quando comparamos a distribuição do volume edificado, da cobertura do solo por edificações, da cobertura do solo relativo aos ganhos antropogênicos e do comprimento de rugosidade.

As áreas com baixo comprimento de rugosidade encontram-se localizadas, sobretudo nas vias de acesso, onde de acordo com a literatura a aerodinâmica do deslocamento dos ventos nessas áreas não encontram grandes barreiras para interceptá-los. E as classes que não interferem na rugosidade, estas são áreas onde não existem nenhuma superfície significativa capaz de diminuir a velocidade do vento, sobretudo porções do solo urbano que estão expostos ou cobertos por vegetações rasteiras, dessa maneira, os ventos incidentes possuem maior potencial dinâmico, tornando-se áreas menos suscetíveis ao aquecimento.

Mapa 14 – Mapa de comprimento de rugosidade



Fonte: Autora.

### 5.3 Mapa da carga térmica e do potencial dinâmico

Com a soma dos mapas de volume edificado, uso do solo relativo aos ganhos antropogênicos e altimetria, gerou-se o mapa que condiciona a carga térmica do balanço energético da cidade de Juazeiro (Mapa 15). Com base nesse produto cartográfico é possível delinear os setores com alto potencial de ganho ou armazenamento térmico na cidade. A partir da análise do mapa de carga térmica, percebe-se que foram geradas 8 classes que traduzem os intervalos da capacidade de aumento da temperatura do ar, que correspondem aos elementos mapeados e que compõem a morfologia urbana de Juazeiro.

As 8 classes demonstram as áreas potenciais de aquecimento uma vez que cada uma delas representam valores que somam para o aumento de temperatura em determinadas zonas do tecido urbano, sendo as classes com valores mais baixos as áreas com elementos que condicionam um ganho positivo menor, e as classes mais altas oportunizam o saldo positivo e necessariamente setores na cidade que concentram maior aquecimento. Esse maior aquecimento favorece o surgimento do fenômeno que conhecemos por ilhas de calor.

Analisando detalhadamente as particularidades de cada classe, podemos destacar que a classe 2, dentre as classes identificadas na carga térmica apresenta as temperaturas mais confortáveis, resposta dada a sua capacidade de resfriamento subordinada pela morfologia urbana que é beneficiada pela presença de espaços abertos, solo expostos, vegetação rasteira, leitos de rios e a ausência de equipamentos urbanos.

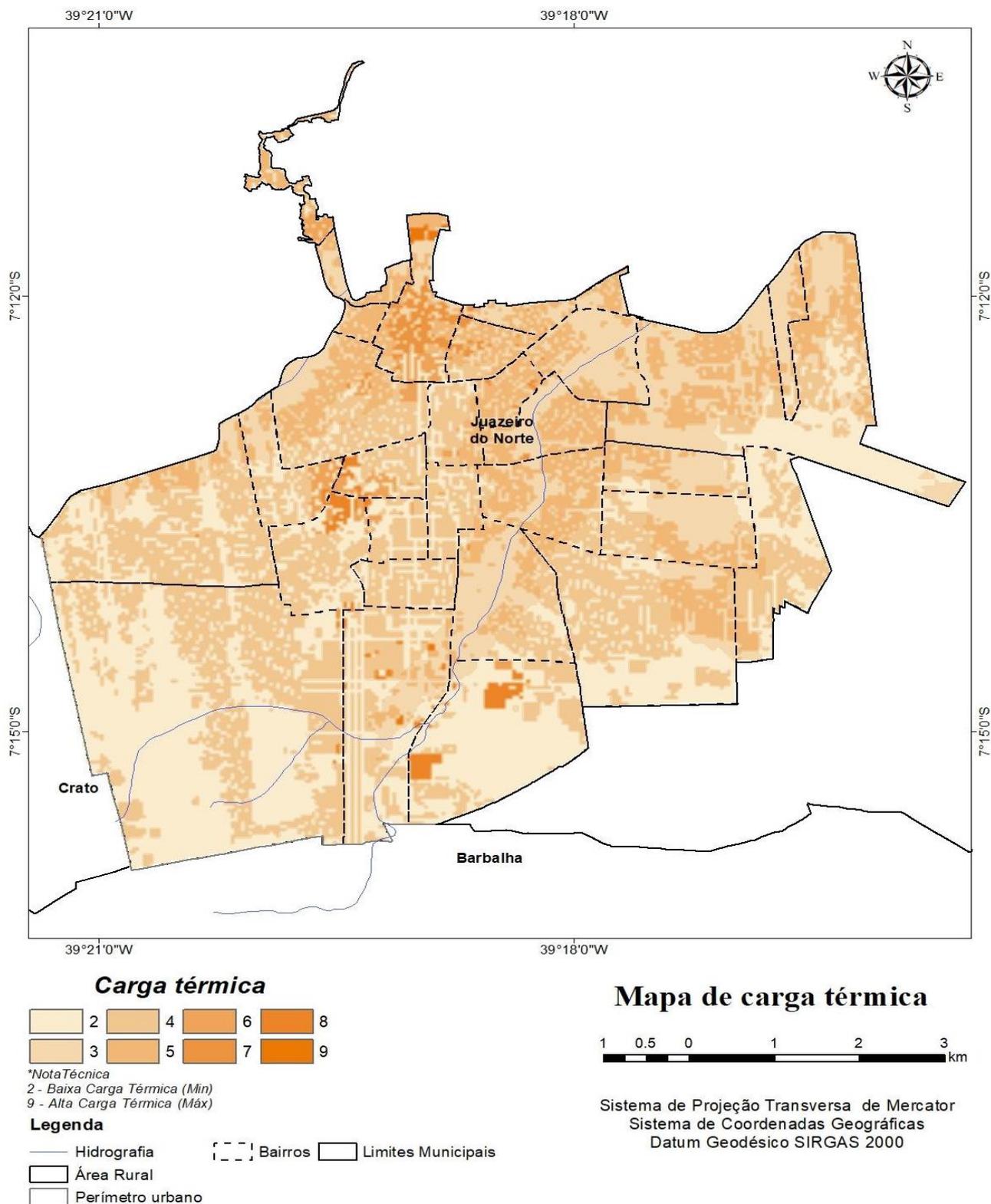
Esse conjugado de variáveis está atrelado à mitigação e seu papel é minimizar a temperatura do ar a partir de sua eficiência em manter os ambientes mais frescos (FERREIRA, 2014).

As classes de 3 a 5 em função hierárquica da capacidade de aquecimento, podem ser rotuladas como intermediárias, posto que embora agreguem na produção de calor principalmente pelo volume edificado representado na categoria das áreas residenciais, não são os principais responsáveis pela fonte primária de calor gerada na cidade.

O maior potencial de ganho térmico está vinculado às classes que vão de 5 a 9. Estas categorias são capazes de criar campos térmicos, que maximizam a temperatura do ar, tornando-se as regiões mais aquecidas e como efeito as zonas mais desconfortáveis da cidade. A produção de calor está correlacionada ao processo de verticalização da massa construída, compactuado com as propriedades dos materiais como albedo e emissividade, fator de visão do céu reduzido e a alta taxa de impermeabilização do solo urbano (FERREIRA, 2014).

Se o clima urbano pode ser definido como um equilíbrio entre os efeitos negativos e positivos da oscilação energética, os itens pontuados acima naturalmente contribuem para a amplificação da carga térmica nessas zonas, intensificando a necessidade de mitigação.

Mapa 15– Mapa de carga térmica de Juazeiro do Norte



Fonte: Autora.

Assim como o mapa de carga térmica, a combinação dos mapas de efeitos bioclimáticos, de cobertura do solo, paisagens naturais, declividade, orientação das vertentes e rugosidade, foram responsáveis pela elaboração do mapa de potencial dinâmico (Mapa 16), assinalando as áreas capazes de atuar no arrefecimento ou atenuação da temperatura do ar.

As classes representam as variáveis que atuam nos valores negativos da oscilação energética na cidade. Então, as zonas beneficiadas com a presença de vegetação, espaços abertos sem interceptação das correntes de vento, alta declividade, altimetria e posicionamento das vertentes são encarregados de minimizarem a temperatura do ar.

Foram geradas 12 classes para a cidade de Juazeiro, revelando áreas com alto, médio e baixo potencial dinâmico. O menor potencial dinâmico (0 a -5) está situado nos setores que abrigam uma verticalização intermediária ou intensa (Triângulo e Centro), reflexo da alta taxa de rugosidade dessas extensões do revestimento urbano, que atuam como interceptadores das correntes de ventos, ademais, essas regiões são pouco beneficiadas pela presença de elementos naturais eficientes na atenuação das altas temperaturas, como a própria ventilação.

As classes destinadas de -6 a -8 estão situadas nas parcelas do espaço urbano que foram identificadas como áreas residenciais, industriais e de aglomerados subnormais. Obviamente esta configuração oportuniza um médio potencial de resfriamento, uma vez que o movimento do ar não consegue deslocar-se livremente, bloqueado pela densidade das habitações, ocasionando um aumento no armazenamento de calor.

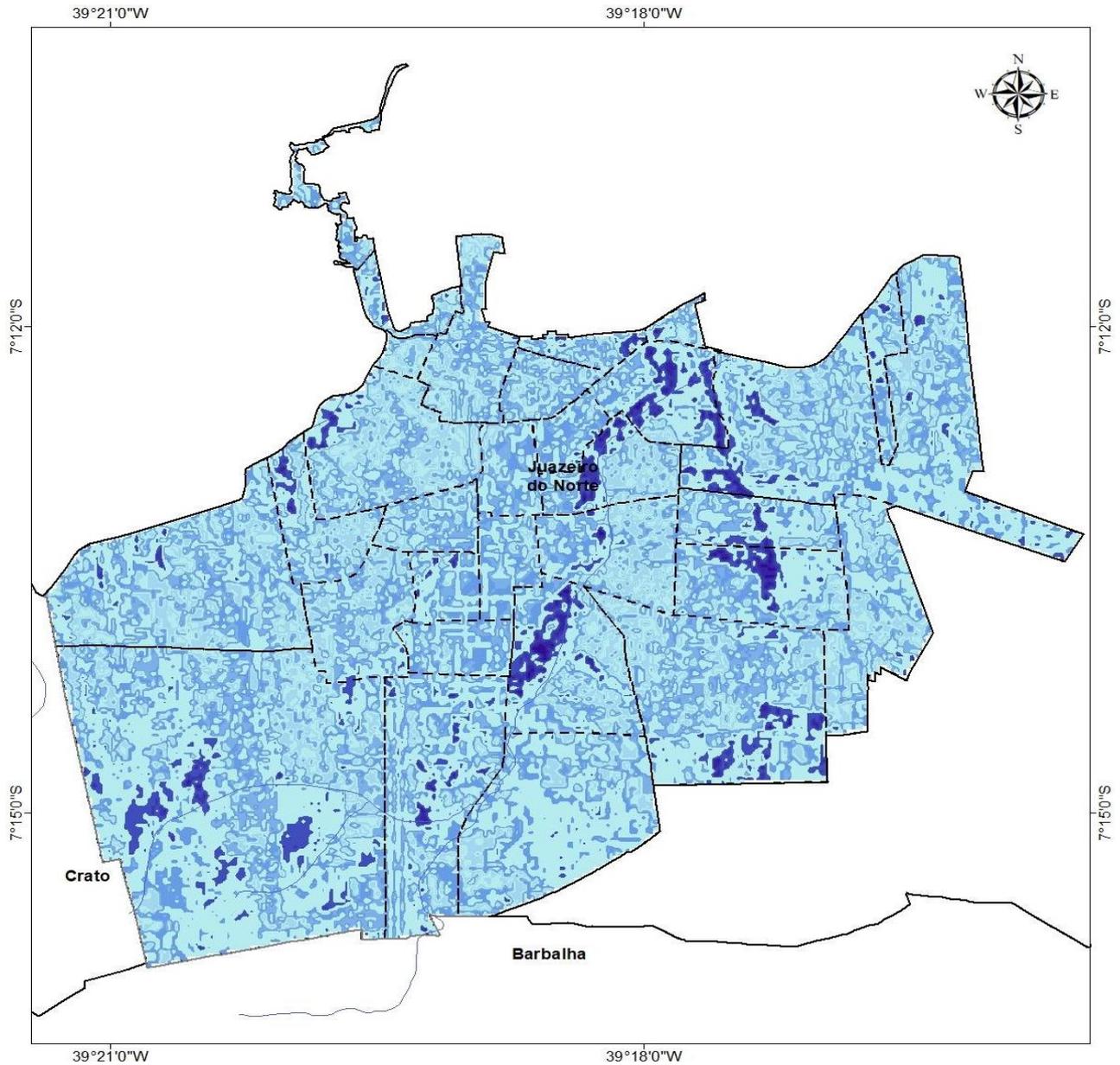
O desenho urbano, em cargo do arranjo, elevação, densidade dos edifícios e demais elementos urbanos e a estagnação térmica das superfícies, individualizada pela singularidade dos materiais interagem com as temperaturas do ambiente adjacente, armazenam ou refletem a radiação incidente (PEREIRA, 2017).

O maior potencial dinâmico está no intervalo de classes que varia entre -9 e -11, situados nos leitos dos rios, associados com vegetação densa, esparsa e rasteira, além de remanescentes em setores de ambientes abertos, configurando regiões em potencial para as ilhas de frescor.

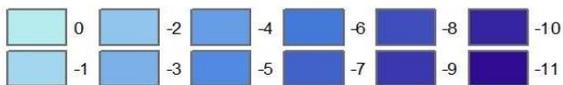
A presença da arborização além de ter a competência de vir a desenvolver uma célula de frescor juntamente com as drenagens assume função de importante corredor de ventilação do espaço urbano. Isso se dá devido à sua morfologia, que atua como canalizadores de fluxos catabáticos, originando a formação de superfícies líquidas de ar frio nas áreas topograficamente rebaixadas (MARQUES, 2009).

Em termos gerais, esse cenário assegura uma condição de umidade favorável ao resfriamento, renovação e circulação do ar justamente em razão da proximidade desses elementos (massas de água e vegetação), incumbidos de diminuir a temperatura do ar.

Mapa 16 - Mapa de potencial dinâmico de Juazeiro do Norte



**Potencial dinâmico**



\*Nota Técnica

0 - Baixo Potencial Dinâmico (Min)

-11 - Alto Potencial Dinâmico (Máx)

**Legenda**

- Hidrografia
- Bairros
- Limites Municipais
- Área Rural
- Perímetro urbano

**Mapa de potencial dinâmico**



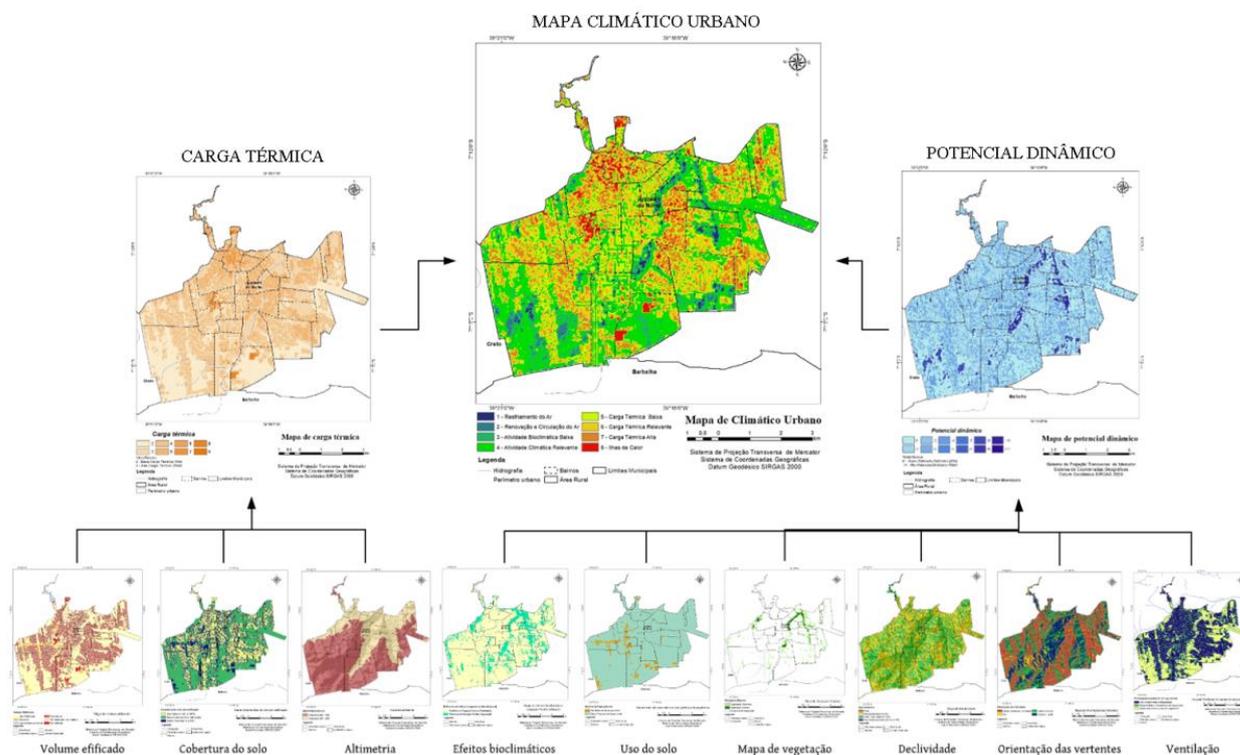
Sistema de Projeção Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Datum Geodésico SIRGAS 2000

Fonte: Autora.

## 5.4 Mapa climático urbano de Juazeiro do Norte

A combinação de todas as variáveis descritas anteriormente resultou no mapa climático urbano da cidade de Juazeiro do Norte (Figura 15 e Mapa 17), fruto da setorização de campos térmicos distintos na área urbana, representando tanto o ganho e armazenamento de calor, como as áreas em potencial para perda de calor ou arrefecimento do mesmo. O MCU setorizou o espaço urbano da cidade em 8 classes, categorizadas com base nos impactos para o conforto térmico.

Figura 15 – Esquema de construção do MCU



Fonte: Autora

Alicerçada na metodologia de Ribeiro (2016) estabeleceu-se as classes seguindo as repercussões para o bem estar térmico, sendo elas: resfriamento do ar, renovação e circulação do ar, atividade bioclimática baixa, atividade climática relevante, carga térmica baixa, carga térmica relevante, carga térmica alta e ilhas de calor.

A primeira classe (01) denominada resfriamento do ar está associada às áreas vegetadas ou próximas a massas d'água, sobretudo nos setores que compreendem as drenagens dos riachos

que atravessam o tecido urbano, possuindo alto potencial para o resfriamento do ar, sendo um intervalo muito importante para a atenuação climática.

Essas áreas estão situadas ou em altitudes mais elevadas e íngremes com vegetação, ou calhas de canais também associados com a presença de vegetação. O resfriamento adiabático e o resfriamento evaporativo são predominantes e conservam bom potencial dinâmico e uma carga térmica moderadamente negativa. Essas áreas são fontes de ventos frios e como resultado, a temperatura costuma ser mais baixa (EDWARD NG, 2012).

Recomenda-se para essas áreas a proteção integral, e isso já acontece uma vez que grande parte dessa classe está justamente situada no Parque Natural das Timbaúbas, que desde de 2017 tornou-se a primeira Unidade de Conservação do município, enquadrada como área de proteção integral.

A classe 02 associa-se às áreas que atuam na renovação e circulação do ar, compreendendo setores pouco adensados na cidade e cobertas por vegetação arbórea natural e na plenitude de suas atividades fisiológicas, permeando as drenagens descritas na classe anterior. O resfriamento evaporativo é predominante, sendo fontes de ar fresco e proporcionando a temperatura geralmente mais baixa. Esta classe climática urbana inclui ainda a proximidade com zonas rurais, apresentando com grande relevância para a advecção e arrefecimento das temperaturas na cidade. E como assinala Freitas (2021) recomenda-se preservar a região, com baixo adensamento construtivo.

No intervalo 03 definido por uma atividade biclimática baixa, têm-se áreas pouco adensadas, com a presença de muitos espaços abertos e presença de vegetação, sobretudo gramíneas. Este intervalo não afeta muito no aumento de temperatura do ar, permitindo alterações no adensamento, situadas nos setores, sul, leste e sudoeste, todos associados a especulação imobiliária no formato de loteamentos.

Essas áreas geralmente consistem em empreendimentos amplamente espaçados e de baixa densidade nas áreas periféricas urbanas ou nos subúrbios, com baixa cobertura de solo, e efeito disso é a temperatura mais amena (EDWARD NG, 2012). Nesses setores sugere-se a manutenção da permeabilidade dos ventos.

A classe 04 do mapeamento climático urbano está vinculada a uma atividade climática relevante, dinamizado por áreas adensadas por edificações residenciais, apresentando baixa rugosidade e dispondo ainda a presença de espaços abertos. Nesta classe, identifica-se uma pequena alteração da dinâmica dos ventos, associado a alterações no adensamento. Este intervalo em específico encontra-se no entorno da classe anterior, sobretudo nas extremidades da cidade.

A configuração desses setores dispõe de edifícios de baixo a médio volume em um ambiente desenvolvido, mas aberto (por exemplo, em áreas inclinadas com uma boa quantidade de espaço aberto entre os edifícios), o impacto dessa conjuntura é um armazenamento de calor e temperatura ligeiramente quente. Nesses ambientes ainda é importante conservar a permeabilidade dos ventos, bem como a preservação das áreas vegetadas, no caso da ocorrência do aumento da densidade da malha urbana (FREITAS ET AL, 2021; BURGHARDT, 2015).

No intervalo que compreende a classe 05, percebe-se a presença de um potencial de armazenamento e acúmulo de calor baixo, dinamizado pela disposição de residências que impactam na baixa rugosidade, por possuir média densidade intercalada com vegetação urbana. Esta classe não possui grande capacidade para o armazenamento de calor, muito embora já apresente temperatura mais elevada que as demais classes, necessitando a incorporação de um Sistema de áreas verdes nesses setores.

A classe 06 apresenta uma carga térmica relevante e encontra-se em áreas mais impermeabilizadas tanto do ponto de vista de ocupação do solo, como do deslocamento do vento. São setores fortemente adensados por edificações residenciais de 01 a 03 pavimentos (baixa altura), que impõe considerável rugosidade no tecido urbano, e havendo pouca vegetação urbana. Nesta classe o conforto térmico é prejudicado, necessitando à implementação de vegetação e redução das áreas impermeabilizadas, e foi encontrada concentrada nos bairros de características residenciais e espreado-se por toda a cidade.

