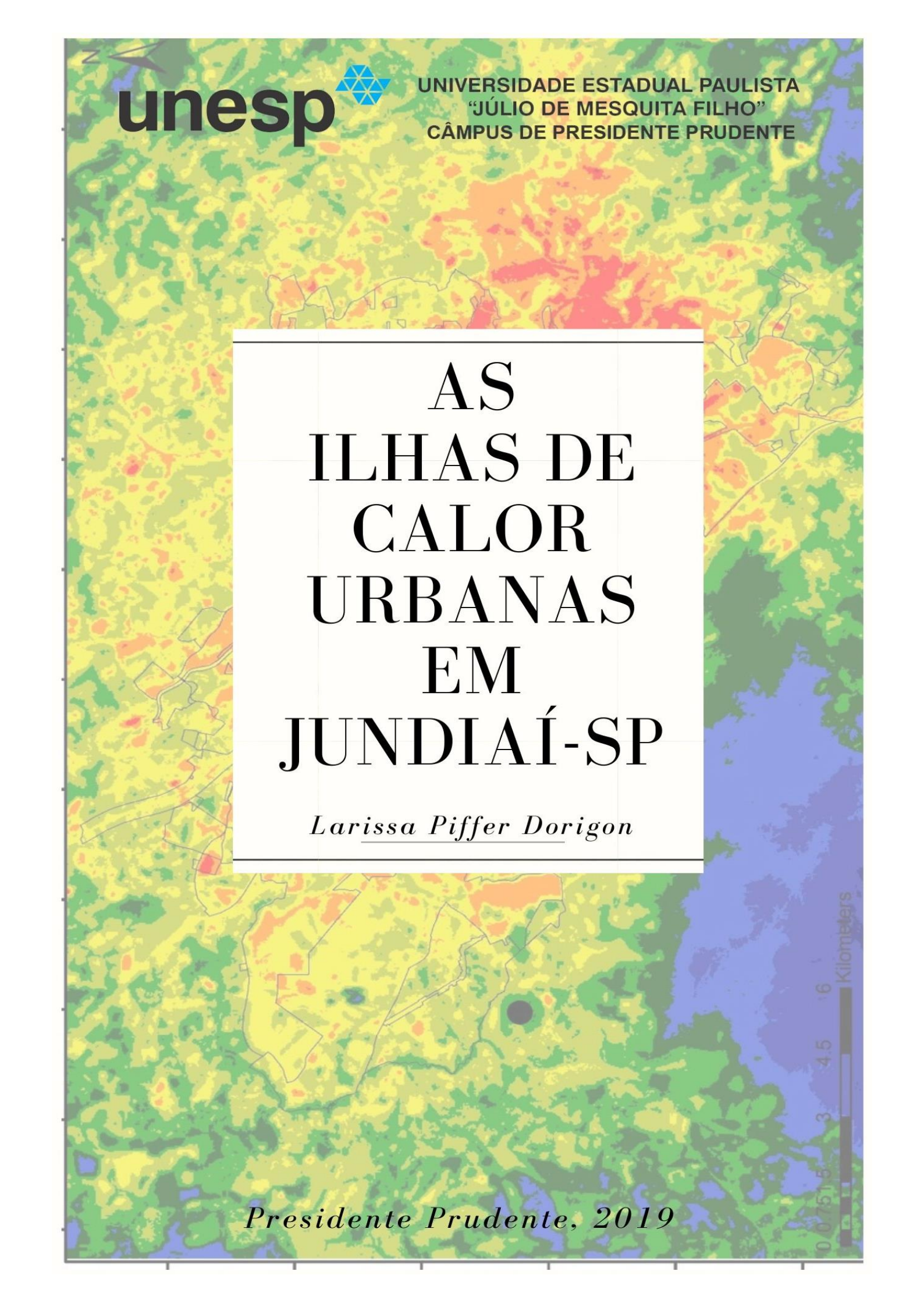




unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

AS ILHAS DE CALOR URBANAS EM JUNDIAÍ-SP

Larissa Piffer Dorigon

Presidente Prudente, 2019

Kilometers

0 0.75 1.5 3 4.5 6



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

AS ILHAS DE CALOR URBANAS EM JUNDIAÍ-SP

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCT/UNESP, campus Presidente Prudente, como requisito para obtenção do título de doutora em Geografia.

Área de concentração: Produção do Espaço Geográfico

Profa. Dra. Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim
Departamento de Geografia - Orientadora

Larissa Piffer Dorigon
Orientanda

**Presidente Prudente – SP
2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

D697i	Dorigon, Larissa Piffer As ilhas de calor urbanas em Jundiaí-SP / Larissa Piffer Dorigon. -- , 2019 147 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara, Orientadora: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim 1. Climatologia. 2. Climatologia urbana. 3. Ilha de calor urbana. 4. Planejamento urbano. 5. Jundiaí. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: AS ILHAS DE CALOR URBANAS EM JUNDIAÍ-SP

AUTORA: LARISSA PIFFER DORIGON

ORIENTADORA: MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em GEOGRAFIA, área:
Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:

Prof.^a. Dr.^a. MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Prof. Dr. JOÃO LIMA SANTANNA NETO
FCT / UNESP/Presidente Prudente (SP)

Prof. Dr. JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Profa. Dra. ANA MONTEIRO
UNIVERSIDADE DO PORTO-PORTUGAL

Profa. Dra. CÁSSIA DE CASTRO MARTINS FERREIRA
Geografia / Universidade Federal de Juiz de Fora

VIDEOCONFERÊNCIA

Presidente Prudente, 18 de novembro de 2019

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Fátima Regina Piffer Dorigon e Paulo Roberto Dorigon, meu porto seguro e maiores incentivadores.

AGRADECIMENTOS

Em 2008, ao iniciar a graduação em geografia, tinha planos de permanecer na Unesp de Presidente Prudente por somente 5 anos e, se possível reduzir para 4. Em 2019, 11 anos depois, estou defendendo minha tese de doutorado e tenho muito a agradecer.

Inicio agradecendo à UNESP como um todo por me oferecer a estrutura necessária para a realização da pesquisa e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pelo financiamento, estrutura, corpo docente e conjunto de funcionários capacitados para acrescentar cada vez mais na formação de profissionais da ciência geográfica.

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

Dedico um grande “muito obrigada por tudo” à professora e orientadora Margarete Amorim, que só fez crescer minha admiração ao longo destes anos de convivência. A sua capacidade de lidar com situações e principalmente, com pessoas é exemplar. Seu conhecimento técnico e científico é admirável. Agradeço imensamente pela confiança depositada em mim e por sempre mostrar “a luz no fim do túnel”. Margo, não consigo mensurar o quanto seus incentivos foram essenciais para finalização deste ciclo. Sua referência será constante em meu caminho.

Agradeço aos Profs. Tadeu e João Lima pelas considerações na banca de qualificação e de defesa e por estarem nos bastidores da vida minha acadêmica. Sempre foram “figurinhas carimbadas” nas qualificações e agora, nas defesas. Agradeço as Prof. Ana Monteiro e Cassia Ferreira pelas falas no momento da defesa. Todas as considerações são sempre muito pertinentes.

Dedico um “muito obrigada” à Prof. Ana Monteiro por ter me recebido tão bem na Universidade do Porto. O compartilhar de informações, a possibilidade de acompanhar de perto sua paixão pela climatologia e a oportunidade de vivenciar outras realidades agregaram imensamente na pesquisa de doutorado e em minha vida pessoal e profissional.

Agradeço também à Prof. Helena Madureira pela recepção, à Paula, ao Miguel e ao Luís pelas trocas de ideias e ajudas no Porto e, à Marcia, à Lidiana, à Luiza, à Livia, à Chai e à Fer pelas conversas, cafés e partilhas de risadas e preocupações.