Para essas áreas a mitigação está pautada no desenvolvimento de estratégias que incentive a permeabilidade aos ventos, a incorporação de um sistema de áreas verdes como teto e paredes verdes, de espaços livres abertos, áreas de sombreamento e o aumento da taxa de solo natural no meio urbano (FREITAS ET AL, 2021; BURGHARDT, 2015).

Na classe 07 têm-se a carga térmica alta, caracterizadas por áreas com alto percentual de adensamentos materializados na condição de edificações, compactuados com a escassez de vegetação e de espaços abertos e dispendo de rugosidade elevada, resultando na interceptação considerada dos ventos. Esta classe encontra-se em toda região dedicada ao centro comercial da cidade, e as estratégias recomendadas seguem as mesmas sugestões direcionadas à classe anterior, com introdução de áreas verdes que proporcionam o sombreamento, criação de espaços abertos para canalização dos ventos e utilização de materiais frescos para a dissipação do calor.

A classe 08 possui o maior acúmulo de calor, porque está associada a edifícios muito altos, ou de assentamento populares demasiado compactos, com espaço aberto e permeabilidade muito limitada devido à blindagem desses mesmos equipamentos que estão dispostos de maneira adensada na malha urbana, compactuando com a baixa permeabilidade do solo, pouca

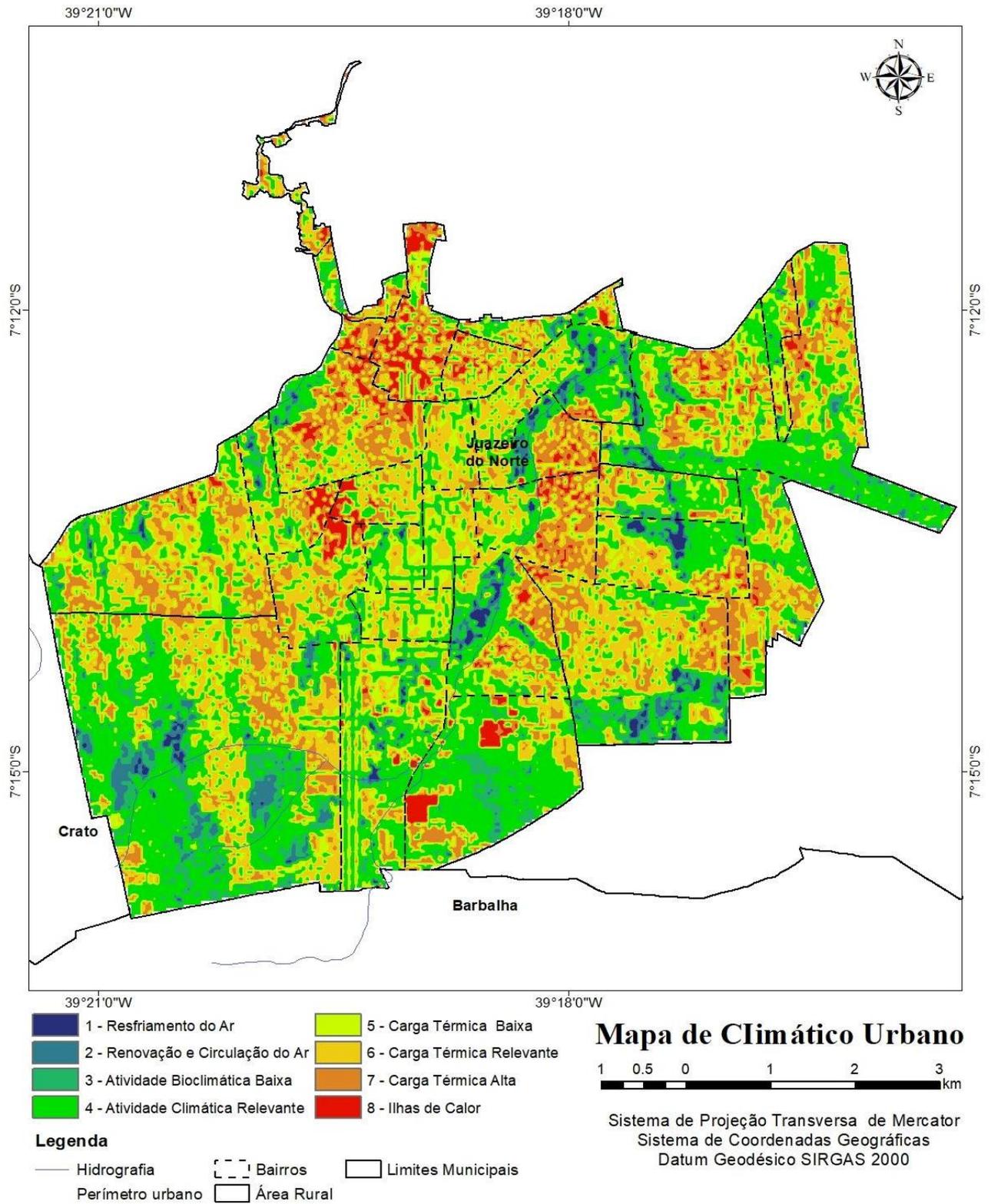
vegetação, alta rugosidade, operando na interceptação das correntes de ventos. Como efeito, a temperatura é muito elevada nessas áreas, apresentando uma alta probabilidade do surgimento e atuação de ilhas de calor, identificada em estudos anteriores (ESTEVÃO, 2016; 2021), posicionadas exatamente no Triângulo, no Centro e alguns dos bairros mais populosos, como João Cabral, Salesianos e Timbaúbas.

A elaboração dessa metodologia forneceu informações detalhadas dos aspectos que condicionam o acúmulo de calor bem como o seu resfriamento na cidade de Juazeiro, fornecendo subsídios indispensáveis para delinear projetos que reorganizem o desenho urbano para fornecer um equilíbrio térmico no recinto urbano, com vistas a proporcionar bem estar aos seus habitantes, e conseqüentemente qualidade vida.

Não há dúvidas diante das possibilidades e potencialidades da aplicação dessa metodologia no estudo do clima urbano. Deve-se ressaltar que esse modelo opera na escala de 100 m, deste modo, as modificações na escala microclimática não são apreendidas, e quando as deliberações são na escala da rua, do quarteirão, da habitação e do bairro, é imprescindível um julgamento mais aprofundado do microclima e das particularidades do terreno nesse mesmo grau de detalhe (FERREIRA, 2019).

Em meio a esta reflexão, entende-se que os dados devem ser interpretados utilizando outras fontes de informações, no intuito de alimentar um escopo de conhecimentos que traduza de maneira mais aproximada possível a realidade do ambiente urbano. Para isso, tanto para interseccionar as informações como para validar os dados do modelo gerado, recorreu-se a metodologia de transectos móveis almejando diagnosticar a variação de temperatura do ar em distintos campos térmicos representados nas 08 classes do mapeamento climático urbano.

Mapa 17 - Mapa Climático Urbano de Juazeiro do Norte



Fonte: Autora.

## **6 TRANSECTOS MÓVEIS**

### **6.1 Transecto móvel noturno episódio de inverno 2018**

Segundo dados da Funceme, a atmosfera no momento da execução do primeiro transecto móvel encontrava-se com áreas de instabilidade e com condições de tempo parcialmente nublado, não houve precipitação, e a umidade oscilou entre máxima de 95,4% e mínima de 49,7%, com ventos que chegaram até 4,6 m/s.

Na realização do transecto ocorrido dia 11 de junho de 2018, registrou-se baixa variação de temperatura, onde a maior temperatura registrada foi de 25,8°C e a menor de 22,6°C, resultando numa diferença térmica de apenas 3,2°C, traduzindo média magnitude se utilizarmos o índice proposto por Garcia (1996). Esses dados refletem as condições do primeiro semestre do ano e a proximidade ao início do inverno, onde as temperaturas na região do Cariri tendem a diminuir, pela repercussão de frentes frias que conseguem chegar à região.

O transecto iniciou-se pontualmente às 21:00 horas no horário de Brasília, partindo do bairro Salgadinho, área com características menos urbanizadas e baixa rugosidade, com a presença vegetal e de superfícies líquidas, dinamizando uma disposição de espaços abertos e proporcionando a circulação de ventos, variável esta que atua diretamente no arrefecimento ou atenuação da temperatura do ar da área descrita. A área possui ainda uma rede de drenagem inserida na Bacia do Salgado, representada pelo rio Salgadinho possuindo sua nascente na Chapada do Araripe. Esta área apresenta ainda vegetação arbórea e arbustiva que se encontram também distribuída às margens do referido rio e estes aspectos naturais inserem-se no chamado potencial dinâmico, que por sua vez provocam a atenuação da temperatura do ar a partir do resfriamento evaporativo.

Outro aspecto associado às baixas temperaturas nas imediações do bairro encontra-se em virtude de o registro ter ocorrido em um período que não coincidiu com as romarias (turismo religioso local) na cidade, época em que o número de pessoas aumenta consideravelmente, registrando aproximadamente mais de 400 mil pessoas.

Este número reflete no aumento da temperatura devido à geração de calor antropogênico causado pelo fluxo de pessoas, automóveis e mercadorias, que como assinala Lima Júnior (2018) demandam maiores consumos de eletricidade e gás e possuindo maior potencial de aquecimento antropogênico. Na ausência dessa variante, registrou temperaturas baixas, variando entre 22,6°C e 23,5°C, como podem ser visualizadas nas figuras 11 e 12.

Registraram-se também temperaturas que permaneceram na casa dos 24,1°C a 24, 9°, identificadas em pontos nos bairros Salgadinho, Timbaúbas e São José, áreas urbanizadas, muito embora exista a presença de elementos que atuam no arrefecimento, a exemplo do dossel vegetacional, superfícies líquidas e espaços abertos.

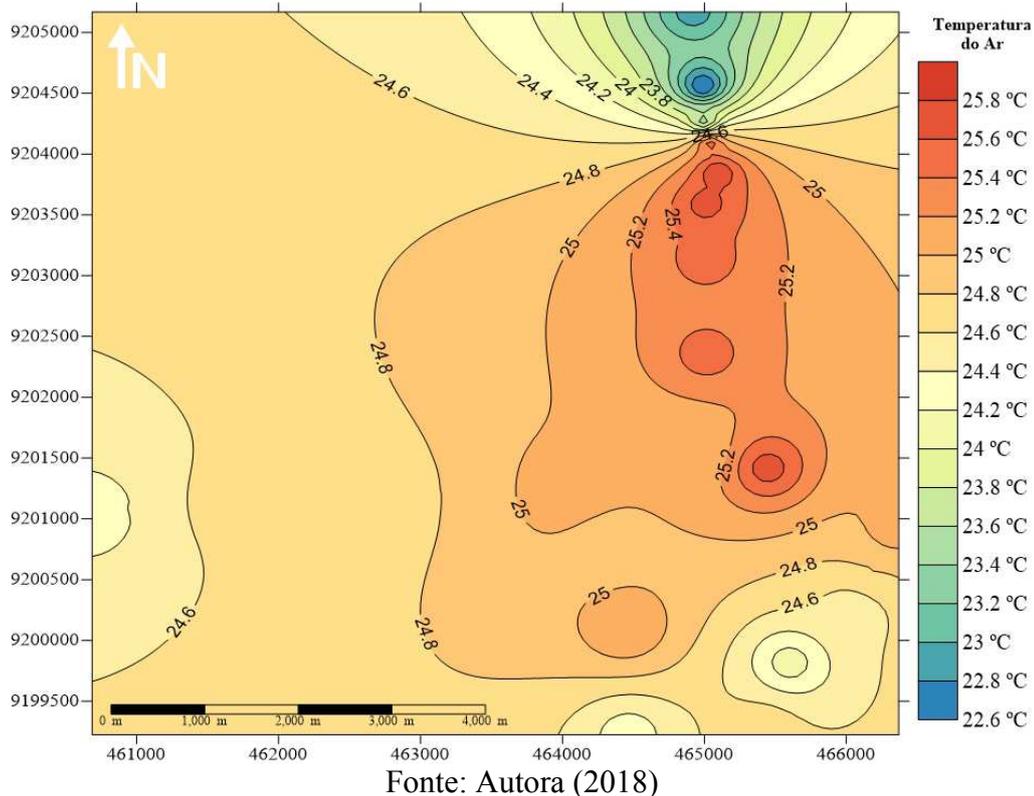
As temperaturas mais elevadas foram registradas em bairros densamente construídos, como o Centro, onde o tipo de material empregado nas construções possui alta capacidade de absorção e pouca reflectância, funcionando como armazéns de calor. Neste local foram registradas temperaturas que variaram entre 25°C e 25,8°C. Além dos elementos acima citados, a alta rugosidade representada pelos equipamentos urbanos, associados ao baixo índice da cobertura vegetal, o intenso fluxo de veículos, pessoas e mercadorias atuam como fatores que provocam um aumento considerável da temperatura do ar.

Ou seja, a resposta térmica da estrutura urbana nos mostra que os efeitos da urbanização são incubidos da distribuição da temperatura do ar provocando ilhas de calor nas imediações intensamente edificadas, aliada a agrupamento de materiais construtivos de grande potencial energético de emissividade e reflectância (AMORIM, 2009).

A interpolação dos dados do transecto do episódio de inverno e representado pela figura 16 mostram duas células separadas de núcleos mais quentes em Juazeiro do Norte. Estas duas células podem ser associadas, sobretudo, às características geourbanas, atribuídas aos materiais construtivos e à sua disposição na cidade. A primeira célula de carácter mais quente está localizada na região do bairro centro, área densamente construída para fins comerciais, e segue em direcção à porção sul. A segunda célula localizada na porção sul da cidade e compreendendo o bairro Pirajá, concentra características comerciais e residenciais, e embora apresente a temperatura do ar elevada, em comparação à primeira célula apresentou uma pequena queda de 0,2 °, além de dispor em termos de tamanho, uma área menor em relação à célula do centro e seu entorno.

Essas células exibem a atuação de ilhas de calor noturna detectada a partir dos 25 pontos coletados ao longo do transecto. Considerando a subtração do maior e menor valor registrado, essa ilha apresenta uma intensidade média como já foi pontuada, mas mesmo assim apresenta potencial de aquecimento. É interessante destacar, que a detecção dessa ilha valida as informações coletadas no mapeamento climático urbano, uma vez que, comprovam que os setores da classe 08 do MCU são áreas em potencial para o surgimento e atuação das ilhas de calor. O mesmo ocorre com a classe 01 do MCU que dá destaque para as áreas sujeito a formação de células de frescor, identificadas nas isotermas que se situam nas proximidades da ponte do rio Salgadinho.

Figura 16 - Interpolação dos dados de temperatura transecto 01



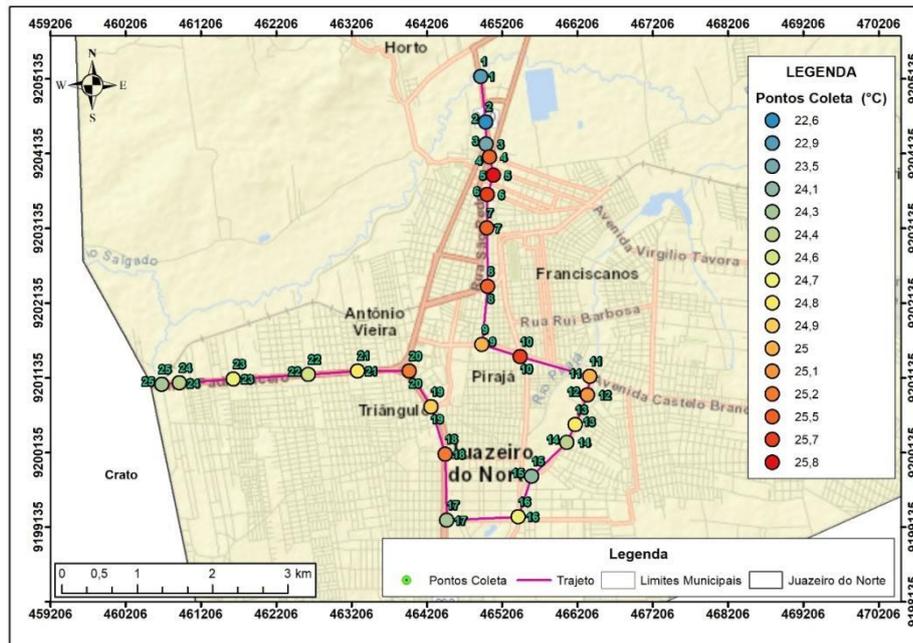
A espacialização dos registros desse transecto móvel noturno (Mapa 18) nos permite verificar a influência da densidade construtiva nas elevadas temperaturas observadas nas células de calor identificadas no mapa, assim como é factível perceber a influência da vegetação correlacionada com as drenagens, responsáveis por promover a formação ilhas de frescor e necessariamente temperaturas mais baixas.

Outro agravante é que nas áreas centrais da cidade a legislação urbanística admite maior adensamento urbano e maior verticalização, elevando assim o risco do comprometimento das condições climáticas e de conforto térmico, visto que um maior adensamento construtivo poderia incorrer no acréscimo da carga térmica e na menor possibilidade de resfriamento noturno (FERREIRA, 2017).

Muito embora, à medida que a densidade desta variável reduz, e surge à presença de elementos que se inserem no potencial dinâmico, havendo uma ruptura de distribuição das temperaturas mais elevadas.

Ou seja, o decréscimo na massa volumar da construção produz uma consequência pronunciada no que se refere ao rompimento de continuidade da distribuição das temperaturas mais elevadas (AMORIM, 2018).

Mapa 18 - Trajeto do transecto móvel episódio inverno de 2018



Fonte: Autoras (2018)

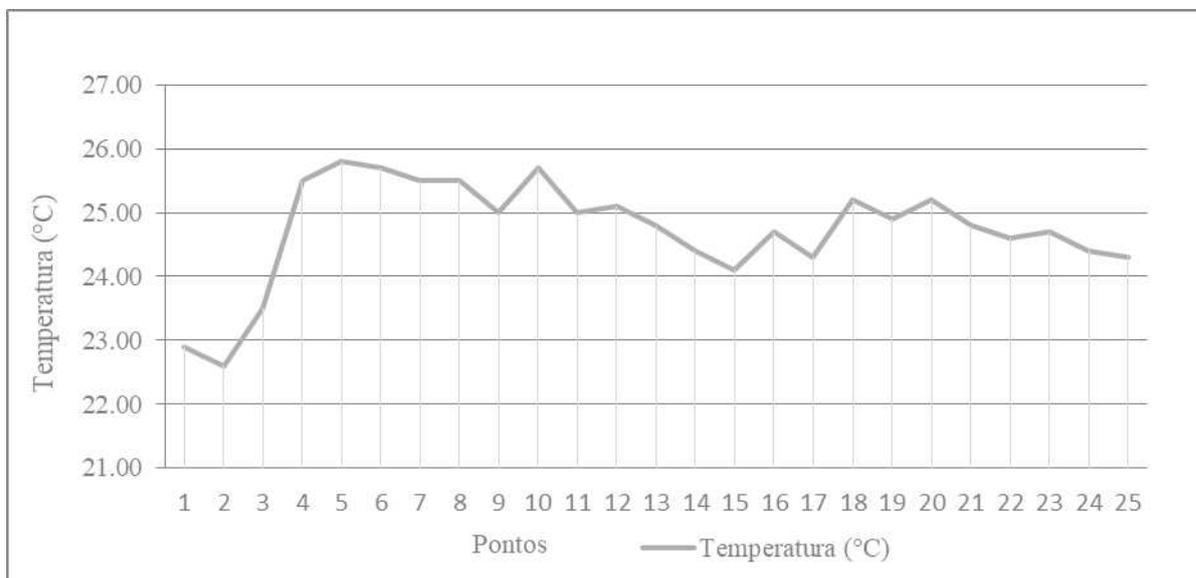
Está claro que durante o percurso as temperaturas variaram, sobretudo, de acordo com as características geourbanas e geoeambientais da área. Os intervalos de 22°C a 23°C foram registrados nas localidades próximas ao rio salgadinho, e em áreas onde há incidência de cobertura vegetal arbórea, se comparada com outros locais da cidade, e onde a geometria urbana favorece a circulação de ventos.

Os intervalos térmicos, 24°C à 25°C, foram percebidos ao adentrarmos à cidade, em áreas intensamente urbanizadas, como em ruas do bairro centro e locais adjacentes, onde observa-se coberturas e pavimentos impermeáveis e de estanque, absorvendo facilmente a radiação eletromagnética, facilitando seu armazenamento e consequentemente atuando na gênese das células de calor descritas anteriormente.

O contraste térmico (Gráfico 10) identificado a partir da metodologia de transecto móvel em Juazeiro do Norte apresentou resultados semelhantes aos obtidos na literatura nacional e internacional, onde as maiores temperaturas foram registradas em ambientes densamente construídos. Essas oscilações podem melhor ser compreendidas quando analisamos essa variação de temperatura ao longo do trajeto. Primeiramente temos as temperaturas mais baixas (pontos 1 a 3) oportunizadas pelo resfriamento e circulação do ar, e a medida que adentrarmos a malha urbana mais consolidada, a rugosidade e escassez de vegetação dinamizam temperaturas mais altas (ponto 4) atingindo seu pico na área central da cidade, representados

pelos pontos 5 e 6. Ao final do transecto, nos deparamos com a presença de espaços abertos, vegetação e poucos equipamentos urbanos, favorecendo novamente a circulação do ar.

Gráfico 10 – Perfil do contraste térmico no transecto do episódio de inverno



Fontes: Autora (2018)

Na cidade investigada, isso é perceptível, pois além de fatores naturais, como o clima da região condicionado pela intensa insolação na área, nota-se que o fenômeno registrado encontra-se intrinsecamente ligado às ações antrópicas e as condições da cidade que facilitam o surgimento de núcleos de calor, muito embora, no presente experimento, em virtude das condições atmosféricas dinamizadas para o período (inverno), não se identificou muita variação da temperatura do ar, condicionadas, sobretudo por baixa magnitude e intensidade.

Parte desta estrutura que dinamizaram o comportamento térmico mensurado podem ser visualizadas no quadro 05, que descreve 08 pontos dos 25 coletados durante todo o trajeto do transecto móvel noturno no episódio de inverno, bem como suas características geourbanas. Na descrição das características, podemos perceber que as temperaturas mais baixas (22 °C a 24 °C) estiveram associadas com as classes 1, 2 e 3 do mapeamento climático urbano, determinada por áreas com vegetação, massas de água, espaços abertos e poucas edificações, construindo um panorama favorável para criação de células de frescor. Em contraponto, os maiores intervalos (até 25 °C) relacionam-se com as classes 7 e 8 do UCM, áreas propícias as ilhas de calor.