Faço um grande agradecimento aos amigos. Agradeço a parceria e a troca de conhecimentos ao longo desses anos com a Renata; a irmandade concretizada com a Priscila e os laços selados com a Liriane. Vocês foram e são essenciais para meu amadurecimento pessoal e intelectual e me ajudam a acalmar a mente e o coração nos momentos complicados.

Não posso deixar de agradecer à Jana e à Dani pela troca constante de informação, pelas ajudas e pelas conversas e desabafos da vida de pós-graduação. Obrigada também aos companheiros de jornada acadêmica, pesquisadores sobre clima do grupo GAIA.

Meu muito obrigada ao Paulo, Chico, Marco e Liri por me fazerem uma paulista muito maranhense nesse tempo de partilha de apartamento.

Ainda em Prudente, agradeço à Carla, Maiara, Carlos Eduardo e Letícia pelos momentos de conversa e descontração. Agradeço também à Aninha e à Maryna e exponho minha felicidade de termos cruzados nossos caminhos novamente, vocês são especiais.

Agradeço as pessoas de Jundiaí que disponibilizaram seus espaços para a instalação dos sensores fixos: Bete, Fernanda, Janaína, Andréia e Sônia, Tia Sandra, Simone e Seu Jovanil, Maziero, Secretaria de meio ambiente de Jundiaí que autorizou a instalação na Serra do Japi, Pe. Adeilson Rodrigues dos Santo que disponibilizou o espaço da igreja matriz para a instalação e seu José Antônio que possibilitou a instalação em sua empresa.

Agradecimentos aos funcionários da prefeitura de Jundiaí, em especial aos da Secretaria de Desenvolvimento urbano e de Meio Ambiente, que me cederam importantes informações e documentações.

Agradeço meu pai e minha mãe pela disponibilidade de realizar os transectos móveis todos os dias, à Adriana e sua gangue por também estarem dispostas a seguir sempre o mesmo percurso de janela aberta no inverno jundiaiense e a Le e a Edy, que também me auxiliam nessa árdua tarefa.

Sou muito grata as amigas jundiaienses de longa data: Le, Edy, Fran, Dri e Mariana, sempre bom retornar e saber que tenho boas pessoas em volta.

Enfim, esse caminho só foi possível ser percorrido com a ajuda de muitos, que colaboraram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho. Por isso deixo aqui, o meu MUITO OBRIGADA!

EPÍGRAFE

Não se quer entender a vocação do espaço e sim fazer a sua partilha, para fins de comercialização, como se fosse um caso simples de adaptação de modelos de loteamento e de partilha de espaços polivalentes.

(Trecho transcrito do parecer pelo Tombamento da Serra do Japi publicado pelo Prof. Dr. Aziz Nacib Ab1Saber em 16 de novembro de 1982)