Quadro 07 - Descrição das características de pontos do transecto 01

Pontos T1 *	Imagem RGB	Características	°C
1- Ponte sobre o rio Salgadinho		Local com médio fluxo de veículos, via de acesso pavimentada, baixa rugosidade em relação aos equipamentos urbanos, espaços abertos, com a presença de vegetação e drenagem.	22 °C
5- Mercado Central		Local com intenso fluxo de veículos, vias de acesso com pavimento asfáltico, alto índice de rugosidade, materiais de construção impermeáveis e de estanque e ausência completa de vegetação.	25 °C
10- Estádio Romeirão		Local com intenso fluxo de pessoas e veículos, alta rugosidade, pouca vegetação e presença de coberturas metálicas.	24°C
15- Parque das Timbaúbas		Avenida com fluxo contínuo de veículos, equipamentos urbanos de um pavimento, via de acesso com cobertura asfáltica e a presença de um parque ecológico, com concentração de vegetação e drenagens.	24°C
20- Rotatória do bairro Triângulo		Avenidas com fluxo intenso e contínuo, vias de acesso duplicadas e impermeabilizadas, presença de pouca vegetação, alto índice de rugosidade em virtude da verticalização, equipamentos urbanos com cobertura metálica, <u>amianto e cerâmica.</u>	25°C
22- Maxxi Atacado		CE-060 com intenso fluxo de veículos leves e vias de acesso com pavimento asfáltico e concreto, presença de equipamentos urbanos com coberturas de concreto, amianto e zinco, alta concentração de edificações e pouca <u>vegetação.</u>	24.6°C
23- Assaí atacadista		CE-060 com intenso fluxo de veículos leves e vias de acesso com pavimento asfáltico, e presença de equipamentos urbanos com coberturas de concreto, amianto e zinco, alta concentração de edificações e pouca	24.7°C
25- Viaduto Juazeiro Crato		CE-060 com fluxo de veículos leves e pesados, vias de acesso com pavimentos asfáltico, presença moderada de equipamentos urbanos, espaços abertos e vegetação.	24.3°C

Fontes: Autoras (2018).

## 6.2 Transecto móvel noturno episódio de primavera 2018

No momento da execução do segundo transecto móvel noturno (Figura 12), as condições atmosféricas encontravam-se com a presença de nuvens próximo à costa norte do Nordeste, devido a atuação de áreas de instabilidade e repercussão de uma convergência de umidade havendo precipitação.

Assim como no transecto anterior, as medições iniciaram-se às 21:00 horas com duração de exatos 50 minutos, coletando dados de 32 pontos, no sentido leste-oeste, tendo início no Aeroporto Regional da cidade registrando no primeiro ponto 30 °C e finalizando no viaduto do Anel Viário registrando 28,7°. Obviamente, a sazonalidade foi a principal responsável pelo registro de temperaturas mais elevadas em relação ao transecto anterior, entretanto, o padrão de variação de temperatura do ar ao longo do transecto obedeceu às mesmas particularidades de ganho de calor e resfriamento.

A maior temperatura registrada foi de 31.4 °C e a menor foi de 28.6 °C. Essa diferença de 2.8 °C representa uma média magnitude obedecendo ao índice proposto por Garcia (1996), aproximadamente a mesma intensidade e magnitude do primeiro transecto.

Esse segundo transecto teve seu início na avenida Virgílio Távora, principal via de acesso ao aeroporto da cidade, registrando 30,4 °C. Durante a coleta, percebeu-se que mesmo as variáveis responsáveis pelo potencial dinâmico estejam enclausuradas por equipamentos urbanos, estas ainda detêm capacidade de resfriamento. Observou-se isso ao passo que o transecto alcança exatamente o setor da drenagem sem topônimo que corta o bairro aeroporto, onde a temperatura registrou uma queda de 1,1 °C, alcançando os 29,3 °C.

Comumente, ao passo que o transecto adentra as porções mais urbanizadas da cidade, observa-se a elevação dos intervalos de classes da temperatura do ar, alcançando novamente os 30° C, em setores que compreende o bairro Timbaúbas, área esta, com atributos de caráter, sobretudo residencial, onde o padrão de disposição do volume edificado está organizado de maneira compacta.

Está claro na bibliografia e nos resultados obtidos até aqui que a variação de temperatura e a produção das ilhas de calor se manifestam pelas transformações nas propriedades da superfície e pelas atividades desenvolvidas pela sociedade urbanizada, efeito do modo de produção e apropriação do tecido territorial urbano, por parte dos agentes produtores do espaço geográfico (AMORIM, 2019).

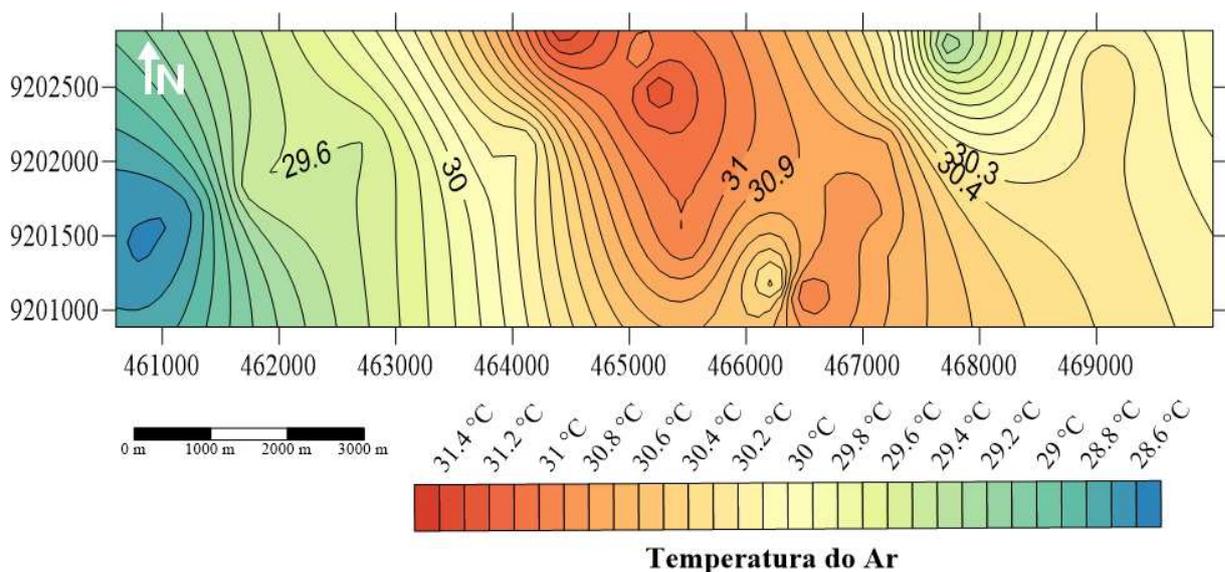
Então, como no transecto de inverno, os valores mais elevados estiveram estacionados no setor que engloba os bairros centrais do perímetro urbano, tais como o próprio Centro, Pirajá,

Franciscano e Salesiano, permeando entre 31,1 °C a 31,5°C. Os bairros mencionados anteriormente, apesar de dispor de características de adensamento compacto com a finalidade majoritariamente residencial, sua proximidade com o bairro Centro, oportuniza elevado índice de ocupações para fins comerciais de um a três pavimentos, que associado com alta taxa de impermeabilização, baixa rugosidade e ausência de elementos naturais oportuniza aquecimento.

Os últimos pontos coletados do transecto foram realizados na CE-060, via de acesso que contorna a cidade de Juazeiro do Norte e recentemente construída. Estes pontos de coletas estão inseridos nos menores intervalos de temperatura do ar, permeando de 28,7 °C a 30 °C. Este resultado está associado à disposição desta via de acesso que segue quase que paralelamente a grande parte da drenagem do rio Salgadinho e a vegetação do seu entorno, além de não apresentarem construções em quantidade significativas capazes de interceptar a circulação e renovação do ar.

A interpolação dos dados do transecto do episódio de primavera, representado pela figura 17 que mostra três células separadas com as temperaturas mais elevadas da coleta em Juazeiro do Norte. Estes núcleos de calor estão associados, assim como no transecto noturno de inverno, intrinsecamente vinculadas às estruturas urbanas consolidadas dispostas concentradamente em setores que compreendem a área central da cidade. As isoterma associadas aos menores intervalos de classe estão vinculadas a setores onde a urbanização não está completamente consolidada, somado a presença vegetal ou de drenagens, em sua maioria não canalizada.

Figura 17 - Interpolação dos dados de temperatura transecto 02

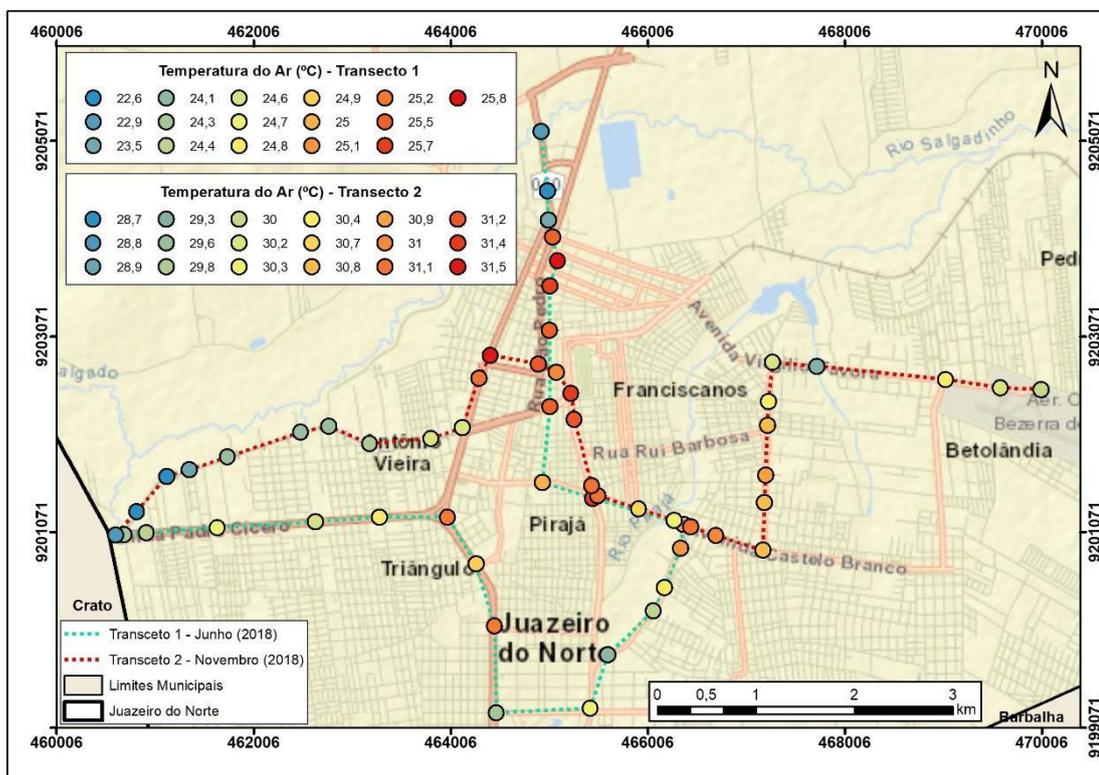


Fonte: Autora

Em relação ao mapa 19, podemos observar o trajeto dos transectos e as temperaturas mensuradas sendo demonstrados de forma comparativa. Nesses parâmetros, percebe-se que as temperaturas mensuradas no transecto 01 foram mais baixas, obtendo de 22,6 °C a 25,8°C e as temperaturas do transecto 02 permearam entre 28,7 °C a 31,5 °C (mais elevadas). Este resultado está diretamente associado à influência da sazonalidade e das condições atmosféricas distintas para cada período analisado.

Outro destaque importante e que deve ser lembrado, é que independente do período investigado, nos dois episódios as temperaturas elevaram-se na medida em que o trajeto segue em direção às áreas centrais e mais densamente urbanizadas da cidade de Juazeiro do Norte, a exceção de alguns pontos representada pela presença de corpos d'água e vegetação, a exemplo do ponto 04 do transecto 02. Ao passo que os transectos atingiram as áreas nas extremidades do perímetro urbanizado, esses valores dinamizam uma queda novamente, mesmo que esta diminuição não apresente valores tão expressivos.

Mapa 19 - Trajeto do transecto móvel episódio primavera

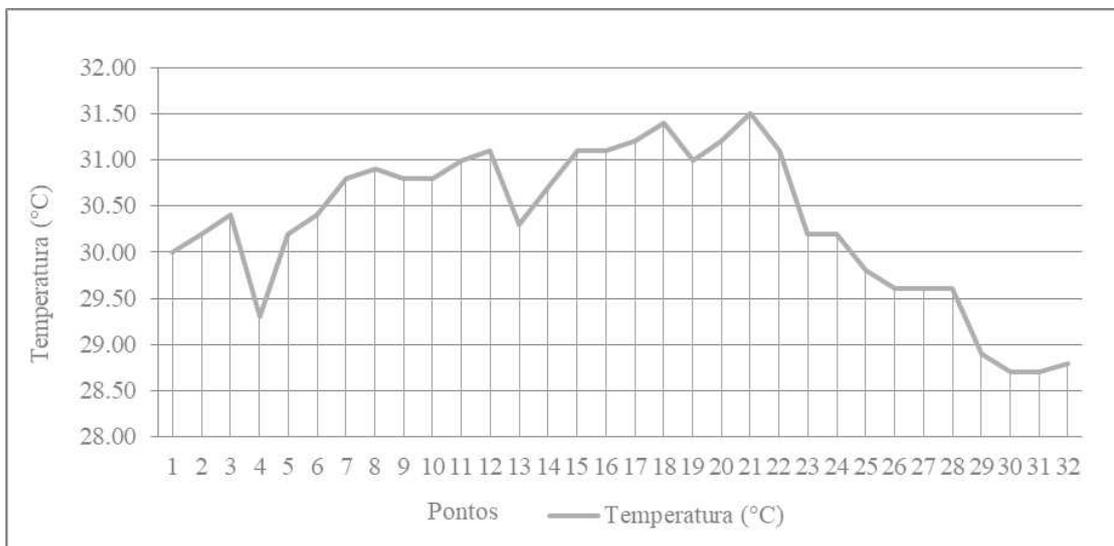


Fonte: A autora

O perfil do contraste térmico do episódio de inverno (Gráfico 11) permite identificar picos de temperaturas elevadas associados à alta densidade urbanizada, quedas associadas às influências geoambientais da cidade e uma diminuição gradativa das temperaturas entre os

pontos 22 ao 32. Este perfil demonstra que a estrutura térmica da cidade de Juazeiro do Norte é dinamizada de acordo com a morfologia urbana, visualizada no quadro 06.

Gráfico 11 - Perfil do contraste térmico no transecto do episódio de primavera



Fontes: Autoras (2018)

O quadro de descrição dos pontos do transecto 02 fornece através de imagens de satélite as características do espaço urbano que endossaram a oscilação de temperatura do ar mensurada no itinerário. Podemos perceber que a maior temperatura registrada foi de 30 °C, exatamente no primeiro ponto coletado, que está localizado nas proximidades do aeroporto. A morfologia urbana dessa área segundo os resultados do mapeamento climático urbano apontam que na teoria, essas zonas por possuírem edificações em espaços abertos, apresentam baixa carga térmica. Entretanto, a presença do aeroporto representa uma área de elevado ganho energético e geração de calor antropogênico, produto da alta demanda de consumo energético, e do intenso fluxo de pessoas e cargas.

Outro ponto relevante é o Mercado Senhora Santana, que configurou-se como ponto de carga térmica alta registrando 25 °C. Esta área no mapeamento climático urbano está dentre as zonas mais propícias ao aquecimento pela presença de edificações de 1 a 3 pavimentos, pouca vegetação, vias impermeabilizadas e alta rugosidade, naturalmente elevando a temperatura. Por último dentre os pontos que registraram os valores mais baixos (22 °C) estão localizados na CE-060 com intenso fluxo de veículos leves e pesados, vias de acesso com cobertura asfáltica, pouca presença de equipamentos urbanos, espaços abertos, vegetação e solos desnudos.

Quadro 08 - Descrição das características de pontos do transecto 02

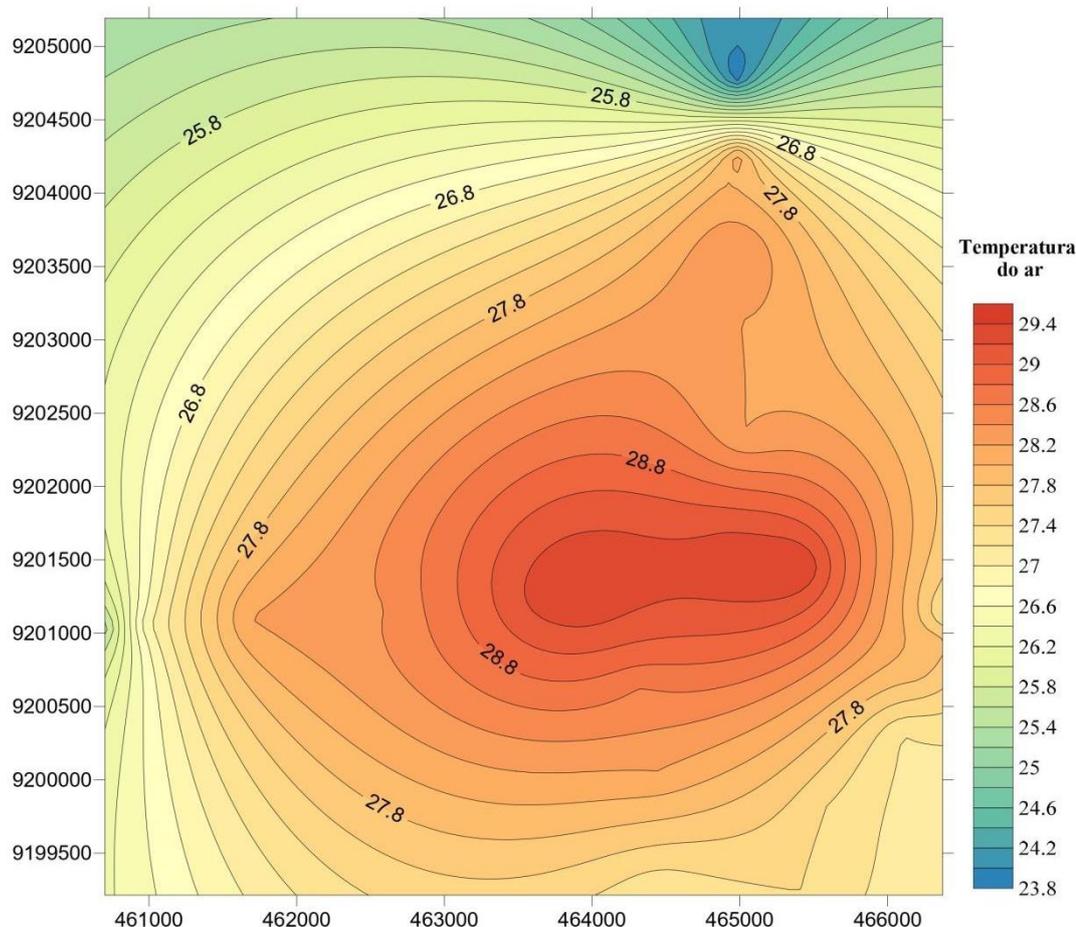
Pontos T1*	Imagem RGB	Características	°C
1- Aeroporto		Local com moderado fluxo de veículos, via de acesso impermeabilizada, baixa rugosidade em relação aos equipamentos urbanos, espaços abertos, com a presença de vegetação.	30 °C
4- Drenagem Av. Virgílio Távora		Área com a presença de drenagem e respectivamente vegetação fluxo moderado de veículos, vias de acesso com pavimento asfáltico, baixo índice de rugosidade, poucas equipamentos impermeáveis e de estanque.	29,5 °C
10- Cruzamento das Av. Humberto Monte e Castelo Branco		Local com intenso fluxo de pessoas e veículos, moderada rugosidade, com a presença de vegetação e presença de coberturas de concreto e cerâmica.	24°C
15- Parque das Timbaúbas		Avenida com fluxo contínuo de veículos, equipamentos urbanos de um pavimento, via de acesso com cobertura asfáltica e a presença de um parque ecológico, com concentração de vegetação e drenagens.	24°C
20- Mercado Senhora Santana		Avenidas com fluxo intenso e contínuo, vias de acesso duplicadas e impermeabilizadas, presença de vegetação, alto índice de rugosidade em virtude da verticalização, equipamentos urbanos com cobertura metálica e convencional.	25°C
23- Teatro Marquise e Branca		Área com intenso fluxo de veículos leves e pesados, vias de acesso com cobertura asfáltica e em concreto, presença de equipamentos urbanos.	22°C
28- Estação escola		Cruzamento de avenidas com intenso fluxo de veículos leves e pesados, vias de acesso com cobertura asfáltica, presença de equipamentos urbanos, espaços abertos e vegetação.	22°C
32- Viaduto Juazeiro Crato		CE-060 com intenso fluxo de veículos leves e pesados, vias de acesso com cobertura asfáltica, pouca presença de equipamentos urbanos, espaços abertos, vegetação e solos desnudos.	22°C

Fonte: Autora

### 6.3 Transecto móvel noturno episódio de inverno 2020

O transecto 03 (Figura 18) ocorreu no dia 22 de setembro de 2020 e contemplou a mesma rota do trajeto 01. Assim como o primeiro, coletou o total de 25 pontos, com temperaturas que oscilaram entre 23.8 °C a 29.4 °C. As principais diferenças entre os dados coletados foram em primeiro lugar nesse episódio detectou-se uma ilha de calor noturna, com o desenho padrão clássico, no qual se assemelha a uma grande célula de calor, que como pontua Santa'anna Neto (2008) em sua maioria estão situadas nas áreas de urbanização consolidada. Em segundo lugar está o registro da magnitude, onde a intensidade atingiu 5.6 °C, sendo classificada por Garcia (1996) como forte. Naturalmente, os valores mais elevados coincidiram com a área central densamente edificada como os bairros Santa Tereza, Centro e Romeirão, formada por um núcleo de calor, que tende a ir diminuir os valores das isotermais ao passo que o itinerário atinge pontos suburbanos e de caráter mais rural do perímetro.