*Teremos coisas bonitas para contar
E até lá, vamos viver
Temos muito ainda por fazer
Não olhe para trás
Apenas começamos
O mundo começa agora
Apenas começamos
(Legião Urbana, 1991)*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico da taxa de urbanização brasileira	16
Figura 2 - Localização do município de Jundiaí dentro do Estado de São Paulo.....	17
Figura 3 - Contexto da região de Jundiaí/SP	18
Figura 4 - Perfil geral típico de uma Ilha de Calor Urbana	30
Figura 5 - Representação esquemática da atmosfera urbana ilustrando a classificação das duas camadas de modificação térmica.....	38
Figura 6 - Regiões climáticas de Londres de acordo com a classificação de Chandler	40
Figura 7 - Esquema da classificação <i>Urban Climate Zones</i> (UCZ)	41
Figura 8 - Propriedades relevantes encontradas na superfície segundo Stewart e Oke (2009) ..	44
Figura 9 - As Zonas climáticas locais (LCZ) de Stewart (2011).....	45
Figura 10 - Possibilidade de subclassificação das LCZs.....	46
Figura 11 - Exemplo de folha síntese	47
Figura 12 - Exemplo de perguntas e exercícios cognitivos do novo guia da LCZ.....	48
Figura 13 - Classes dos relevos locais junto as LCZs	49
Figura 14 - Etapas de procedimentos da pesquisa	51
Figura 15 - Estrutura da modelagem espacial da ilha de calor em Jundiaí/SP.....	52
Figura 16 - Abrigo meteorológico (tipo RS3 - Hobo) com registrador de temperatura e umidade com sonda externa - data logger U23-002 - Hobo.....	54
Figura 17 - Localização dos sensores fixos de temperatura e umidade instalados em Jundiaí/SP	55
Figura 18 - Sensor digital utilizado nos transectos móveis	56
Figura 19 - Percursos realizados durante os transectos móveis noturnos.....	57
Figura 20 - Cartas geradas para elaboração da modelagem espacial da temperatura do ar em Jundiaí/SP	62
Figura 21 - Carta de hipsometria de Jundiaí/SP	65
Figura 22 - Carta de orientação das vertentes de Jundiaí/SP.....	66
Figura 23 - Climograma de Jundiaí (1994-2016)	67
Figura 24 - Gráfico da evolução da população de Jundiaí/SP (1970-2010).....	70
Figura 25 - Evolução da mancha urbana de Jundiaí/SP (1940-2012)	71
Figura 26 - Conurbação entre as cidades de Jundiaí, Itupeva, Louveira, Várzea Paulista e Campo Limpo Paulista	72
Figura 27 - Carta de temperatura da superfície do município de Jundiaí/SP	73
Figura 28 - Carta de NDVI do município de Jundiaí/SP.....	74
Figura 29 - Mapa das LCZs de Jundiaí e região de acordo com a ferramenta WUDAPT	76
Figura 30 - Local de instalação dos pontos fixos em Jundiaí/SP.....	77
Figura 31 - LCZ 9 em Jundiaí	78
Figura 32 - LCZ 7 _G em Jundiaí	79
Figura 33 - LCZ 3 _B em Jundiaí.....	80
Figura 34 - LCZ 8 _B em Jundiaí.....	81
Figura 35 - LCZ 3 ₄ em Jundiaí	82
Figura 36 - LCZ 6 em Jundiaí	83
Figura 37 - LCZ 3 em Jundiaí	84

Figura 38 - Percurso Leste-Oeste	85
Figura 39 - LCZs identificadas no percurso Leste-Oeste em Jundiaí.....	86
Figura 40 - Percurso Sul-Norte.....	88
Figura 41 - LCZs identificadas no percurso Sul-Norte em Jundiaí.....	89
Figura 42 - Localização do ponto 8 na malha urbana de Jundiaí	96
Figura 43 - Variação espaço-temporal das intensidades (em relação ao ponto 0) da temperatura em Jundiaí em relação ao ambiente rural - Abril de 2017.....	96
Figura 44 - Variação espaço-temporal das intensidades (em relação ao ponto 0) da temperatura em Jundiaí em relação ao ambiente rural - Maio de 2017.....	97
Figura 45 - Variação espaço-temporal das intensidades (em relação ao ponto 0) da temperatura em Jundiaí em relação ao ambiente rural - Junho de 2017.....	98
Figura 46 - Variação espaço-temporal das intensidades (em relação ao ponto 0) da temperatura em Jundiaí em relação ao ambiente rural - Julho de 2017	99
Figura 47 - Variação espaço-temporal das diferenças da temperatura em Jundiaí em relação ao ambiente rural - Agosto de 2017	100
Figura 48 - Variação espaço-temporal das intensidades (em relação ao ponto 0) da temperatura em Jundiaí em relação ao ambiente rural - Setembro de 2017.....	101
Figura 49 - Variação espaço-temporal das intensidades (em relação ao ponto 0) da temperatura em Jundiaí em relação ao ambiente rural - Outubro de 2017.....	102
Figura 50 - Variação espaço-temporal das intensidades (em relação ao ponto 0) da temperatura em Jundiaí em relação ao ambiente rural - Novembro de 2017	103
Figura 51 - Variação espaço-temporal das intensidades (em relação ao ponto 0) da temperatura em Jundiaí em relação ao ambiente rural - Dezembro de 2017	104
Figura 52 - Mapa de orientação das vertentes com aproximação nos dois pontos identificados como LCZ 3.....	107
Figura 53 - Frequência da intensidade da temperatura do ar às 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h	109
Figura 54 - Espacialização das temperaturas medidas nos transectos móveis em Jundiaí (agosto e setembro de 2017 às 21h)	115
Figura 55 - Temperaturas medidas nos transectos em relação a altitude e as LCZs	116
Figura 56 - Identificação das ilhas de calor urbanas e as áreas redutoras de temperatura (Percurso Leste-Oeste)	117
Figura 57 - Identificação das ilhas de calor urbanas e as áreas redutoras de temperatura	119
Figura 58 - Etapas e procedimentos aplicados na modelagem espacial das ilhas de calor urbanas em Jundiaí/SP.....	123
Figura 59 - Modelagem espacial das ilhas de calor em Jundiaí no período seco (abril a agosto) de 2017	125
Figura 60 - Gráfico dos resíduos da modelagem espacial da ilha de calor urbana em Jundiaí/SP	126
Figura 61 - Intensidade das ilhas de calor obtidas através da modelagem espacial em Jundiaí no período seco (abril a agosto) de 2017	127
Figura 62 - Mapa térmico síntese de Jundiaí/SP	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características urbanas e suburbanas importantes para a formação de ilhas de calor e seus efeitos no balanço de energia sobre a superfície terrestre.....	31
Tabela 2 - Propriedades radiativas de materiais urbanos	34
Tabela 3 - Propriedades radiativas de materiais rurais	35
Tabela 4 - Coeficiente de determinação de cada variável inserida na modelagem espacial da ilha de calor urbana em Jundiaí/SP.....	63
Tabela 5 - Intensidade horária média da ilha de calor em Jundiaí - abril a dezembro de 2017	91
Tabela 6 - Datas das realizações dos transectos móveis e sistemas atuantes	110
Tabela 7 - Diferenças térmicas máximas e mínimas dos 10 episódios de transecto móveis..	111
Tabela 8 - Síntese das informações de ICUs e ARTs identificadas no percurso Leste-Oeste	118
Tabela 9 - Síntese das informações de ICUs e ARTs identificadas no percurso Sul-Norte...	120
Tabela 10 - Resultados obtidos nas análises dos resíduos da modelagem espacial das ilhas de calor urbanas em Jundiaí/SP para o período seco de 2017	126
Tabela 11 - Descrição das áreas delimitadas no mapa térmico síntese de Jundiaí/SP	130

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 O CLIMA DAS CIDADES	20
2.1 Os estudos sobre os climas das cidades: dos clássicos aos atuais	24
2.2 As Ilhas de Calor Urbanas.....	28
2.3 A classificação dos climas das cidades	39
2.3.1 As Zonas Climáticas Locais (<i>Local Climate Zones</i> - LCZ).....	43
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICAS DA PESQUISA	50
3.1 Registro e tratamento dos dados de temperatura do ar para a identificação das ilhas de calor ...	53
3.1.1 Pontos fixos	54
3.1.2 Transectos móveis	56
3.2 Identificação das Zonas Climáticas Locais	58
3.3 A modelagem espacial das ilhas de calor urbanas	59
4 O UNIVERSO DE ESTUDO	64
5 AS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS (DETALHAMENTO DOS PONTOS DE COLETA DE DADOS)	75
5.1 As LCZs através do WUDAPT	75
5.1 As LCZs dos pontos fixos de registros das temperaturas.....	77
5.2 As LCZs dos transectos móveis	85
6 AS ILHAS DE CALOR EM JUNDIAÍ ATRAVÉS DOS PONTOS FIXOS	91
6.1 Intensidades das ilhas de calor a partir dos pontos fixos.....	92
6.2 Frequência das intensidades das ilhas de calor	105
7 AS DIFERENÇAS TÉRMICAS A PARTIR DAS MEDIDAS ITINERANTES	110
7.1 Identificação das Ilhas de Calor Urbanas e das Áreas Redutoras de Temperatura através das medidas itinerantes.....	117
8 O ZONEAMENTO TÉRMICO EM JUNDIAÍ	122
8.1 A modelagem espacial das ilhas de calor em Jundiaí/SP	123
8.2 Síntese do zoneamento térmico de Jundiaí-SP	128
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137