Figura 18 - Interpolação dos dados de temperatura transecto 03



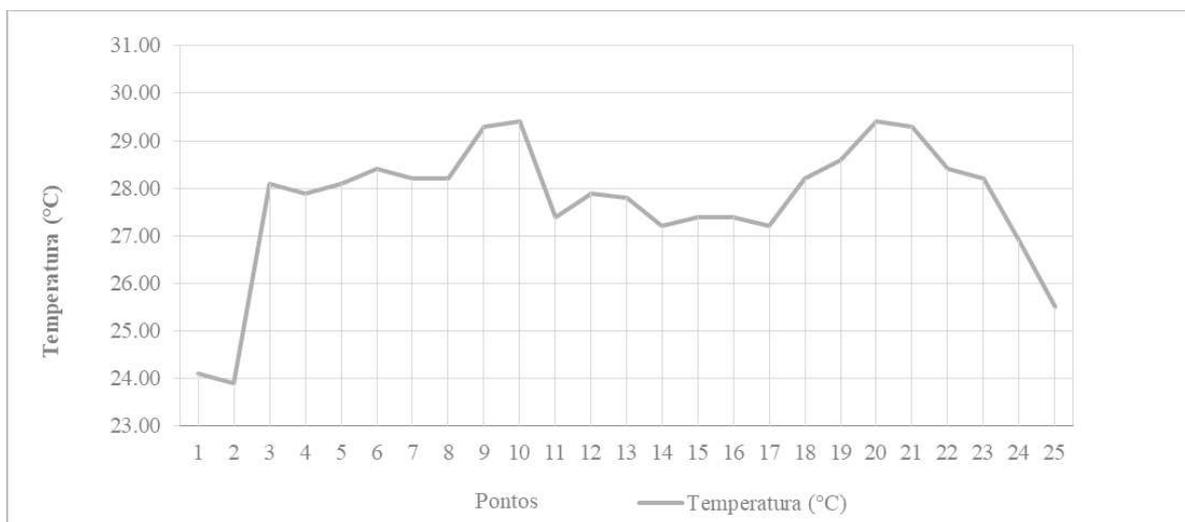
Fonte: Autora.

Esse padrão geralmente é o mais comum relatado na bibliografia, em razão do trajeto dos transectos móveis sempre atravessarem a cobertura das diferentes formas de uso e ocupação da superfície urbana, partindo do rural, interseccionando à cidade e finalizando no rural novamente (PORANGABA, 2017). Essa metodologia permite mensurar mais pontos e consequentemente a influência dos aspectos urbanos na variação de temperatura do ar.

A maior temperatura registrada (29.4 °C) no transecto foi no ponto 10, coletado no Estádio Romeirão. Este setor como pode ser observado na imagem de satélite do quadro de descrição de características apresenta um padrão de ocupação que oportuniza a geração de altas temperaturas, causadas pela alta taxa de impermeabilidade tanto do solo como dos ventos, associados a materiais de estanque, sendo uma das zonas identificadas no mapa climático urbano como as mais susceptíveis a geração de calor. No perfil longitudinal, representado pelo gráfico com os dados de temperatura do ar ou da intensidade da ilha de calor, é notório esse ponto se sobressair como o maior pico inserido dentro das feições urbanas de cada ponto de coleta.

Os valores registrados ao longo do trajeto permaneceram elevados à medida que os dados coletados eram de áreas classificadas como de alto padrão construtivo, reduzida vegetação e espaços abertos, como o ponto 5 (Mercado Central – 28.4 °C), ponto 20 (Rotatória do Triângulo – 29.4 °C) e ponto 23 (Supermercado Assaí – 28.1 °C)

Gráfico 12 - Perfil do contraste térmico no episódio de inverno 2020



Fonte: Autora.

Notoriamente, os menores valores de temperaturas registrados estiveram associados aos pontos 1 (rio Salgadinho – 24.1 °C) coletado no início do trajeto, no ponto 25 (viaduto Juazeiro/Crato – 24.5 °C), coletado no final do trajeto e no ponto 15 (Parque das Timbaúbas – 27.4 °C), coletado durante o trajeto.

Quadro 09 - Descrição das características de pontos do transecto 03

Pontos T1*	Imagem RGB	Características	°C
1- Ponte sobre o rio Salgadinho		Local com médio fluxo de veículos, via de acesso pavimentada, baixa rugosidade em relação aos equipamentos urbanos, espaços abertos, com a presença de vegetação e drenagem.	24.1 °C
5- Mercado Central		Local com intenso fluxo de veículos, vias de acesso com pavimento asfáltico, alto índice de rugosidade, materiais de construção impermeáveis e de estanque e ausência completa de vegetação.	28.4 °C
10- Estádio Romeirão		Local com intenso fluxo de pessoas e veículos, alta rugosidade, pouca vegetação e presença de coberturas metálicas.	29.4 °C
15- Parque das Timbaúbas		Avenida com fluxo contínuo de veículos, equipamentos urbanos de um pavimento, via de acesso com cobertura asfáltica e a presença de um parque ecológico, com concentração de vegetação e drenagens.	27.4 °C
20- Rotatória do bairro Triângulo		Avenidas com fluxo intenso e contínuo, vias de acesso duplicadas e impermeabilizadas, presença de pouca vegetação, alto índice de rugosidade em virtude da verticalização, equipamentos urbanos com cobertura metálica, amianto e cerâmica.	29.4 °C
22- Maxxi Atacado		CE-060 com intenso fluxo de veículos leves e vias de acesso com pavimento asfáltico e concreto, presença de equipamentos urbanos com coberturas de concreto, amianto e zinco, alta concentração de edificações e pouca	28.4 °C
23- Assai atacadista		CE-060 com intenso fluxo de veículos leves e vias de acesso com pavimento asfáltico, e presença de equipamentos urbanos com coberturas de concreto, amianto e zinco, alta concentração de edificações e pouca vegetação.	28.2 °C
25- Viaduto Juazeiro Crato		CE-060 com fluxo de veículos leves e pesados, vias de acesso com pavimentos asfáltico, presença moderada de equipamentos urbanos, espaços abertos e vegetação.	25.5 °C

Fonte: Autora

Todos estes pontos apresentaram aspectos que dinamizaram um potencial dinâmico alto comprovado no mapa climático urbano da cidade. Essas zonas possuem esse efeito em virtude da presença de vegetação, águas e espaços abertos, associado à presença diminuta de volume edificado.

O padrão identificado nos transecto confirma que a temperatura do ar é entendida como uma variável dependente, enquanto que, as classes de uso da terra são consideradas variáveis independentes, ou seja, nesta relação entende-se que a temperatura do ar varia em função da feição do uso da terra em questão (PORANGABA, 2017).

#### **6.4 Transecto móvel noturno episódio de verão 2020**

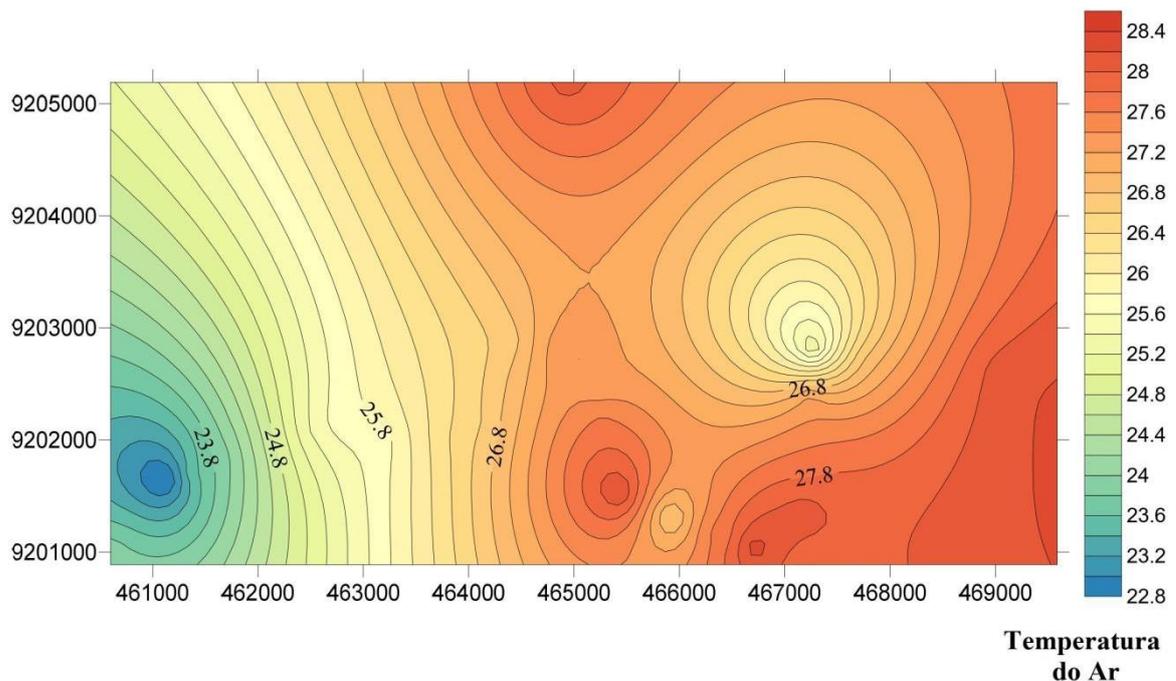
Na realização do transecto 04 realizado dia 29 de dezembro de 2020, registrou-se intervalos que variaram entre 22.8 °C e 28.4°C, resultando numa diferença térmica de 5.6 °C, traduzindo forte magnitude se utilizarmos o índice proposto por Garcia (1996). Embora esses dados foram coletados no segundo semestre do ano, a data possível para a realização por conta das medida de restrição para conter a disseminação da Covid-19, observou-se temperaturas mais baixas para referida região em virtude das condições de umidade, e chuvas de pré-estação, oportunizadas para esse período do ano.

O ponto 1 (Aeroporto) assim como o transecto 02 registrou a maior temperatura (28.4 °C) coletado ao longo da mensuração dos demais pontos, e embora o padrão de ocupação esteja estruturado a ponto de preservar os espaços abertos, acredita-se que a geração de calor antropogênico desempenhado pela demanda energética e fluxo intenso de veículos automotivos, pessoas e mercadorias constantemente, uma vez que esse aeroporto atende toda região sul do estado do Ceará e estados vizinhos como, Paraíba e Pernambuco, possa oportunizar o ganho calorífico e conseqüentemente como demonstrado no UCM condicione um carga térmica alta.

Os valores mais baixos registrados foram o ponto 4 (Drenagem avenida Virgílio Távora – 26.7 °C), ponto 32 (viaduto Juazeiro/Crato - 23.9 °C) e o ponto 30 (CE 292 – 22.7 °C). Estas áreas dispõem dessas temperaturas porque estão organizadas com a presença de drenagem e respectivamente vegetação, baixo índice de rugosidade, poucas equipamentos impermeáveis e de estanque, e mesmo dispendo de um fluxo moderado de veículos, vias de acesso com pavimento asfáltico, oportunizando obviamente, o potencial dinâmico da área.

Esse padrão térmico está pautado em dois aspectos de efeito positivo que devem ser considerados, primeiro a presença de potencial de mitigação representada pelos espaços verdes e sobretudo abertos e segundo o potencial dinâmico representado pela ventilação de ar (BURGHARDT E KUPSKI, 2010).

Figura 19 - Interpolação dos dados de temperatura transecto 04



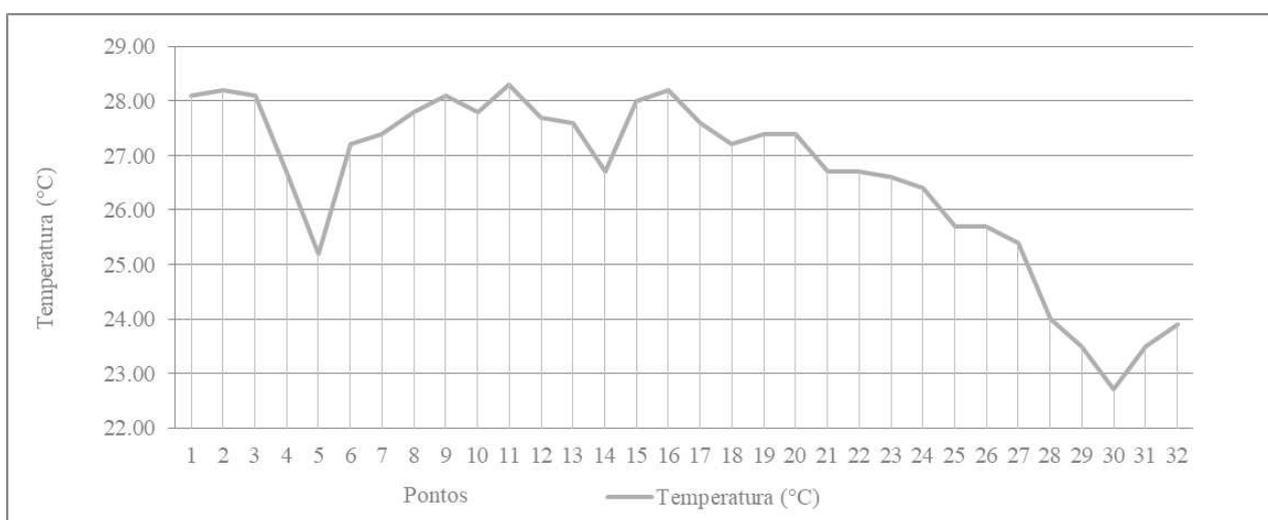
Fonte: Autora

A espacialização das classes de temperatura mensuradas no campo detectou que diferentemente ao transecto anterior onde temos uma ilha de calor com padrão clássico e muitas vezes retratado na literatura, neste percebemos vários núcleos de calor com elevadas temperatura e posicionada em distintas áreas da cidade. Neste transecto podem ser identificados três núcleos de calor distribuídos nos setores mais urbanizados da cidade, e naturalmente, as temperaturas mais baixas representadas pelas células de frescor estão situadas nas extremidades das isótermas, setores onde a influência dos aspectos rurais se sobrepõe fornecendo temperaturas mais aprazíveis.

Os dados dos 4 transectos realizados nos faz refletir a cerca de como o comportamento térmico varia de acordo com distintos estímulos, sejam de caráter sazonal, seja em virtude do estado momentâneo da atmosfera, seja pelas características urbanas do sítio, e traduzidas pelas diferentes metodologias utilizadas para apreender essa dinâmica demasiada complexa.

Ou seja, “o clima urbano é submetido a uma forte variabilidade espacial devido às rápidas mudanças no uso da terra que mudam localmente e rapidamente as características da ilha de calor urbana” (AMORIM, p. 31, 2015). Está claro que cada cidade, independente do porte possui especificidades climáticas que devem ser consideradas, e estas mudam sua intensidade de acordo com suas especificidades próprias, com distintas possibilidades de combinações (AMORIM, 2019).

Gráfico 13 - Perfil do contraste térmico no episódio de primavera 2020



Fonte: Autora.

O perfil longitudinal demonstrado pelo gráfico 13 representa uma típica ilha de calor urbana, partindo de uma periferia com características ruralizadas, que adentram a cidade passando pelas áreas mais urbanizadas e logo se deparam novamente com características mais suburbanas. Nesse perfil vertical percebemos que há uma quebra na continuidade da ascensão do calor, causado especificamente pelas presenças de pontos que atuam no arrefecimento da temperatura, observados no ponto 4 (drenagem próximo a avenida Virgílio Távora) e ponto 30 (CE-292).

Dentre as principais problemáticas associadas a elevadas temperaturas registradas nos 4 transectos realizados na cidade, o conforto térmico está entre os parâmetros que mais preocupa, uma vez que este interfere diretamente na vida e no dia a dia das pessoas, principalmente em áreas de clima semiárido, onde a exposição a estas condições naturalmente são intensas. Outro agravante é que essa exposição ao calor não ocorre de maneira igualitária a todas as classes

sociais da população, isto significa, que existe inevitavelmente uma vulnerabilidade maior em relação à adaptação frente a este calor.

Em termos gerais, diante dessa realidade “é possível problematizar a mercantilização do conforto térmico na lógica de produção do espaço urbano. Os grupos sociais com melhores condições socioeconômicas têm condições de garantir seu conforto térmico por meio de habitações planejadas, desde o tipo de material até os equipamentos como: piscinas, ar condicionado e climatizadores. Por outro lado, outra parcela da população tem severas limitações econômicas que lhes permitam às mesmas condições micro-climáticas de conforto térmico” (NETO E AMORIM, p. 1504, 2017).

Quadro 10 - Descrição das características de pontos do transecto 04

Pontos T1*	Imagem RGB	Características	°C
1- Aeroporto		Local com moderado fluxo de veículos, via de acesso impermeabilizada, baixa rugosidade em relação aos equipamentos urbanos, espaços abertos, com a presença de vegetação.	28.1 °C
4- Drenagem Av. Virgílio Távora		Área com a presença de drenagem e respectivamente vegetação fluxo moderado de veículos, vias de acesso com pavimento asfáltico, baixo índice de rugosidade, poucas equipamentos impermeáveis e de estanque.	26.7 °C
10- Cruzamento das Av. Humberto Monte e Castelo Branco		Local com intenso fluxo de pessoas e veículos, moderada rugosidade, com a presença de vegetação e presença de coberturas de concreto e cerâmica.	27.8 °C
15- Drenagem Timbaúbas		Avenida com fluxo contínuo de veículos, equipamentos urbanos de um pavimento, via de acesso com cobertura asfáltica e a presença de um parque ecológico, com concentração de vegetação e drenagens.	28 °C
20- Mercado Senhora Santana		Avenidas com fluxo intenso e contínuo, vias de acesso duplicadas e impermeabilizadas, presença de vegetação, alto índice de rugosidade em virtude da verticalização, equipamentos urbanos com cobertura metálica e convencional.	27.4 °C
23- Teatro Marquise e Branca		Área com intenso fluxo de veículos leves e pesados, vias de acesso com cobertura asfáltica e em concreto, presença de equipamentos urbanos.	26.6 °C
28- Estação escola		Cruzamento de avenidas com intenso fluxo de veículos leves e pesados, vias de acesso com cobertura asfáltica, presença de equipamentos urbanos, espaços abertos e vegetação.	24 °C
32- Viaduto Juazeiro Crato		CE-060 com intenso fluxo de veículos leves e pesados, vias de acesso com cobertura asfáltica, pouca presença de equipamentos urbanos, espaços abertos, vegetação e solos desnudos.	23.9 °C

Fonte: Autora.

E embora o papel dessa investigação não esteja incumbido a essa tarefa, enquanto pesquisador vale a reflexão, tendo em vista que o principal objetivo é que os dados sejam empregados para o desenvolvimento e aplicação de medidas que possam contribuir com melhores condições térmicas para todas as camadas da sociedade, proporcionando o equilíbrio térmico nas áreas mais problemáticas da cidade.

## 7 ÍNDICE DE COBERTURA DO SOLO

Com base nos transectos, selecionou-se seis pontos de controle para a caracterização do seu entorno em função das suas diferenciações quanto ao uso de cobertura do solo dentro do espaço interurbano, sobretudo aos principais tipos de superfícies e sua influência nos microclimas. Para isso determinou-se para cada unidade climática local um raio de 500 metros, em virtude, sobretudo, da ausência de imagens de alta resolução para a região. A classificação da imagem foi feita empregando a resolução da banda pancromática do satélite Landsat 8 que corresponde a 15 metros, essa resolução trouxe limitações uma vez que não permite um grau de detalhamento dos objetos que compõem a urbe.

Nesse sentido, o índice de cobertura do solo foi obtido a partir da setorização de 4 classes de coberturas de cada ponto experimental, sendo: i) arborizado/drenagem para representar áreas de vegetação tanto isolada como associadas a redes de drenagem; ii) cobertura cerâmica para representar o tipo mais comum de cobertura em áreas residenciais; iii) cobertura metálica/concreto para representar para representar cobertura e/ou calcamentos, mais associados a prédios, ginásios e estacionamentos; iv) solo exposto para representar possíveis áreas agrícolas/pecuárias e especulação imobiliária.

Essa metodologia objetiva analisar rigorosamente a importância desses tipos de superfícies no uso do solo urbano como um elemento de controle climático para o campo térmico, já que a primeira metodologia emprega uma escala mais generalizada para zonear os topoclimas, o transecto analisa a variação dessa temperatura ao longo de distintos arranjos urbanos e o índice de cobertura do solo nos fornece uma ideia detalhada dos pontos de controle do transecto.

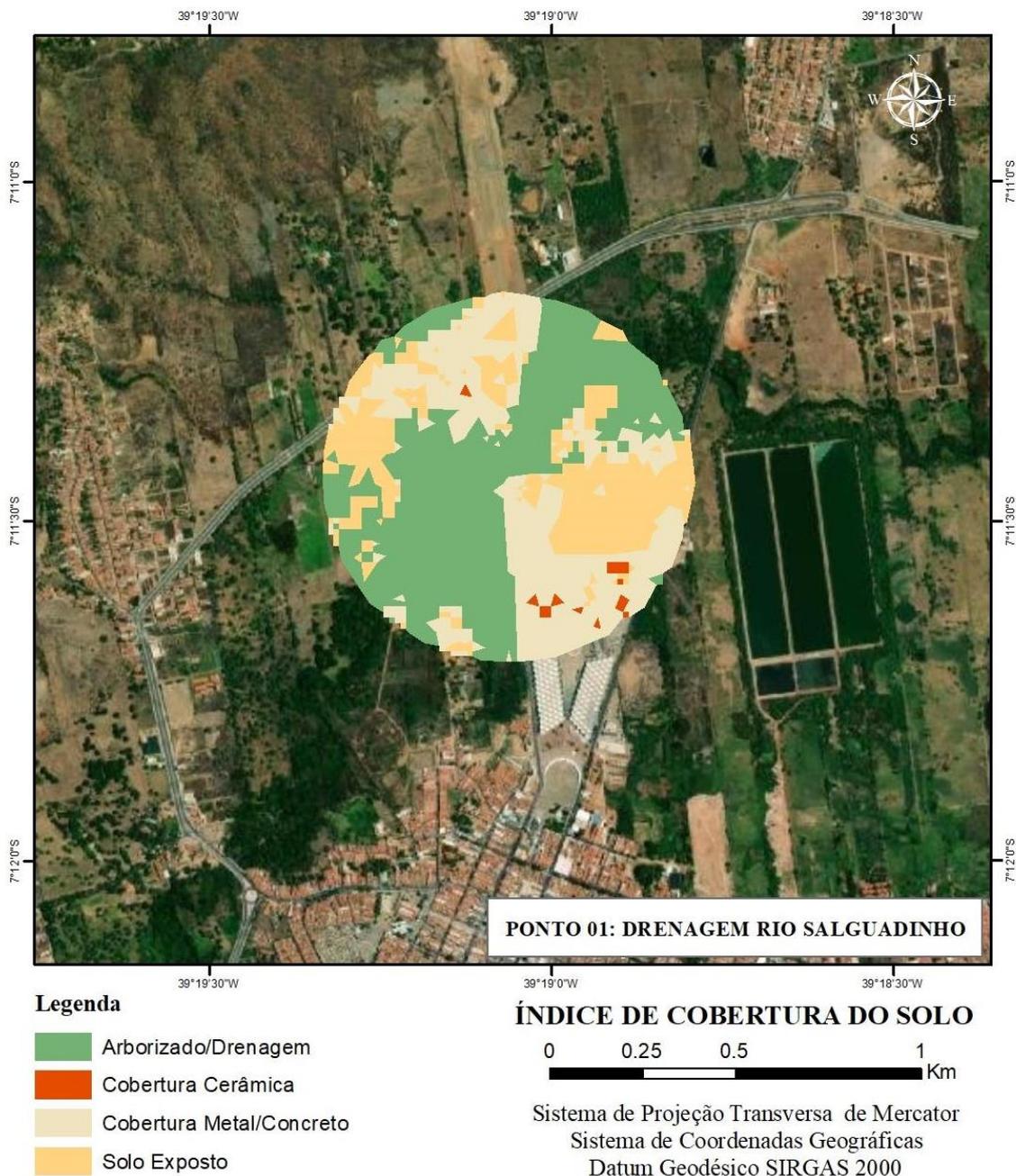
Usualmente essa metodologia é empregada a partir de uma rede de estações meteorológicas, onde além das condições da temperatura é coletado dados de precipitação, umidade relativa do ar, ponto de saturação, vento, pressão e radiação, isso permite o monitoramento das ilhas de calor urbanas em tempo real. No entanto, direcionando nosso olhar para realidade da área investigada, na ausência de uma rede de coleta de dados climáticos, optou-se por empregar os dados dos transectos móveis.

O índice de cobertura do solo do ponto 01 é o que apresentou as maiores taxas percentuais de cobertura vegetal, solo exposto com vegetação rasteira, associadas a superfícies líquidas. Esses fatores, em relação às demais classes de cobertura do solo, são determinantes para melhores condições de conforto térmico. Essa afirmativa pode ser confirmada quando

comparamos os valores coletados nos transectos móveis 01 (2018) e 03 (2020), onde no transecto 1 registrou-se 22.9 °C e o transecto 02 registrou 24.1 °C.

Dentro do contexto da deterioração da qualidade ambiental urbana, a arborização assegura pelo menos seis aspectos relativos à presença de áreas verdes consideradas como benefícios e contribuições no ambiente urbano, são eles a refrigeração do ar, aumento da umidade relativa do ar, suprimento de ar fresco, filtragem de ar, produção de oxigênio e absorção do ruído (BERNATZKY, 1982).

Mapa 20 – Índice de cobertura do solo do ponto 01

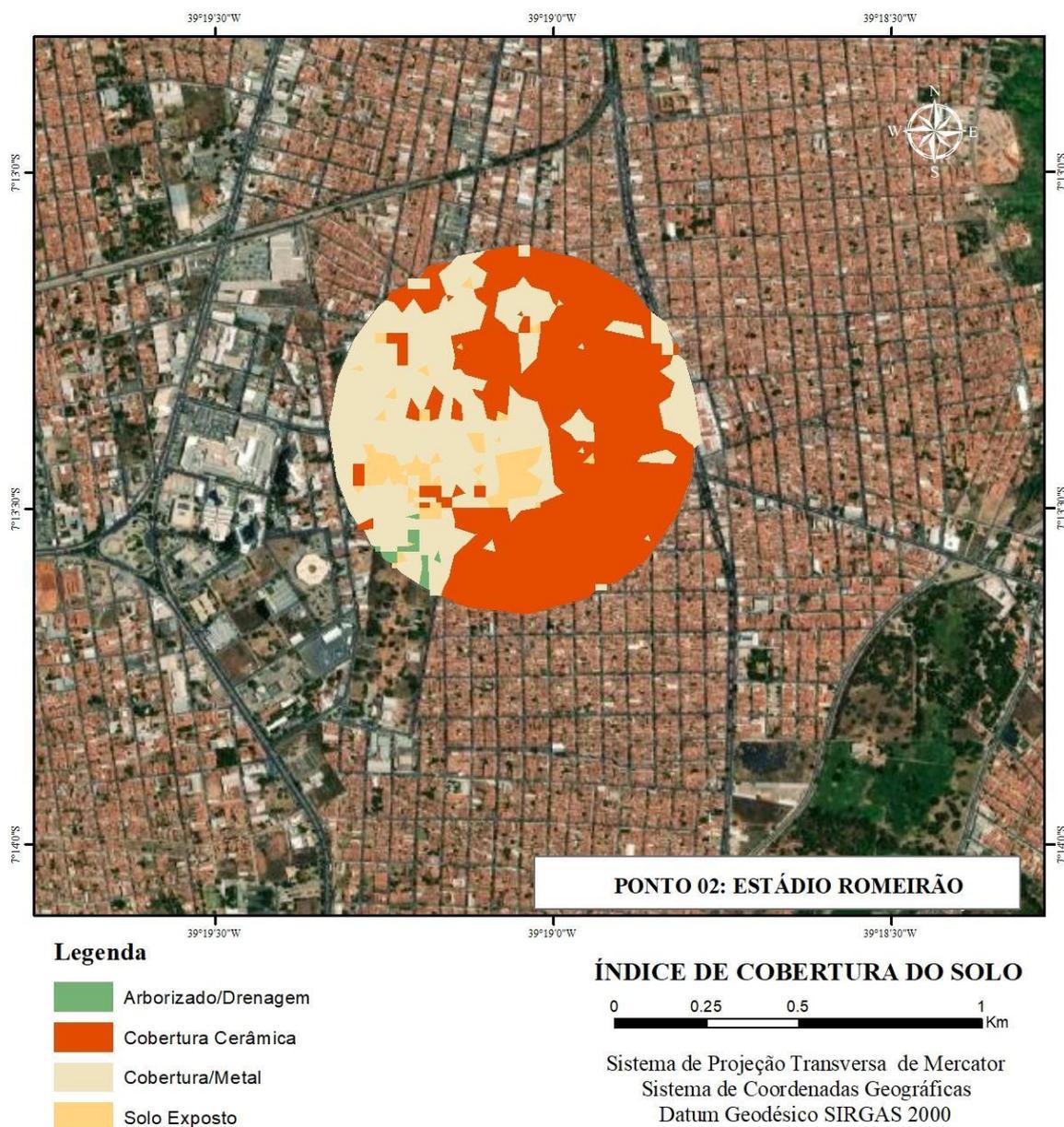


Fonte: Autora

Além dos efeitos gerados pelas variáveis ainda descritas, é interessante destacar que em esse ponto especificamente temos a atuação da declividade e altitude, por conta da proximidade com a colina do Horto. Nessas zonas a circulação de correntes de ar descendentes por efeitos aerodinâmicos e da gravidade, apresentando variações térmicas que geram energia potencial (SILVA, 2003).

Por outro lado, o ponto 02 apresenta materiais de cobertura do solo com propriedades térmicas desfavoráveis às condições de conforto térmico. Nesse ponto podemos observar percentuais elevados de cobertura cerâmica em suas áreas, bem como pavimentos de concreto ou de asfalto no seu entorno, além de possuir uma taxa reduzida das formas vegetais. Outro agravante é a redução substancial da circulação de ventos nessas áreas, fator associado a rugosidade do terreno urbano. Esse arranjo de materiais urbanos agrega positivamente no balanço energético, alimentando a formação da ilha de calor urbana e elevando o desconforto térmico.

Mapa 21 - Índice de cobertura do solo do ponto 02

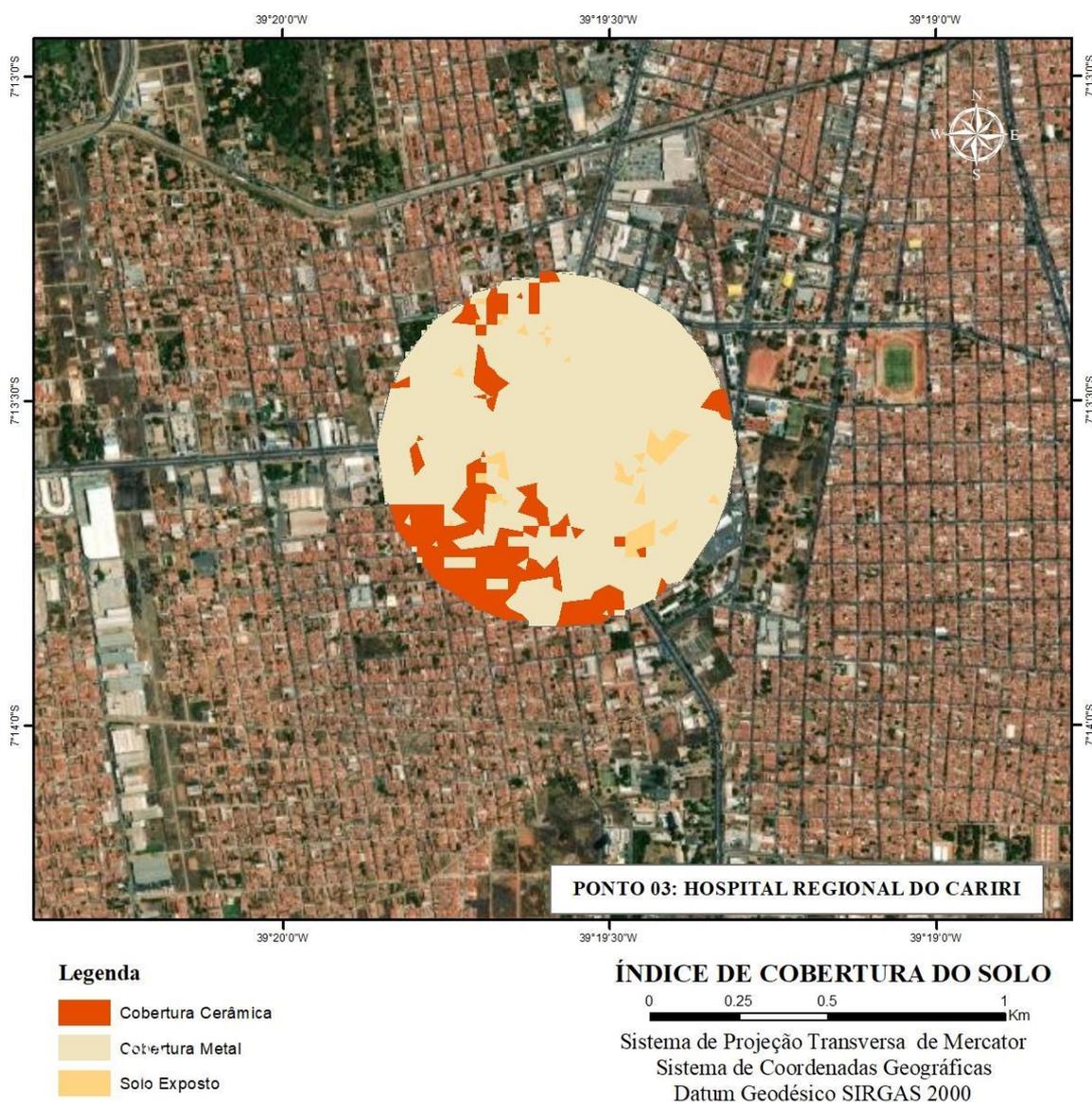


Fonte: Autora.

Nesse ponto de controle, nos transectos 01 e 03 foram registrados 25.7 °C (2018) e 29.4 °C (2020), traduzindo como esses materiais alimentam o aumento de temperatura nas áreas centrais da cidade. E pertinente ao segundo transecto, a ilha de calor identificada na interpolação esteve posicionada exatamente nessa zona, sustentando que a formação da ilha de calor urbano está intimamente relacionada com a composição dos materiais constituintes do recobrimento do solo.

O índice de cobertura do solo do ponto 03 é o que apresentou as maiores taxas percentuais de cobertura metálica, associadas com cobertura cerâmica, O arranjo visualizado no mapa 20 reforça que as áreas mais verticalizadas da cidade são as principais detentoras em empregar esse tipo de material nos equipamentos urbanos, além de juntamente com o ponto 5, identificarmos que a vegetação foi tão incipiente, que a classificação não conseguiu processar essas informações.

Mapa 22 - Índice de cobertura do solo do ponto 03

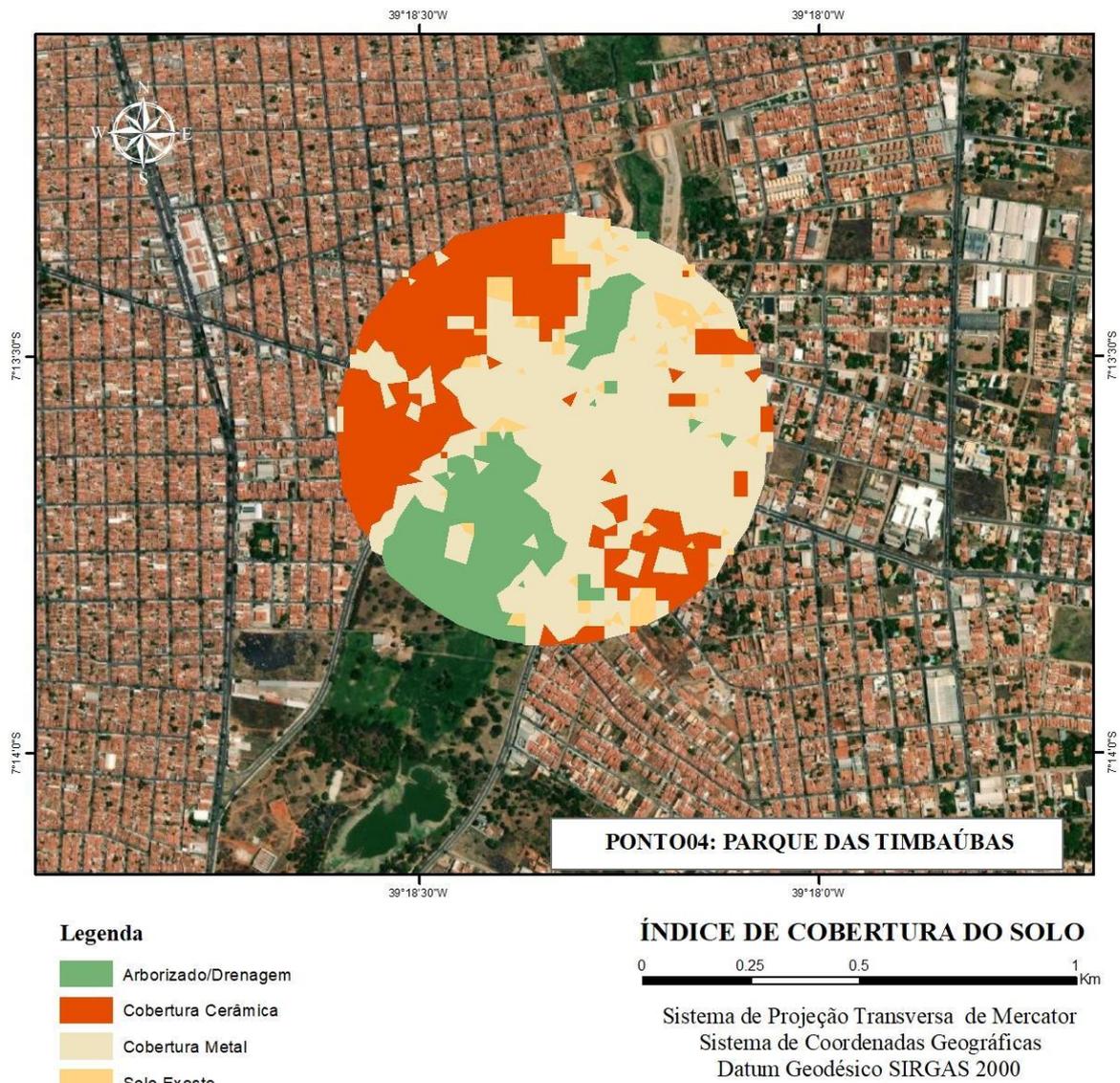


Fonte: Autora

A utilização desses materiais afetam diretamente as condições microclimáticas urbanas locais, e as principais causas do aquecimento é porque a propriedade desses materiais são impermeáveis e de estanque, não sendo efetivos na dispersão do calor (GARTLAND, 2010).

O ponto 4 é representado pelo ponto do transecto responsável pela descontinuidade do calor gerado em áreas de alta carga térmica, essa dinâmica se dá exclusivamente pela presença do Parque das Timbaúbas, mencionado inúmeras vezes nesta investigação. Nesse ponto há a presença de uma significativa área vegetada, associadas com a presença de um riacho inserido numa área aberta, permitindo a circulação e renovação do ar. Percebe-se que além do limite dos 500 metros, toda a área do entorno é densamente urbanizada com a finalidade residencial, oportunizando uma conjuntura compactada do solo urbano.

Mapa 23 - Índice de cobertura do solo do ponto 04



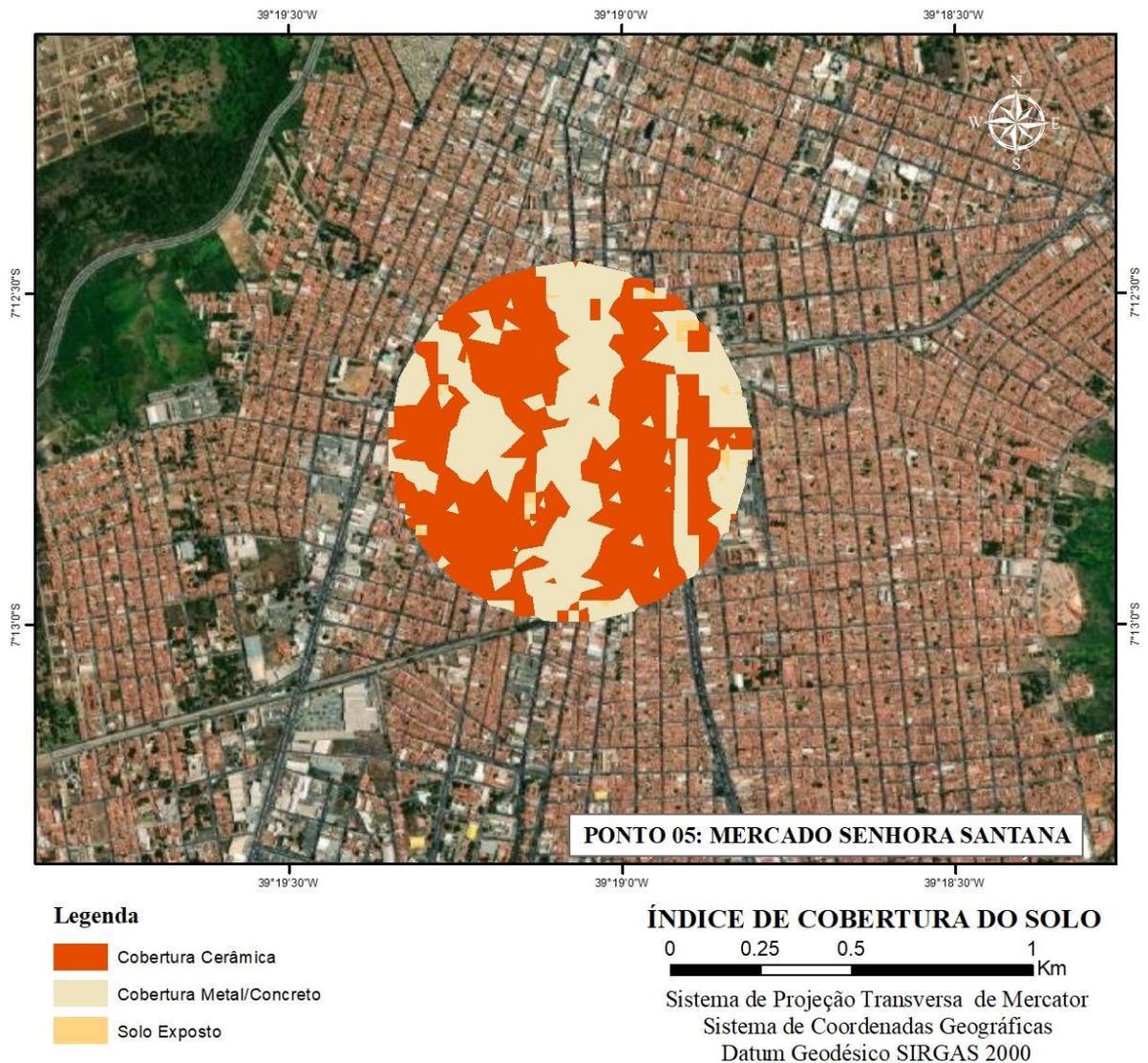
Fonte: Autora.

Mesmo com essa característica, estas classes conseguem desempenhar um papel efetivo no potencial dinâmico, uma vez que registrou no transecto 02 de 2018 a temperatura de 30.3 °C, inferior às demais registradas no percurso, e no transecto 04 registrou 27.6 °C.

Dinâmica esta relacionada a recintos que trabalham como células de frescor. Esse contexto nos faz perceber que dentro do mesmo espaço urbano e até mesmo dentro de um bairro é possível fazer comparações a respeito das diferenças de temperatura e umidade do ar (SANTOS, 2011).

No ponto 05 (mapa 22) o buffer apresenta apenas 3 classes, sendo, cobertura metálica, cobertura cerâmica e solo exposto. Esse ponto do transecto foi coletado nas imediações do mercado Senhora Santana que apresenta um padrão de ocupação pautado na combinação de área residencial e área comercial com verticalização intermediária.