RESUMO

Nesta pesquisa levantou-se a hipótese de que conhecer o campo térmico de Jundiaí e saber a forma e intensidade das ilhas de calor urbanas resulta em informações relevantes a serem inseridas nas ações de planejamento. Acredita-se ainda, que a utilização da metodologia das Zonas Climáticas Locais (LCZs) facilita a comparação dos resultados obtidos em Jundiaí com outras áreas urbanas, uma vez que esta proporciona a uniformização e padronização de terminologias referentes aos usos e ocupações da terra. Para tanto, o objetivo principal foi diagnosticar o campo térmico da cidade de Jundiaí/SP e elaborar uma análise síntese, apresentando as intensidades de ilhas de calor em relação às características de superfície. Para atingir os objetivos propostos as pesquisas de campo ocorreram através da instalação de 10 sensores fixos que registraram dados horários de temperatura entre abril e dezembro de 2017 e realizados 10 episódios de levantamento com medidas itinerantes em agosto e setembro do mesmo ano. Os dados fixos identificaram que a maior expressão das ilhas de calor esteve conectada com uma sequência de estabilidade atmosférica. As maiores intensidades das ilhas de calor foram registradas, predominantemente, nos meses com as menores precipitações totais (junho, julho, agosto e setembro), enquanto no ciclo diário, as maiores intensidades foram noturnas. Notou-se também que, predominantemente, as maiores intensidades estiveram relacionadas com LCZs características de áreas urbana, LCZ 3, LCZ 3_B, LCZ 3₄ e LCZ 7, todas compactas e com pouca ou nenhuma presença de vegetação. Já as menores intensidades foram detectadas nas LCZ 9, relativa à área rural e LCZ 6, com construções espaçadas e vegetação arbórea e rasteira. Os dados obtidos com os transectos possibilitaram identificar e delimitar áreas em que ocorreram as ilhas de calor urbanas (ICU) e áreas consideradas como redutoras de temperatura (ART). As ICUs se apresentaram, majoritariamente, em áreas com alto grau de adensamento construtivo, ao passo que as ARTs estiveram conectadas à presença de vegetação, água e declividade de relevo. Por fim, através da modelagem espacial da ilha de calor urbana integrou-se as LCZs, o relevo, a vegetação e as temperaturas medidas, a fim de propor um mapa síntese para futuro planejamento. Este mapeamento reforçou o padrão diagnosticado nas análises dos painéis espaço-temporais e dos perfis de transectos (ICUs e ARTs) com maiores intensidades relacionadas com LCZs características de áreas urbana, LCZ 3, LCZ 3_B, LCZ 3₄ e LCZ 7, enquanto que as menores foram detectadas em LCZs rurais ou com menor grau de edificação, como: LCZ 9, LCZ 6, LCZ B e LCZ D. Neste sentido, mesmo sendo uma abordagem descritivo-analítica das ilhas de calor urbanas, o modelo resultou em um documento síntese das temperaturas intraurbanas de Jundiaí, objetivo principal da tese, que poderá ser utilizado pelo poder público em políticas de gestão e planejamento e auxiliar no processo de expansão territorial urbana de Jundiaí.

Palavras-chave: Clima urbano. Ilhas de calor urbanas. Zonas Climáticas Locais. Jundiaí/SP.