Mapa 24 - Índice de cobertura do solo do ponto 05



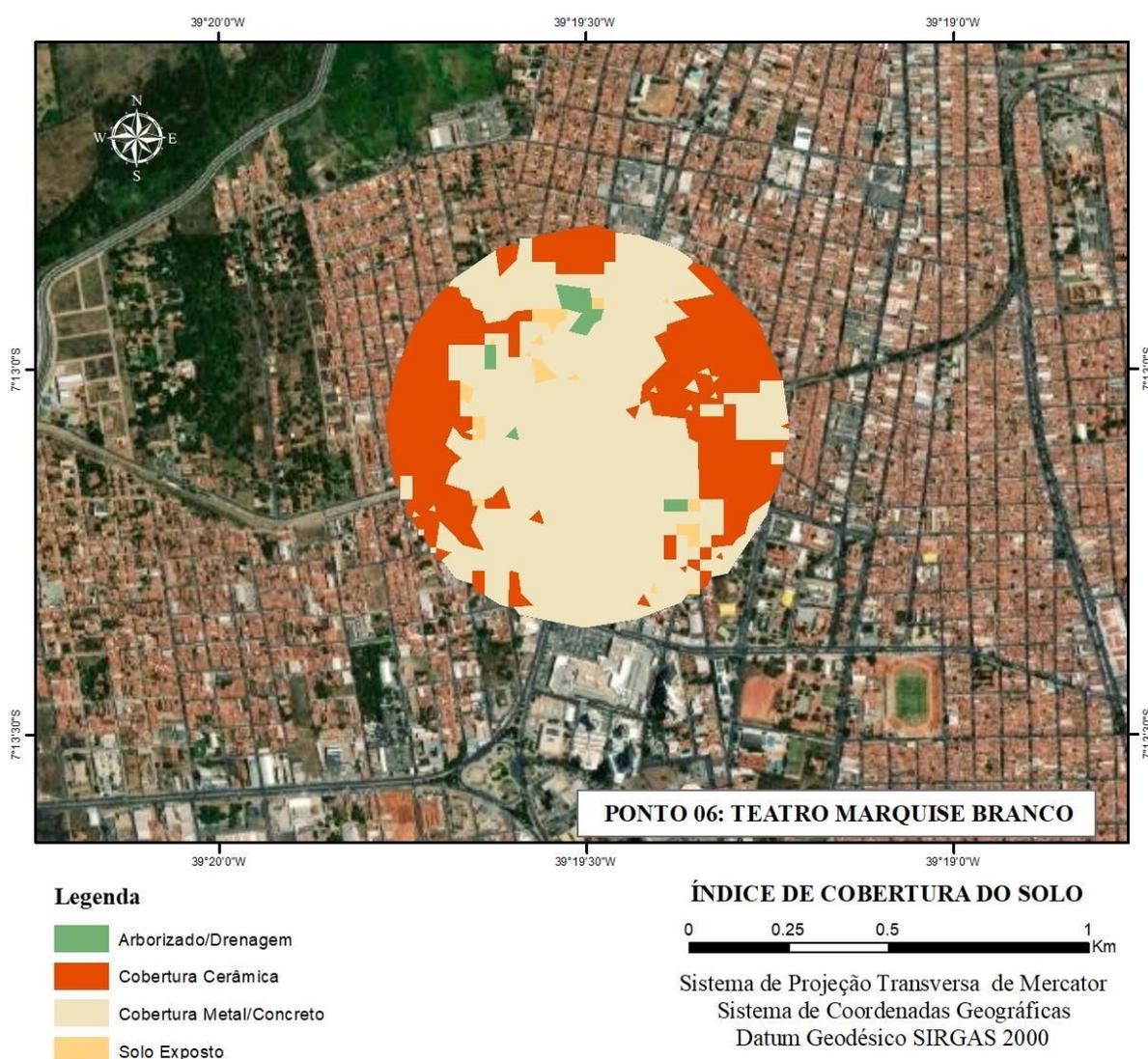
Fonte: Autora

De acordo com o mapa climático urbano esse setor detém uma carga térmica relevante à alta, influenciando no registro de temperaturas elevadas, uma vez que possui quase todos os

itens que são responsáveis pela geração e armazenamento de calor (alta impermeabilidade do solo, alta rugosidade, pouca vegetação, nenhum leito de rio próximo e alto calor antropogênico, já que suporta um centro comercial). A temperatura registrada nesse ponto nos transectos 02 e 04 foi de 31.2 °C no primeiro referente ao ano de 2018 e 27.4 °C no segundo referente ao ano de 2020. Ambas sendo classificadas como temperaturas elevadas se compararmos a magnitude calculada através da diferença entre o maior e menor valor encontrado.

O último índice de cobertura do solo foi do ponto 06 coletado nas imediações do teatro Marquise Branco, e a área do buffer capturou as 4 classes estabelecidas para essa análise.

Mapa 25 - Índice de cobertura do solo do ponto 06

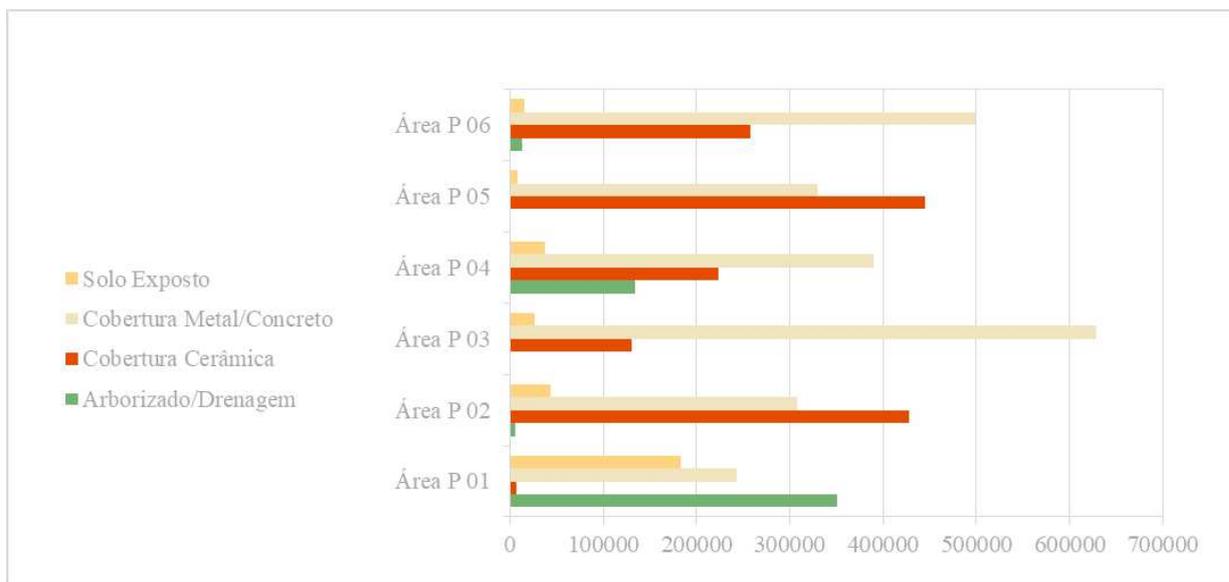


Fonte: Autora.

Este buffer, assim como o ponto 03 apresentou percentuais elevados da classe de cobertura metálica e concreto. Há a presença em alguns setores de vegetação e solo exposto. Esse setor localiza-se no eixo entre os dois principais centros comerciais da cidade (Centro e Triângulo), então, embora disponha em seu perímetro de espaços abertos entre os equipamentos urbanos, por conta dos tipos de materiais podem agregar calor, sendo classificadas como áreas de carga térmica relevantes no balanço energético. As temperaturas registradas na coleta de temperatura do ar foram de 30.2 °C no transecto 02 e 26.6 °C no transecto 04, confirmando a influências dos distintos materiais na variação de calor na cidade.

Com base no Gráfico 14 e Quadro 11 é possível realizar uma comparação entre as classes categorizadas no índice de ocupação do solo, e em meio as quatro classes, nota-se que a cobertura metálica aparece como os maiores valores, principalmente no ponto 06 e ponto 03, perfazendo as áreas mais verticalizadas da cidade. Seguidamente, a classe com maior expressividade é a cobertura cerâmica, tendo em vista que grande parte da cidade está coberta por edificações com a finalidade exclusivamente residencial, e mais comum é a utilização de telhas de cerâmica. Em terceiro lugar, tem-se a classe solo exposto, representada por terrenos baldios, áreas de especulação imobiliária, bem como setores associados ao desmatamento da vegetação presente. No último lugar, a classe menos presente nos 6 buffers gerados, está a vegetação, que só é localizada na cidade em áreas mais suburbanas, perto das drenagens ou na Unidade de Conservação, representada pelo parque das Timbaúbas.

Gráfico 14 – Comparação das áreas das classes do ICS



Fonte: Autora

Quadro 11– Áreas das classes do ICS

<b>Classes</b>	<b>Área P 01</b>	<b>Área P 02</b>	<b>Área P 03</b>	<b>Área P 04</b>	<b>Área P 05</b>	<b>Área P 06</b>
Arborizado/Drenagem	351105.3	5910.563		133699.1		12359.4
Cobertura Cerâmica	6529.829	427823.2	130340.9	223206.6	445472.2	258094.3
Cobertura Metal/Concreto	242974.7	307459.1	628345.5	389700	329322.6	498965.1
Solo Exposto	182980.3	43450.76	25832.51	37234.48	8494.954	15574.96

Fonte: Autora.

## 8 DESEMPENHO CLIMÁTICO E MORFOLOGIA URBANA (LCZ)

Até agora investigou-se o clima urbano baseado no seu balanço energético através do mapeamento climático urbano, mensurou-se a temperatura do ar com a metodologia de transectos móveis ao passo que validou-se esses topoclimas e classificou-se o uso do solo de acordo com os principais tipos de materiais presentes no ambiente urbano.

No que se refere ao desempenho climático e morfologia dos recintos urbanos, sabe-se que as estruturas urbanas podem ser classificadas quanto à sua disposição, a exemplo das dimensões dos edifícios e dos espaços entre eles, a largura e espaçamento da rua, o tipo de cobertura urbana, a disposição da vegetação, do solo exposto e da água. Essas características do tecido urbano, quando investigados integradamente e de forma categórica, podem descrever classes morfológicas urbanas.

Para alguns autores as estruturas urbanas e como estão dispostas podem dizer muito sobre sua interferência nos microclimas urbanos. As chamadas *Local Climate Zones (LCZ)* ou zonas climáticas urbanas referem-se a um conjunto de classes que setoriza o terreno da cidade em sete regiões homogêneas que variam de áreas semi-rurais a intensamente desenvolvidas. As zonas distinguem-se pela sua estrutura urbana (dimensões do edifício/ rua), cobertura (permeabilidade), tecido (materiais), metabolismo (atividade humana) e potencial para modificar a superfície natural ou "pré-urbana" (OKE, 2012).

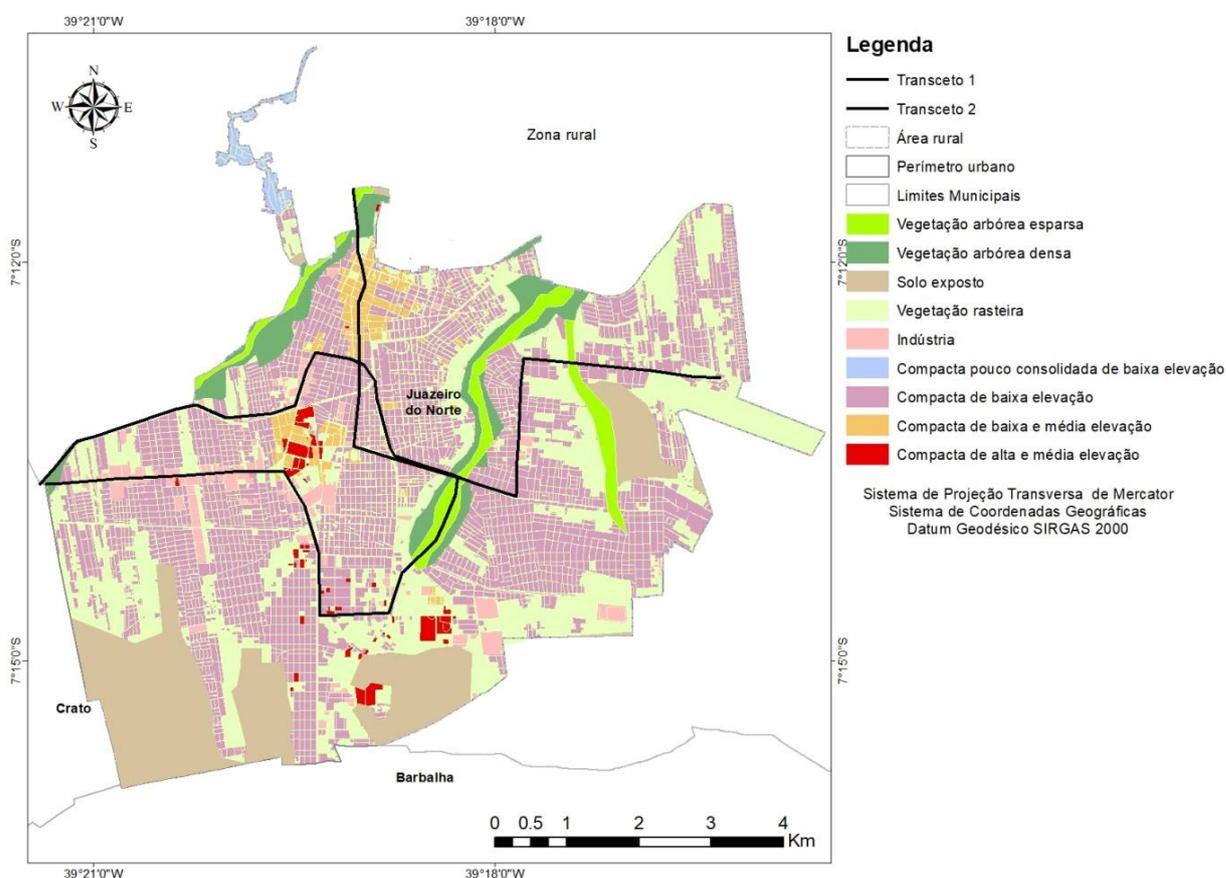
Embora o próprio formulador nos alerte para as limitações do sistema LCZ, uma vez que não pode capturar as peculiaridades de cada local urbano e rural, e como todas as classificações, seus poderes descritivos e explicativos são limitados, outro ponto é que homogeneidade interna retratada por cada LCZ é improvável de ser encontrado no mundo real, exceto em configurações planejadas ou intensamente gerenciadas (por exemplo, parques da cidade, novos conjuntos habitacionais) (OKE, 2012). No entanto, essa metodologia se trabalhada integradamente com as demais podem fornecer muitos recursos que se alinham com os objetivos de observação da ilha de calor.

Aplicando o sistema de categorização (adaptado) da paisagem denominado “Zonas Climáticas Locais” (LCZ) em Juazeiro do Norte através da classificação da imagem RGB do satélite Landsat 8, identificou-se as seguintes classes: LCZ B - Vegetação arbórea esparsa; LCZ A - Vegetação arbórea densa; LCZ F - Solo exposto; LCZ D - Vegetação rasteira; LCZ 10 – Indústria; LCZ 7 - Compacta pouco consolidada de baixa elevação; LCZ 3 – Compacta de

baixa elevação; LCZ 2/4 - Compacta de baixa e alta elevação; LCZ 3/4 - Compacta de alta e média elevação.

Interpretando o mapa das LCZs da cidade de Juazeiro, nota-se que a classe mais expressiva é a LCZ 3 que corresponde a estrutura dos equipamentos urbanos de maneira compacta de baixa elevação, englobando toda a área residencial da cidade, seguida das LCZ F, classificada por áreas de solo exposto e LCZ D, definida pela vegetação rasteira.

Mapa 24 – Zonas Climáticas Locais (LCZ) em Juazeiro do Norte



Fonte: Autora

É importante destacar que apesar de adotar a metodologia dos transectos móveis para mensurar a temperatura do ar ao longo do perímetro urbano, a LCZ 7 que é definida por áreas estruturadas de forma “compacta pouco consolidada de baixa elevação”, não foi abrangida nos transectos realizados nos anos de 2018 e 2020, motivo pelo qual esse dado encontra-se sem informações nos gráficos. Quanto às principais características de cada zona climática local (LCZ) encontrada na cidade de Juazeiro, estas estão descritas resumidamente no Quadro 10.

Quadro 12 – Descrição das características das LCZs de Juazeiro

LCZ	Descrição	Imagem
	<p>Forma Paisagem levemente arborizada. Árvores dispersas em terreno permeável (vegetação rasteira). Presença de vias e edifícios. Fluxo de tráfego moderado a alto. Função: Vegetação arbórea remanescente natural ou replantio. Recreação urbana (parques, áreas verdes). Localização: Cidade e maior concentração no entorno rural próximo.</p>	
	<p>Forma Paisagem densamente arborizada. Árvores espaçadas em terreno permeável (vegetação rasteira). Poucas ou nenhuma estrada ou edifício. Baixo ou nenhum fluxo de tráfego. Função: Floresta remanescente natural. Recreação urbana (parque arborizado).</p>	
	<p>Forma Paisagem com solos expostos em terreno permeável, com a presença de pouca vegetação. Presença de avenida pavimentada com intenso fluxo de veículos automotores.</p>	
	<p>Forma Paisagem com solos expostos em terreno permeável cobertos com vegetação rasteira. Presença de avenida pavimentada com fluxo de veículos automotores.</p>	
	<p>Forma Densamente construída, com edifícios pequenos e grandes, de baixa e alta elevação. Materiais de construção pesados (concreto, aço, tijolo e vidro) e telhados de cerâmica e cimento. Com poucas ou nenhuma árvore. Fluxo de tráfego alto. Função: Industrial.</p>	
	<p>Forma Densamente construída, com edifícios baixos e pequenos. Materiais de construção pesados (pedra, cimento, tijolo) e telhados de fibrocimento e cerâmica. Cobertura da terra na maior parte pavimentada, poucas ou nenhuma árvore. Função: Residencial e comercial.</p>	
	<p>Forma Densamente construída, com edifícios médios e grandes, de média a alta elevação. Materiais de construção pesados (concreto, aço, tijolo e vidro) e telhados de cimento, cerâmica e metálicos. Cobertura da terra com baixa permeabilidade e com árvores dispersas. Fluxo de tráfego alto. Função: Comercial.</p>	
	<p>Forma Densamente construída, com edifícios pequenos e grandes, de baixa e alta elevação. Materiais de construção pesados (concreto, aço, tijolo e vidro) e telhados de cerâmica e cimento. Cobertura da terra na maior parte impermeável, com poucas ou nenhuma árvore. Fluxo de tráfego alto. Função: Residencial e comercial.</p>	
	<p>Forma Densamente construída, com edifícios baixos e pequenos. Materiais de construção leves e pesados (madeira, pedra, cimento, tijolo), telhados de fibrocimento e de cerâmica. Infraestrutura pouco consolidada. Cobertura da terra pouco permeável, poucas ou nenhuma árvore entre as edificações, solo exposto, entorno próximo vegetado (cobertura arbórea e rasteira). Fluxo de tráfego baixo. Função: Residencial (habitação de baixo custo) e comércio local. Localização: Periferia da cidade, concentrada nas porções norte e nordeste.</p>	

Fonte: Autor

Alicerçado nas LCZs encontradas no mapeamento (exceto a LCZ 7 - Compacta pouco consolidada de baixa elevação), foram definidas as variações térmica de cada um dos transectos em relação à intensidade e magnitude mensuradas nos anos de 2018 e 2020.

### 8.1 Diferenças térmicas a partir dos transectos móveis

Dentre os primeiros estudos relacionados ao campo térmico iniciado na cidade de Londres, uma das características mais importantes da ilha de calor urbana é a sua intensidade, que pode ser quantificada a partir da diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima (OKE, 1978; MENDONÇA, 2015; AMORIM, 2019).

Para quantificar a intensidade e magnitude das ilhas de calor urbana Garcia (1996) estabeleceu uma classificação que segue os seguintes critérios: ilha de calor de magnitude muito forte quando atingem valores acima de 6°C; ilha de calor de magnitude forte quando oscilam entre 4 °C e 6 °C; ilha de calor de média magnitude quando variam de 2 °C a 4 °C e por fim a ilha de calor de fraca magnitude quando variam de 0 °C a 2 °C.

Os registros de temperatura do ar coletados através dos transectos móveis demonstraram que a maior diferença de temperatura entre os pontos foi de 5,6 °C obtida no episódio de verão no ano de 2020, e nesse transecto foi possível observar a formação de dois bolsões de ar quentes registrados no recinto urbano. Considerando a classificação de Garcia (1996), os núcleos de calor visualizados neste episódio classificam-se como sendo de forte magnitude. Outro episódio que também recebeu essa classificação em termos de intensidade foi o episódio de inverno realizado no mesmo ano (2020), alcançando o valor de 5,5 °C. Em relação aos valores registrados nos episódios de inverno e primavera realizados no ano de 2018, ambos foram classificados segunda a tipologia de Garcia (1996) como ilhas de calor de média magnitude.