ABSTRACT

In this research it was hypothesized that knowing the thermal field of Jundiaí and knowing the distribution and intensity of urban heat islands results in relevant information to be included in the planning actions. It is also believed that the use of the Local Climate Zones (LCZs) methodology facilitates the comparison of the results obtained in Jundiaí with other urban areas, since it provides the standardization and standardization of land use and occupation terminology. Therefore, the main objective was to diagnose the thermal field of the city of Jundiaí/SP and to elaborate a synthesis analysis, presenting the urban heat island intensities in relation to the surface characteristics. In order to achieve the proposed objectives, the field research was carried out by installing 10 fixed sensors that recorded hourly temperature data between April and December 2017 and carried out 10 episodes of itinerant survey in August and September of the same year. Data from fixed sensors identified that the highest expression of heat islands was connected with an atmospheric stability sequence. The highest intensities of the urban heat islands were predominantly recorded in the months with the lowest total of rainfall (June, July, August and September), while in the daily cycle the highest intensities were nocturnal. It was also noted that, predominantly, the highest intensities were related to LCZs characteristic of urban areas, LCZ 3, LCZ 3B, LCZ 34 and LCZ 7, all compact and with little or no vegetation. The lowest intensities were detected in LCZ 9, relative to the rural area and LCZ 6, with spaced constructions and tree with undergrowth. The data obtained with the transects made it possible to identify and delimit areas where urban heat islands (ICU) occurred and areas considered as temperature reducers (ART). Most of the ICUs were presented in areas with a high degree of constructive densification, while the ARTs were connected to the presence of vegetation and water and relief slope. Finally, through the spatial modeling of the urban heat island, the LCZs, relief, vegetation and measured temperatures were integrated in order to propose a synthesis map for future planning. This mapping reinforced the pattern diagnosed in the analysis of spatiotemporal panels and transects profiles (ICUs and ARTs) with higher intensities related to LCZs characteristic of urban areas, LCZ 3, LCZ 3B, LCZ 34 and LCZ 7, while the smaller ones were detected in rural or less building LCZs such as: LCZ 9, LCZ 6, LCZ B and LCZ D. In this sense, even though it is a descriptive-analytical approach to urban heat islands, the model resulted in a document summarizing the Jundiaí intraurban temperatures, the main objective of the thesis, which can be used by the public authorities in management and planning policies and to assist in process of urban territorial expansion of Jundiaí.

Keywords: Urban climate. Urban heat islands. Local Climate Zones. Jundiaí/SP.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o entendimento das questões relacionadas ao clima e, principalmente ao regime climático, foi e é uma constante na sobrevivência humana e faz parte do planejamento, tanto no âmbito rural (direcionado à agropecuária) como no urbano (focado na organização do espaço urbano, principalmente no que se refere ao ordenamento de uso e ocupação da terra). Neste sentido, o clima tem sido objeto de estudo do Homem através dos tempos.

A alteração climática em ambientes urbanos está posta desde o século XIX com o estudo realizado por Howard (1833) sobre o clima de Londres. Deste modo, os estudos sobre clima urbano são muito importantes na medida em que cada vez mais as pessoas estão vivendo nas cidades. Em escala planetária mais da metade da população habita em áreas urbanas.

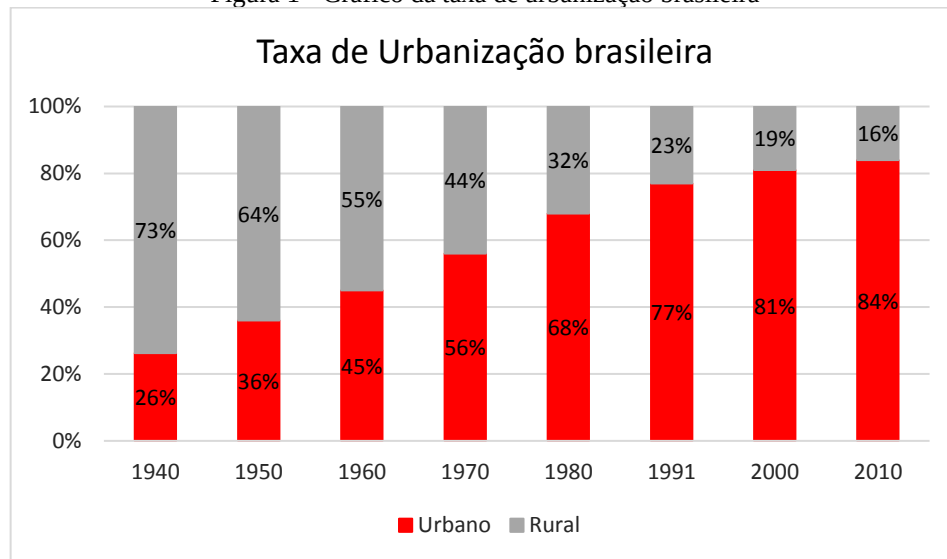
O aumento da urbanização não é uma tendência nova, em 1990, 43% (2,3 bilhões) da população mundial vivia em áreas urbanas e em 2015 o número cresceu para 54% (4 bilhões) (ONU-HABITAT, 2016)¹. A previsão é de que até 2030 esse número atinja, aproximadamente, 5 bilhões de pessoas, ou seja, 60% da humanidade (UNFPA, 2015).