Tabela 02 – Diferenças térmicas máximas e mínimas dos transectos móveis

Episódio	Data	Trajetos	Temp. Max	Temp. Min	Diferença Térmica (Intensidade)	Período
Inverno	11/06/2018	Sul-norte-leste	25.8 °C	22.6 °C	3,2 °C	Final período chuvoso
Primavera	23/11/2018	Leste-oeste	31.5 °C	28.7 °C	2,8 °C	Período seco
Inverno	22/09/2020	Sul-norte-leste	29.4 °C	23.9 °C	5,5 °C	Período seco
Verão	29/12/2020	Lesto-oeste	28.3 °C	22.7 °C	5,6 °C	Início do período chuvoso

Fonte: Autora

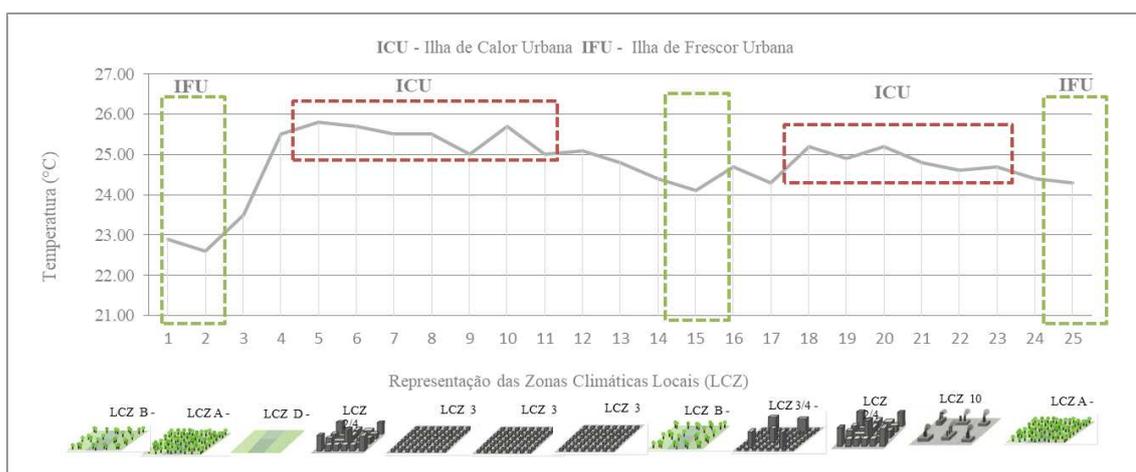
Frente à sazonalidade, as maiores magnitudes foram registradas nos transectos realizados ano de 2020, onde o maior contraste foi identificado no início do período chuvoso, também denominado de pré-estação chuvosa, e logo em seguida os dados coletados no mesmo ano no período seco apresenta um contraste térmico que se distingue por apenas por 1 °C de diferença. Referente às diferenças térmicas encontradas no ano de 2018, estas não foram significativas em termos de intensidade e magnitude, alcançando média magnitude.

## 9.2 Diferenças térmicas do episódio de inverno 2018

Além da sazonalidade, como já discutido anteriormente uma série de variáveis são responsáveis por na redução e aumento dos contrastes térmicos distribuídos no ambiente urbano, e a metodologia de transectos móveis e das LCZs são capaz de identificar essas diferenças térmicas investigando a composição e disposição dos equipamentos urbanos.

O gráfico 15 apresenta as distintas temperaturas detectadas no episódio de inverno realizado no ano de 2018. Este trajeto que compreende os setores sul, norte e leste da cidade identificaram 12 LCZs, e a partir deste perfil é possível observar que existe um padrão na distribuição de intensidade das temperaturas com base nas características urbanas e geocológicas.

Gráfico 15 – Diferenças térmicas do episódio de inverno 2018



Fonte: Autora

A menor mínima registrada (22,6 °C) foi coletada no ponto 2 do trajeto medido especificamente na LCZ A, que refere-se à vegetação densa, o que contribui para a queda da

temperatura logo no início do itinerário estabelecido. Essa zona na maioria das vezes associa-se a florestas remanescentes ou matas ciliares, bem como parques arborizados.

Dos pontos 4 a 10 observou-se o primeiro núcleo de calor posicionado sobre a LCZ 2/4 (compacta de média e alta elevação) configurado por um padrão densamente construído com edifícios grandes e pequenos, localizados no interior do bairro Centro, com a função comercial e é dentro desse intervalo de pontos que identificou-se a maior máxima registrada no transecto (25,8 °C).

À medida que o trajeto avança entre os pontos mencionados e posicionam-se sobre a LCZ 3 (Compacta de baixa elevação), observa-se valores de temperatura igualmente quentes, condicionados por estruturas densamente construídas por edifícios baixos e pequenos de caráter residencial. Essas duas LCZs além de impermeabilizarem todo o tecido urbano, empregam materiais também impermeáveis e com colorações que provocam a absorção de calor, somando ao calor gerado pelo alto fluxo de tráfego e áreas redutoras da temperatura por superfícies naturais.

No ponto 15 observou-se novamente uma queda da temperatura localizada sob a LCZ B (Vegetação arbórea esparsa), resultado da presença de uma paisagem levemente arborizada em um terreno permeável (vegetação rasteira). Além da presença desses elementos naturais, há uma ausência ou reduzida quantidade de equipamentos urbanos como edifícios ou grandes vias de acesso que colaborem para elevação das temperaturas. Geralmente essa LCZ está associada a parques urbanos, áreas verdes ou espaços com proximidade ao entorno rural.

Dos pontos 18 a 22 visualizou-se uma subida novamente da temperatura condicionando outro núcleo de calor, que registrou valores bem próximos ao núcleo anterior (25.2 °C). Esta ilha está situada sob a LCZ 3/4 (Compacta de baixa e alta elevação), LCZ 2/4 (Compacta de média e alta elevação) e LCZ 10 (Indústria). Essas três zonas locais possuem em comum a alta densidade de construções, a geração ou a proximidade de focos de calor antropogênico, a exemplo dos equipamentos pesados do setor industrial, combinado a pequena parcela de vegetação encontrada na área.

O último ponto do transecto acha-se novamente sob a LCZ A (Vegetação densa), subordinada pela presença desse elemento justamente por localizar-se num setor de divisa municipal entre Juazeiro e Crato, essa conjuntura permite a diminuição nos valores de temperatura do ar coletado durante itinerário.

Pode-se observar que o uso e a ocupação da terra portaram-se como fator determinante de aquecimento da atmosfera urbana, pois onde se tem maior densidade construtiva na cidade ocorreu a maior intensidade de ilha de calor (PORANGABA, 2017). Esta dinâmica nos faz perceber a tamanha influência da morfologia urbana na diferenciação térmica da cidade ao longo da realização de um transecto móvel noturno.

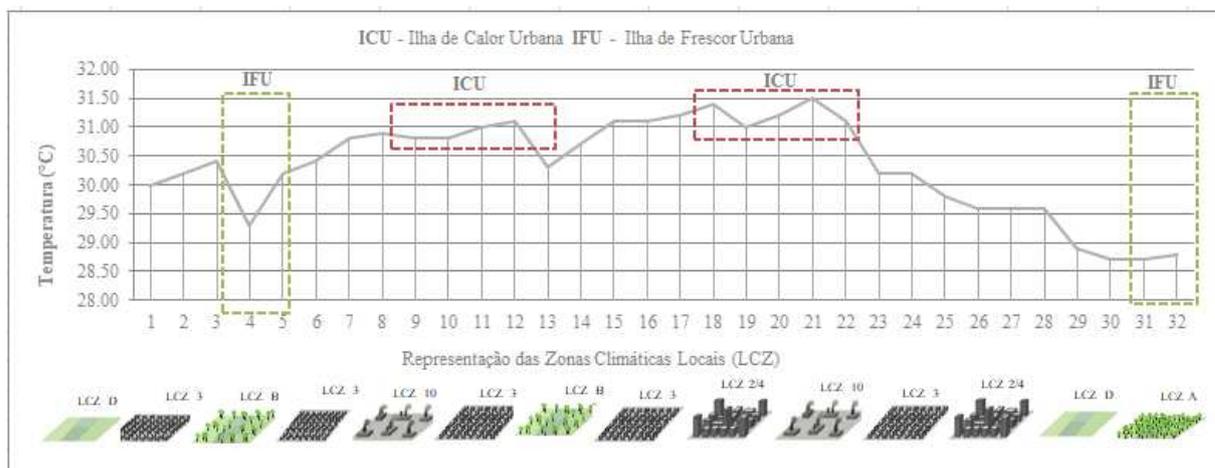
### 8.3 Diferenças térmicas do episódio de primavera 2018

A principal diferença entre o transecto móvel do episódio de inverno e primavera se dá pelos valores registrados que foram maiores (31,5 °C a 28,7 °C), possivelmente fruto da influência da sazonalidade. Muito embora a intensidade das ilhas identificadas nesse itinerário foi menor (2,8 °C) em relação ao ano anterior.

Outra particularidade é que em ambos os transectos foram detectadas células separadas da ilha de calor, que podem ser de modo direto atribuído às causas urbanas. Este desenho comprova que as ilhas de frescor e de calor, mostram heterogeneidades internas que não devem ser tomadas apenas do ponto de vista da comparação urbano-rural (AMORIM, *ET AL.* 2009). Sendo necessário assim, analisar outros parâmetros.

Neste transecto (leste-oeste) (Gráfico 13) foram coletados mais pontos em relação ao anterior, devido esse itinerário ser mais longo, logo foram identificadas 14 LCZs. Nos dois primeiros pontos a temperatura registrou 30 °C sob a LCZ D (Vegetação rasteira) e LCZ 3 (Compacta de baixa elevação). Esse arranjo é formado pela presença de um bairro residencial e a presença do aeroporto da cidade.

Gráfico 16 – Diferenças térmicas do episódio de primavera 2018



Fonte: Autora.

O fator mais significativo nessa coleta está no ponto 4, representado pela LCZ B (Vegetação esparsa) oportunizando uma áreas levemente arborizada pela presença de uma drenagem e que atua na produção de um efeito responsável pela quebra da continuidade das temperaturas elevadas, diminuindo o equivalente a 1 °C, e alcançado os 29,3 °C.

É inserido nos pontos de 7 a 12 que pode-se visualizar a retomada da elevação da temperatura e onde está situada a primeira célula identificada no percurso. Esta célula localiza-se sob as LCZ 3 (Compacta de baixa elevação) e LCZ 10 (Indústria), que é retratada por uma zona residencial combinado com a presença industrial, assegurando o aumento térmico na área, sobretudo no ponto 12, que registrou 31,1 °C.

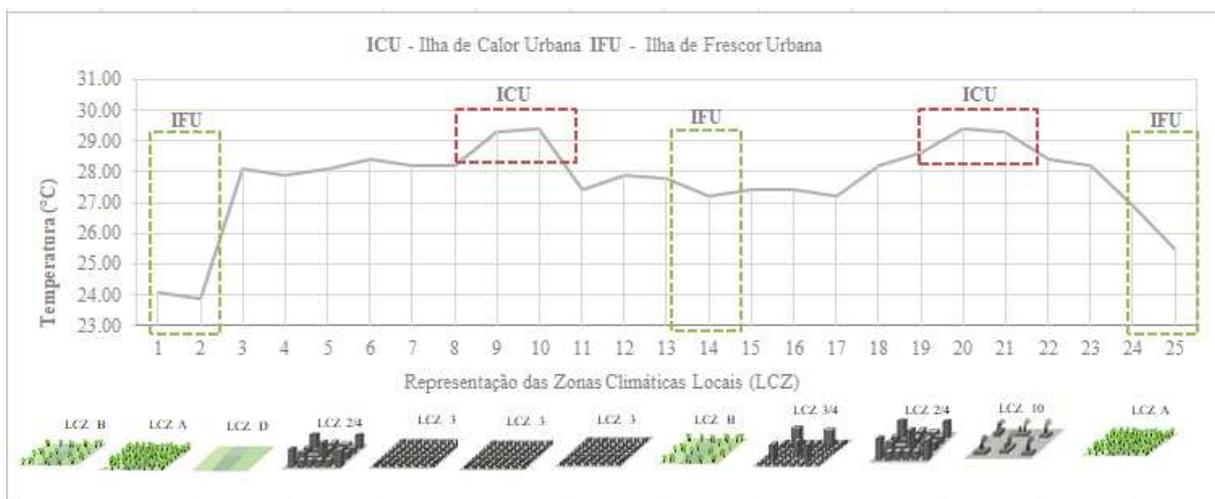
Nota-se que novamente há uma cisão nos valores de temperatura, que pode ser identificado no ponto 13 (30.3 °C) do perfil longitudinal. Essa quebra é provocada a partir da presença da drenagem das Timbaúbas que nesse setor não encontra-se canalizado, assim foi representada pela LCZ B (Vegetação esparsa) que proporciona a arborização espaçada nesse área.

Assim a presença da arborização nas ruas exerce um papel fundamental, pois as áreas densamente arborizadas mesmo com alta densidade de construções obtiveram as temperaturas mais baixas, ou seja, pode-se afirmar que a presença da vegetação tem papel fundamental para amenizar as altas temperaturas (AMORIM, *ET AL.* 2009).

#### **8.4 Diferenças térmicas do episódio de inverno 2020**

O transecto 03 (Gráfico17) assim como o transecto 01 por perfazer o mesmo trajeto, dispôs do mesmo padrão de comportamento, onde se tem a presença de três áreas redutoras de temperaturas e a formação de duas células de calor, posicionadas nas áreas mais densamente construídas. A grande diferença entre esses dois campos está obviamente nas magnitudes alcançadas, isso porque o primeiro registrou o equivalente a 3,2 °C (média magnitude) e o segundo 5,5 °C (forte magnitude).

Gráfico 17 – Diferenças térmicas do episódio de inverno 2020



Fonte: Autora

A menor temperatura registrada foi novamente no ponto 2 (23,9 °C), oportunizada pela presença da LCZ B (Vegetação arbórea esparsa), LCZ A (Vegetação arbórea densa) e LCZ D (Vegetação rasteira). Essas LCZs proporcionam um ambiente com características mais próximas ao ambiente rural, ou menos urbanizado possibilitando o registro de temperaturas mais baixas na área.

Entre os pontos 3 ao 7 as diferenças se mantiveram estáveis apresentando temperaturas entre 28,1 °C a 28,2 °C, passando por LCZs características de áreas urbanas com função comercial. Os pontos 9 e 10 representam o pico do primeiro núcleo de calor identificado, alcançando no ponto 10 29,4 °C, maior máxima registrada no transecto móvel, decorrência da LCZ 3 (Compacta de baixa elevação), que possui como atributo a intensa urbanização, com padrão de alta densidade construtiva, impermeabilização quase que completa e pouca presença de vegetação, tendo como principal função a residencial.

A descontinuidade desse padrão é materializada no ponto 14 pela presença da vegetação e das superfícies líquidas do parque das Timbaúbas representado pela LCZ B (Vegetação esparsa), fazendo com que as diferenças térmicas diminuíssem de 29,4 °C para 27,2 °C, uma diferença de aproximadamente 2,2 °C na temperatura do ar.

Dos pontos 18 ao 21 podemos visualizar a escalada do aumento de temperatura rumo ao segundo núcleo de calor registrado na presença da LCZ 2/4 (Compacta de média e alta elevação), e LCZ 10 (Indústria) retomando a temperatura de 29,4 °C registrada no primeiro núcleo de calor. Ou seja, nesse transecto observa-se a presença de dois núcleos de calor

igualmente quentes registrando a mesma temperatura, e o motivo pelo qual não existe um único e extenso núcleo de calor na área comercial antiga e recente se dá pela presença da LCZ B (Vegetação esparsa) que atua na quebra dessas temperaturas elevadas.

Esses resultados, assim como pontua Teixeira (2021) confirmam que as respostas térmicas são individualizadas para cada cidade em função da densidade construtiva, das características do sítio relativas e à presença e disposição de cobertura vegetal que são condicionantes da intensidade e magnitude das ilhas de calor urbanas.

Por fim, após o ponto 23 do itinerário visualizamos a queda da temperatura do ar em direção novamente a LCZ B (Vegetação esparsa) posicionada no limite municipal entre as cidades de Juazeiro e Crato, e que embora tenha a presença de uma importante via de acesso (CE-292) que liga os municípios do interior do Ceará, a existência de espaços abertos, áreas arborizadas e vegetação rasteira, contribuem para redução efetiva desses valores térmicos.

### **8.5 Diferenças térmicas do episódio de verão 2020**

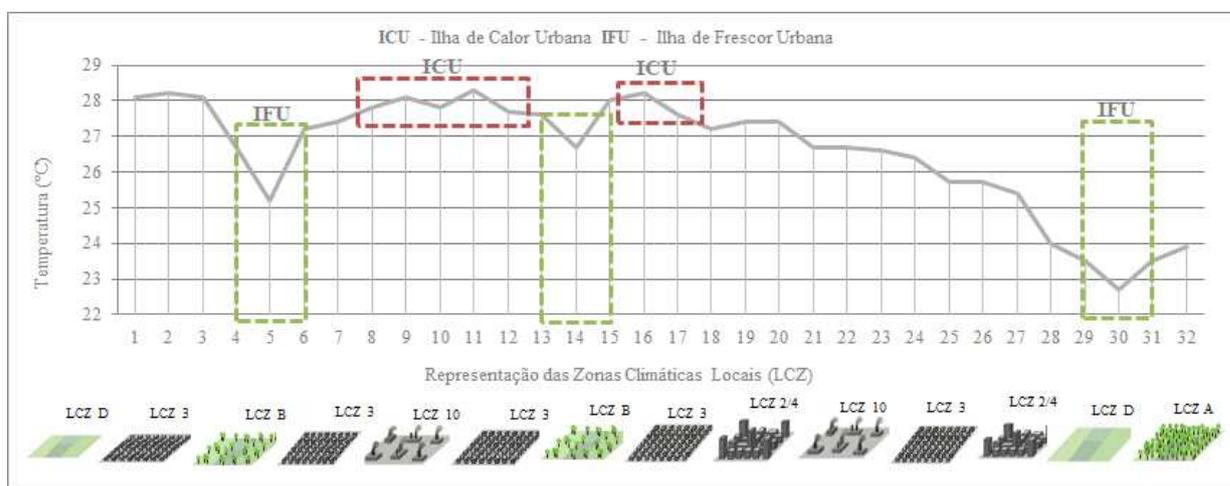
No último transecto (leste-oeste) realizado nessa investigação registou-se uma diferença de 5,6 °C, entre a máxima e a mínima mensurada, sendo classificada como forte magnitude, onde o maior valor encontrado foi de 28,3 °C e o menor valor foi de 22,7 °C. A resposta para esse padrão se dá pela influência da sazonalidade. O registro ocorreu no verão, no início da pré-estação chuvosa no Ceará.

Verificando os dois perfis longitudinais percebe-se a semelhança no que diz respeito ao padrão de comportamento experimentado pelas diferenças térmicas registradas no transecto móvel do episódio de primavera e de verão, representados por três áreas de quebra e redução das temperaturas e duas áreas com a presença de núcleos de calor posicionados nas áreas de intensa urbanização e impermeabilização do tecido urbano, onde as diferenças de são pelos valores registrados em cada experimento.

Neste transecto (Gráfico 18) foi coletado o total de 32 pontos e sendo identificadas 14 LCZs ao longo de todo o itinerário. Nos dois primeiros pontos a temperatura registrou 28,2 °C sob a LCZ D (Vegetação rasteira) e LCZ 3 (Compacta de baixa elevação), condicionado pela presença de um bairro residencial, cortado por avenidas de intenso fluxo de pessoas por conta

da presença do aeroporto da cidade que dispõe de grandes áreas de vegetação rasteira sob domínio da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO).

Gráfico 18 – Diferenças térmicas do episódio de verão 2020



Fonte: Autora.

No ponto 4 mais uma vez é observado a redução da temperatura do ar ( $25,2^{\circ}\text{C}$ ) estabelecido pela LCZ B (Vegetação esparsa) possibilitando uma arborizada com vegetação de pequeno e médio porte permeando uma pequena drenagem que corta a avenida Virgílio Távora, atuando na criação de um efeito responsável pela ruptura das temperaturas mais altas.

Nos pontos de 8 a 12 identificou-se a retomada da elevação da temperatura do ar, bem como o aparecimento da primeira célula, que assim como no transecto de 2018 encontrou-se sob as LCZ 3 (Compacta de baixa elevação) e LCZ 10 (Indústria), que é retratada por uma zona residencial combinado com a presença industrial, assegurando o aumento térmico na área, sobretudo no ponto 11, que registrou  $28,3^{\circ}\text{C}$ , registrado numa área que está localizada uma das principais avenidas que cortam a cidade (avenida Castelo Branco).

Novamente há uma descontinuidade nos valores de temperatura, que pode ser identificado nos pontos 13 e 14 ( $27,6^{\circ}\text{C}$ ) do perfil longitudinal, também provocada pela presença da drenagem das Timbaúbas que nesse setor não se encontram canalizado, como acontece em boa parte das drenagens presentes na cidade, favorecendo positivamente no potencial dinâmico. Esta área foi representada pela LCZ B (Vegetação esparsa) que proporciona a arborização espaçada.

No ponto 16 (28.2 °C) identificou-se mais um pico de temperaturas elevadas posicionadas pela transição de áreas correspondentes as LCZ 3 (Compacta de baixa elevação) e LCZ (Compacta de média e alta elevação), que possuem a função residencial e comercial (presença do mercado do Pirajá) no espaço urbano, fomentando a geração de calor nesses recintos.

Dos pontos 19 ao 27 observa-se o declínio das temperaturas, a medida que o transecto avança para as áreas suburbanas da cidade, atravessando as LCZ 10, LCZ 3 e LCZ 2/4, até atingir o ponto 30 onde foi registrado a menor mínima registrada no percurso (22,7 °C), localizado no início do viaduto do Anel Viário do Cariri, situado sob a LCZ A, que dispõe da presença de vegetação esparsa, rasteira e espaços abertos.

Embora a questão térmica na atualidade esteja largamente pesquisada, as metodologias para sua observação podem ser integradas a fim de facilitar a documentação consistente dos dados gerados. Assim, a proposta de zonas climáticas locais (LCZ) configura-se como uma orientação para a investigação das ilhas de calor, com um novo sistema para medir sua intensidade em diferentes cidades (STEWART, 2011a; STEWART e OKE, 2012; AMORIM, 2017).

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente aos conhecimentos reunidos nessa investigação, a partir do desenvolvimento de todas as metodologias inseridas no mapeamento térmico urbano da cidade de Juazeiro-CE, observa-se a necessidade de dá especial importância ao desenvolvimento sustentável aliada às práticas que reduzam a intensidade das ilhas de calor, aumentem a eficiência energética e promovam condições de ventilação e arborização, sobretudo nos setores que repetidas vezes indicaram as maiores temperaturas no meio urbano.

As transformações socioespaciais das últimas décadas na paisagem urbana da cidade estudada são perceptíveis a partir do aumento da verticalização, da presença crescente de condomínios fechados horizontais, da ampliação do sistema viário, da construção de novos empreendimentos públicos e privados, das ocupações de áreas de risco, da poluição hídrica e devastação de áreas verdes, entre outros processos. Este cenário é efeito das alterações da dinâmica socioespacial vigente, propiciada pelo aumento da renda das famílias, pelas políticas públicas e pelos investimentos públicos e privados em setores estratégicos que escolheram essa região como alvo (NASCIMENTO, 2018).

E os resultados obtidos permitiu compreender que notoriamente o clima urbano é produto da construção social, sofrendo influências definitivas das atividades humanas, e o entendimento da distribuição das temperaturas na cidade caracteriza-se como ponto de partida para o desenvolvimento urbano sustentável, que priorizem o estabelecimento de estratégias que viabilizem o mínimo de qualidade ambiental e bem-estar para os habitantes, minimizando o risco climático.

As metodologias empregadas integradamente nesse trabalho expuseram como a temperatura interage com outros componentes ambientais e com a ocupação urbana, comprovando que os efeitos da urbanização, sobretudo no centro urbanizado são um dos principais responsáveis pelas modificações na qualidade ambiental e na geração de um clima urbano.

Foram aplicadas ao todo 04 métodos, sendo eles: i) Mapeamento climático urbano; ii) Transectos móveis; iii) Índice de cobertura do solo; e iv) *Local climate zones* (LCZs). Cada método oportunizou a setorização e análise do comportamento térmico urbano de distintas perspectivas, permitindo compreender os processos pelos quais levam a cidade e as suas características geocológicas dinamizarem um padrão próprio de variação de temperaturas.

O mapeamento climático urbano forneceu informações detalhadas sobre o balanço energético da cidade, setorizando o solo urbano em 08 microclimas. Este mapeamento permitiu identificar as possíveis áreas de formação de ilhas de calor, situadas nas duas principais áreas comerciais (bairro Centro e Triângulo), assim como as possíveis áreas de ilhas de frescor identificadas nas áreas de drenagens e nas extremidades da cidade (setores próximos às divisas municipais). Cada microclima identificado no produto cartográfico gerado foi condicionado por uma dinâmica particular dentro do balanço energético, traduzindo na identificação dos setores mais críticos em relação ao aquecimento térmico, assim como as áreas mais agradáveis termicamente.

As informações obtidas no mapa climático urbano de Juazeiro-CE foram validadas através dos 04 transectos móveis, confirmando que as temperaturas mais elevadas registradas (25,8 °C – transecto 01/ 31, 5 °C – transecto 02/ 29,4 °C – transecto 03/ 28,3 °C – transecto 04) foram mensuradas nas áreas comerciais da cidade ou em bairros de características residenciais próximos a esses setores. Em contrapartida, e confirmando as informações visualizadas no MCU, as temperaturas mais baixas foram registradas nas porções do solo urbano dinamizada por poucas edificações, superfícies naturais (água e vegetação) e como circulação do ar (22,6 °C – transecto 01/ 28,7 °C – transecto 02/ 23,9 °C – transecto 03/ 22,7 °C – transecto 04), especificamente nas áreas onde se localizam as drenagens do rio Salgadinho e riacho das Timbaúbas, e próximas às rodovias estaduais (CE).

Outro ponto que os transectos móveis demonstraram, foi à influência da sazonalidade na variação de temperatura entre os campos desenvolvidos. As maiores temperaturas foram registradas nos transectos realizados no período seco, sobretudo no transecto 02 (episódio de primavera), alcançando os 31, 5 °C, constatando que além da influência local, a variação térmica também depende da dinâmica regional de circulação.

Os resultados alcançados pelo índice de cobertura do solo possibilitou identificar a relação dos tipos de materiais e superfícies no solo urbano, e sua interferência na distribuição da temperatura, constatando-se que as classes de cobertura cerâmica (o tipo mais comum de cobertura em áreas residenciais), cobertura metálica/concreto (cobertura e/ou calçamentos, mais associados a prédios, ginásios e estacionamentos) e solo exposto (áreas agrícolas/pecuárias e especulação imobiliária), foram as que viabilizaram as maiores temperaturas registradas nos transectos móveis, ao contrário da classe arborizado/drenagem (áreas de vegetação tanto isolada como associadas a redes de drenagem) que registraram as temperaturas mais baixas.

Esses resultados nos alerta a necessidade de implementação de técnicas de arquitetura bioclimáticas e engenharia de materiais frescos, que tiram partido das propriedades térmicas dos materiais, no intuito de desenvolverem comunidades mais frescas e melhores adaptadas à realidade de aquecimento das cidades.

Os dados alcançados com base no desempenho climático e morfologia dos recintos urbanos da cidade de Juazeiro, traduzido pela LCZs, mostrou o papel das estruturas urbanas e sua influência quanto a sua disposição, dimensões, espaçamento das vias de acesso, o tipo de cobertura urbana, a disposição da vegetação, do solo exposto e da água, ademais possibilitou compreender a variação de temperatura em cada LCZ e identificar as intensidade e ilhas de calor registradas nos transectos móveis, uma vez que o estudo das interações energéticas entre os espaços que compõem a malha urbana é fundamental para compreender a variabilidade das ilhas de calor.

Os maiores valores registrados foram identificados nas LCZ 10 – Indústria, LCZ 3 – Compacta de baixa elevação; LCZ 2/4 - Compacta de baixa e alta elevação; LCZ 3/4 - Compacta de alta e média elevação. Já os menores valores foram identificados nas LCZ B - Vegetação arbórea esparsa, LCZ A - Vegetação arbórea densa, LCZ F - Solo exposto e LCZ D - Vegetação rasteira.

As maiores diferenças de temperatura entre os pontos foram de 5,6 °C obtida no episódio de verão no ano de 2020, e no episódio de inverno realizado no mesmo ano (2020), alcançando o valor de 5,5 °C. Nesses transectos foi possível observar a formação de dois bolsões de ar quentes registrados no recinto urbano, sendo classificados como ilhas de calor de forte magnitude.

De modo geral, constatou-se que os diferentes tipos de usos do solo, os materiais utilizados na construção civil, bem como o padrão construtivo dinamizado pela alta densidade de edificações, muito próximas uma das outras, formando verdadeiros aglomerados impermeabilizados, sobretudo nos bairros mais populares da cidade de Juazeiro-CE, foram responsáveis por apresentarem os maiores intervalos de temperaturas, demonstrando que o balanço energético é visivelmente modificado pela cidade quando comparado com as poucas áreas suburbanas não construídas ou áreas de vegetação e drenagem.

## REFERÊNCIAS

- ACERO JA, HERRANZ-PASCUAL K. A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. In: **Build Environ** (2015).
- ALMEIDA, C. de. (editores técnicos). *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Brasília, DF: Embrapa informações tecnológicas, 2007. 539p.
- AMORIM, M. C. C. T.. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. Esp., p. 22-46, 2019.
- AMORIM, M. C. C. T.. O sensoriamento remoto no diagnóstico das ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical/brasil. **Finisterra** (LISBOA. 1966), v. 52, p. 111-133, 2017.
- AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. ; CARDOSO, R. S. . modelagem espacial da ilha de calor urbana em presidente prudente (sp) - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 29-45, 2015. (ARGÜESO *ET AL*, 2015).
- AMORIM, M. C. C. T.; SANT'ANNA NETO, J.L. ; DUBREUIL, V. . Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 em cidade tropical. **Revista de Geografia Norte Grande** (Impresa), v. 43, p. 65-80, 2009.
- AMORIM, M. C. C. T; DEBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP), Brasil. In: **Revista de Climatologia**. Ano 11, Vol. 16 – Jan/jul. 2015.
- ARNFIELD, A.J. Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island. In: **International Journal of Climatology**. 2003, 23, 1-26. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.859>
- ASSIS, S. S. S; uso de geotecnologias para mapear áreas verdes urbanas como indicador de qualidade ambiental no município de Cuiabá, MT. In: **IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental São Bernardo do Campo/SP – 26 a 29/11/2018**.
- B ACA, J. F. M.; NETTO, A. L. C.; MENEZES, P. M. L. Modelagem da Dinâmica da Paisagem com Processos de Markov. In: **MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G; ALMEIRA, C. M. Geomática Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília: Embrapa, 2007. Cap. 10, p. 97-528.
- BERNATZKY, A. The contribution of trees and green spaces to a town climate. In.: **Energy and Buildings**, Vol. 5,10p., 1982. p. 1-10.
- BURGHARDT. R ET AL. Urban Climatic Map of Arnhem City. In: **Future cities: urban networks to face climate change**. University Utrecht, may, 2010.
- BURGHARDT. R ET AL. Urban Climatic Map of Arnhem City. In: **Future cities: urban networks to face climate change**. University Utrecht, may, 2010. CHANDLER, T.J. **The Climate of London**. Hutchinson, London, 1965, 292 pag.
- CARDOSO, RENATA; DORIGON, LARISSA ; TEIXEIRA, DANIELLE ; AMORIM, MARGARETE . Assessment of Urban Heat Islands in Small- and Mid-Sized Cities in Brazil. **Climate**, v. 5, p. 14-1-13, 2017.

- CHEN, Z. H., H. J. WANG, G. Y. REN, H. XIANG, AND L. XUE, 2005: Change of urban heat intensity and its effect on regional temperature series: A case study in Hubei province (in Chinese). *Climate Environ. Res.*, **10**, 771–779.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. **construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática** (Tese Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação. Desenvolvimento Urbano, Recife, 2017.
- COUCLELIS, H. “From Cellular Automata to Urban Models: New Principles for Model Development and Implementation.” **Environment and Planning B: Planning and Design** 24, 1997. 165-174p.
- COUTTS, A. AND R. HARRIS, **A multi-scale assessment of urban heating in Melbourne during an extreme heat event and policy approaches for adaptation**, 2012, School of Geography and Environmental Science, Monash University: Melbourne.
- CSIRO. State of the climate 2020. In: Australian government – Bureau of Meteorology. 2020 Commonwealth of Australia.
- DELLA CAVA, Ralph. **Milagre em Joazeiro**. 2 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1985 [1970].
- DURY, G. H. High temperature extremes in Austrália. *Annals of the Association of American Geographers*. 62 (3), 388–400. 1972.
- EDELWEISS, N.; OLIVEIRA, J. P. M., 1994. **Modelagem de Aspectos Temporais de Sistemas de Informação**. Recife, UFPE-DI. P.
- EDWARD, N.G; A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. In: *Building and Environment*. Volume 47, January 2012, Pages 256-271.
- ESTEVÃO, GABRIELA. **Sensoriamento remoto como contribuição ao estudo das ilhas de calor de superfície em Juazeiro do Norte, Ceará**. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2016.
- FERREIRA, A. G. F.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, nº 1, 2005 *AL*, 2017.
- FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.
- FERREIRA, DANIELE GOMES; ASSIS, ELEONORA SAD DE AND KATZSCHNER, LUTZ. **Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil**. In: *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 2017, vol.9, suppl.1, pp.255-270. ISSN 2175-3369.
- FREITAS, R. F. M.; AZEREDO, J. F. F. A.; CARVALHO, L. T.; COSTA, R. F. Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano. In: **revista brasileira de estudos urbanos e regionais**, v.23, e 202108pt, 202.

- FRITZSONS, E. ET AL. RELAÇÃO ENTRE ALTITUDE E TEMPERATURA: UMA CONTRIBUIÇÃO AO ZONEAMENTO CLIMÁTICO NO ESTADO DO PARANÁ. In: **REA – Revista de estudos ambientais**, v.10, n. 1, p. 49-64, jan./jun. 2008.
- FRITZSONS, E. ET AL. RELAÇÃO ENTRE ALTITUDE E TEMPERATURA: UMA CONTRIBUIÇÃO AO ZONEAMENTO CLIMÁTICO NO ESTADO DO PARANÁ. In: **REA – Revista de estudos ambientais**, v.10, n. 1, p. 49-64, jan./jun. 2008.
- FUNCEME. **Zoneamento geoambiental do estado do Ceará**: Parte II: Mesorregião do sulcearense. Fortaleza, 2006.
- GALVANI E., LUCHIARI A. Critérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido. *In: VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*, 2004, Aracaju. Anais, **2004**. p 20-29.
- GARCÍA, F. F. **Manual de climatologia aplicada**: clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Editorial Síntesis. S. A. 1996.
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de textos, 2010.
- GEIGER, R. **Manual de microclimatologia: o clima da camada de ar junto ao solo. geográfica**. 2. ed. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2015. 204p.
- GUERRA, I; MOTA, J. G; SAMPAIO, S. Sindústrias de calçados em Juazeiro do Norte – Ce: um estudo da distribuição espacial. *In: V Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação*. Anais CONNEPI 2010. ISBN: 978-85-64320-00-0. Publicado: 2011-02-18. Maceió, Alagoas.
- HOFFMANN P., FISCHEREIT J., HEITMANN S., SCHLÜNZEN K.H., GASSER I. (2017): Using a simple city model for heat stress exposure modelling. **International Congress of Biometeorology**, 5.9.2017, Durham, UK.
- IPCC Climate Change 2007: Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- KATZSCHNER, L.; BOSCH, U.; ROTTGEN, Mathias. Behaviour of people in open spaces in dependency of thermal comfort conditions. In: **INTERNACIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE – PLEA**, 19, France, 2002. Proceeding..France: James & James Ltd., 2002, p.411-415.
- LAMAS, José Manuel Rossano Garcia. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. 2. ed., Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.
- LAMBIN, E. F. Modeling Deforestation Processes - A Review, Trees series B: **Research Report**. European Commission, Luxembourg, 1994.
- LIMA JÚNIOR, A. F. **Análise espaço-temporal da dengue em Fortaleza e sua relação com o clima urbano e variáveis socioambientais**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2018.
- LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de Calor nas Metrôpoles**. Ed. Hucitec, São Paulo, 1985.

LOPES A, CORREIA E. A Proposal to Enhance Urban Climate Maps with the Assessment of the Wind Power Potential. The Case of Cascais Municipality (Portugal). In: **Lenka Hájková et al Ed., Conference Proceedings, International Scientific Conference “Bioclimate 2012 – Bioclimatology of Ecosystems, Ústí nad Labem, Rép. Checa: 68-69, (2012).**

LOPES, A. “O sobreaquecimento das cidades. Causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa”. Territorium, de calor de Agosto de 2003: evidências de associação entre morbidade e ocorrência de calor”. **Revista Portuguesa de Saúde Pública, Vol. 27, n.º 2, pp. 87 – 102. (2009).**

MARQUES, D; GANHO, N; CORDEIRO, R. M. A. O Contributo de Estudos Climáticos à Escala Local para o Ordenamento Urbano: O Exemplo de Coimbra Portugal). **rev. 1º Cong. Desenv. Reg. Cabo Verde, 2º Cong. Lusófono Ciência Reg, 2009.**

MASCARÓ, L. **Ambiência Urbana.** Porto Alegre: Sagra-D.C. Luzzatto, 4º Edição, 2009.

MCPHERSON, E.G. ET AL. Potential energy savings in buildings by an urban tree planting programme in California Urban Forestry Urban Green (2003).

MEIER, A. K. Measured Cooling Savings from Vegetative Landscaping. In: VINE, E.; CRAWLLEY, D.; CENTOELELA, P. (Eds). **Energy Efficiency and the Environment: Forging the Link.** Washington: ACEE, 417 p.1991, p.321-334.

MENDONÇA, F. Geografia e meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2015 – 12º edição.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: oficina de texto, 2007.

MIRIAN TATIYAMA MIYAMOTO. **A influência das configurações urbanas na formação de microclimas:** estudo de casos no município de Vitória-ES. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Centro de artes e comunicações, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Espírito Santo, 2011.

NASCIMENTO, Fabiana Romano do; PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. Projeto Córrego Ribeirão Piqueri: qualificação do espaço público através de soluções baseadas na natureza. [S.l: s.n.], 2018.

NETO, A. T.; AMORIM, M. C. C. T. Ilha de Calor Urbana e desconforto térmico: uma análise episódica em Cuiabá/MT. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Aplicada. Eixo: Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento.** UNICAMP, Campinas-SP, 2017.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** 2. ed. -Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

Oke, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal heat island: Comparison of scale model and field observations. In: **Journal of Climatology**, 1, 237-254.

OKE, T. R., MAXWELL, G.B. Urban heat island dynamics en Montreal and Vancouver. In: **Atmospheric Environment**, v.9, p.191-200, 1975.

- Oke, T.R. **Boundary Layer Climates**. London: Routledge. 1987.
- OKE, Timothy R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, Report n° 81, n° 1250. Canadá: WMO/TD, 2006.
- OKE, V and Wahren-Herlenius M. 2012. The immunobiology of Ro52 (TRIM21) in autoimmunity: a critical review. *J. Autoimmun.* 39:77–82.
- OLIVEIRA, PAULO MARCOS PAIVA DE. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília 1988.
- ONU, 2017. **ONU projeta que população mundial chegue aos 8,5 mil milhões em 2030**. Disponível em: < <http://www.unric.org/pt/actualidade/31919-onu-projeta-que-populacao-mundial-chegue-aos-85-mil-milhoes-em-2030>>. Acessado em: Março de 2017, as 7:15 horas.
- PEDROSA, B. M; CAMARA, G. **Modelagem da Dinâmica e Sistemas de Informações Geográficas**. MEIRELLES, M. P; MARGARETH, S. P; CAMARA, G;
- PENGELLY, L. D., CAMPBELL, M. E., CHENG, C. S., FU, C., GINGRICH, S. E., & MACFARLANE, R. (2007). Anatomy of heat waves and mortality **in Toronto: Lessons for public health protection**. *Canadian Journal of Public Health = Revue canadienne de santé publique*, 98(5), 364-368.
- PEREIRA, C.S.S. (2018). Os espaços do capitalismo global: empresas varejistas, uso do território e transformação urbana no Brasil. In: **Conexão política**. Revista do Programa de Pós-Graduação em Ciência Política da UFPI. V.9, N° 1.
- PEREIRA, C.S.S. Centro, centralidade e cidade média : o papel do comércio e serviços na reestruturação da cidade de Juazeiro do Norte/CE . Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente: [s.n], 2014.
- PEREIRA, R. B. Tipologia arquitetônica e morfologia urbana: uma abordagem histórica de conceitos e métodos. In: **Revista Online Vitruvius**. v.146.04, Julho, 2012. Disponível em: . Acesso em: 24 abr. 2017
- PEREIRA, Renata Baesso. Tipologia arquitetônica e morfologia urbana: uma abordagem histórica de conceitos e métodos. In: **Revista Online Vitruvius**. v.146.04, Julho, 2012. Disponível em: . Acesso em: 24 abr. 2017.
- PEREIRA, Renata Baesso. Tipologia arquitetônica e morfologia urbana: uma abordagem histórica de conceitos e métodos. In: **Revista Online Vitruvius**. v.146.04, Julho, 2012. Disponível em: . Acesso em: 24 abr. 2017.
- PETRONE, Pasquale. Contribuição ao estudo da Região do Cariri, Ceará. Boletim Paulista de Geografia, São Paulo, n. 19, p. 3-29, 1955a.
- PORANGABA, G. F. O. ; TEIXEIRA, DANIELLE CARDOZO FRASCA ; AMORIM, M. C. C. T. . PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA ANÁLISE DAS ILHAS DE CALOR EM CIDADES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 21, p. 225-247, 20.
- QUEIROZ, I. S. **A metrópole do Cariri: institucionalização no âmbito estadual e a dinâmica urbano-regional da aglomeração do Crajubar**. Tese de doutorado da Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

- REN, C., NG, E. KATZSCHNER, L. (2011) Urban climatic map studies: a review, *International Journal of Climatology*, 31, 2213–2233.
- REN, C., NG, E. KATZSCHNER, L. (2011) **Urban climatic map studies: a review**, *International Journal of Climatology*, 31, 2213–2233.
- RIBEIRO, H.; PESQUERO, C. R.; COELHO, M. S. Z. S. Clima urbano e Saúde: uma revisão sistematizada da literatura recente. Scielo, São Paulo, v.30, n. 86, p. 67 - 82, 2016.
- SANT'ANNA NETO, J. L; AMORIM, M. C. C.T.. Febrile cities: the influence of construction materials in the production of heat islands in low-income districts of urban areas with tropical climate in Brazil. In: *Climate Change and Urban Design – The Third International European Urbanism Congress*, Oslo (Norway), 2008.
- SANTAMOURIS M; KOLOKOTSA D, 2014, 'Urban micro climates: Mitigating urban heat stress', in Lehmann S (ed.), *Low Carbon Cities Transforming Urban Systems*, Routledge, Oxon, pp. 282 - 292, <https://www.routledge.com/Low-Carbon-Cities-Transforming-Urban-Systems/Lehmann/p/book/9780415729833>.
- SANTOS, T. (2011). Identificação de ilhas de calor em Recife-PE por meio de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície. (Doctoral dissertation, Dissertação (mestrado) Programa de Pós graduação em engenharia agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco - Recife).
- SILVA, G. R. (2003). Características de vento da região Nordeste: análise, modelagem e aplicações para projetos de centrais eólicas. Dissertação defendida pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife, agosto de 2003.
- SOARES, L. P. (2015). Caracterização climática do estado do Ceará com base nos agentes da circulação regional produtores dos tipos de tempo. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação de Geografia, Fortaleza, 2015.
- SOUZA, M. J. L. **Urbanização e desenvolvimento no Brasil Atual**. Série Princípios, Editora Ática, 1996.
- SOUZA, Marcelo José Lopes de. **Urbanização e desenvolvimento no Brasil Atual**. Série Princípios, Editora Ática, 1996.
- STEWART, I.D. AND OKE, T.R. (2012) Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. In: **Bulletin of the American Meteorological Society**, 93, 1879-1900.
- Teixeira (2021)
- TORRES, S. C. **Forma e conforto: estratégias para (re)pensar o adensamento**
- VALGER, S. A; FEDOROVA, N. N. Numerical simulation of heat and mass transfer in air in vicinity of bluff body. In: **Journal of Physics: Conference Series**. This content was downloaded from IP address 167.250.99.194 on 25/08/2019 at 02:02.
- WANG, Y., X. N. LIU, AND X. H. JU, 2007: Differences between automatic and manual observation (in Chinese). *J. Appl. Meteor. Sci.*, **18**, 849–855.

ZAMBONATO, B, *ET AL.* (2021) Caracterização de zonas climáticas locais na cidade de Santa Maria – Rio Grande do Sul. In: **Revista de Geografia**. Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE (Recife) V. 38, N°. 2, 2021.

ZANELLA, M. E. Caracterização climática e os recursos hídricos do estado do Ceará. In: SILVA, J. B. da.; DANTAS. E. W.; CAVALCANTE. T. (Org.). **Geografia do Ceará: Um novo olhar geográfico**. 2. ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. P. 169-188.:

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. Climatologia Geográfica: teoria e prática e pesquisa. Campinas-SP. Ed. Alínea, 20010.

ZHANG, B., XIE, G., GAO, J., & YANG, Y. (2014). **The cooling effect of urban green spaces as a contribution to energy-saving and emission-reduction: A case study in Beijing, China.** *Building and Environment*, 76, 37-43. doi:10.1016/j.buildenv.2014.03.003