No Brasil, a partir dos anos 1940-1950, a industrialização foi a grande impulsionadora do aumento da população urbana. Santos (1993) salienta que o termo *industrialização* não se aplica em seu sentido estrito, mas sim deve ser entendido como um processo social complexo que estimula não somente a “fabricação”, mas sim o consumo e a formação de um mercado nacional e integrado, incentivando as relações comerciais e a própria urbanização. Neste sentido, a industrialização fortaleceu a mecanização da agricultura, a monocultura e as cidades, através, principalmente, das oportunidades de consumo, passaram a ser os grandes polos receptores da população nacional.

Com base em Santos (1993) verifica-se que de 1960 a 1980 as cidades brasileiras ganharam em torno de cinquenta milhões de novos habitantes, ou seja, um número quase igual à população total em 1950. Interessante destacar que entre 1980 e 1990 a população do país se elevou 26%, enquanto a população urbana aumentou mais de 40%, ou seja, desde 1960 o Brasil passa por um processo de urbanização (Figura 1) atingindo em 2010, a taxa 84,4%. Deste modo, verifica-se que o crescimento da população urbana no Brasil foi 50,1% em 60 anos.

¹ Relatório Mundial das Cidades 2016: Urbanização e Desenvolvimento: Futuros Emergentes. Disponível em: <<http://cdn.plataformaurbana.cl/wp-content/uploads/2016/06/wcr-full-report-2016.pdf>>, acesso em: 20 out. 17.

Figura 1 - Gráfico da taxa de urbanização brasileira



Fonte: IBGE – Censo Demográfico 2000; Censo Demográfico 2010

Sendo assim, a acelerada urbanização a partir dos anos de 1960 deixou marcas ambientais e sociais nas cidades, nas quais muitas vezes são evidentes a falta de planejamento e a expansão territorial de forma inadequada, afetando diretamente o cotidiano dos cidadãos. Muitos são os indicadores considerados quando se busca avaliar a qualidade ambiental urbana, sendo um deles, a geração de um clima diferenciado nas cidades, mais especificamente a distribuição das temperaturas nos diferentes espaços intraurbanos em relação ao rural próximo. A importância do estudo desta temática está relacionada com o conforto/desconforto térmico, problemas relacionados à saúde, além de ser entendido como um indicador de exclusão social e espacial (AMORIM, DUBREUIL, QUENOL, SANT'ANNA NETO, 2009).

Aspectos como a rugosidade, a retirada de vegetação arbórea, a densidade de construções e edificações e a geometria do traçado urbano, além das funções econômicas e sociais desenvolvidas no local, podem ser fatores determinantes na geração do clima urbano, uma vez que modificam o equilíbrio entre a superfície e a atmosfera, afetando assim, o funcionamento dos componentes climáticos (ARNFIELD, 2003; AMORIM, 2000, 2010; MENDONÇA e DUBREUIL, 2005).

Destaca-se que tanto a transformação da paisagem quanto as atividades associadas às zonas urbanas têm alterado a atmosfera na escala local, especialmente o clima abaixo dos edifícios (*canopy layer*) e também na camada acima do dossel urbano (*boundary layer*) (OKE, 1978).

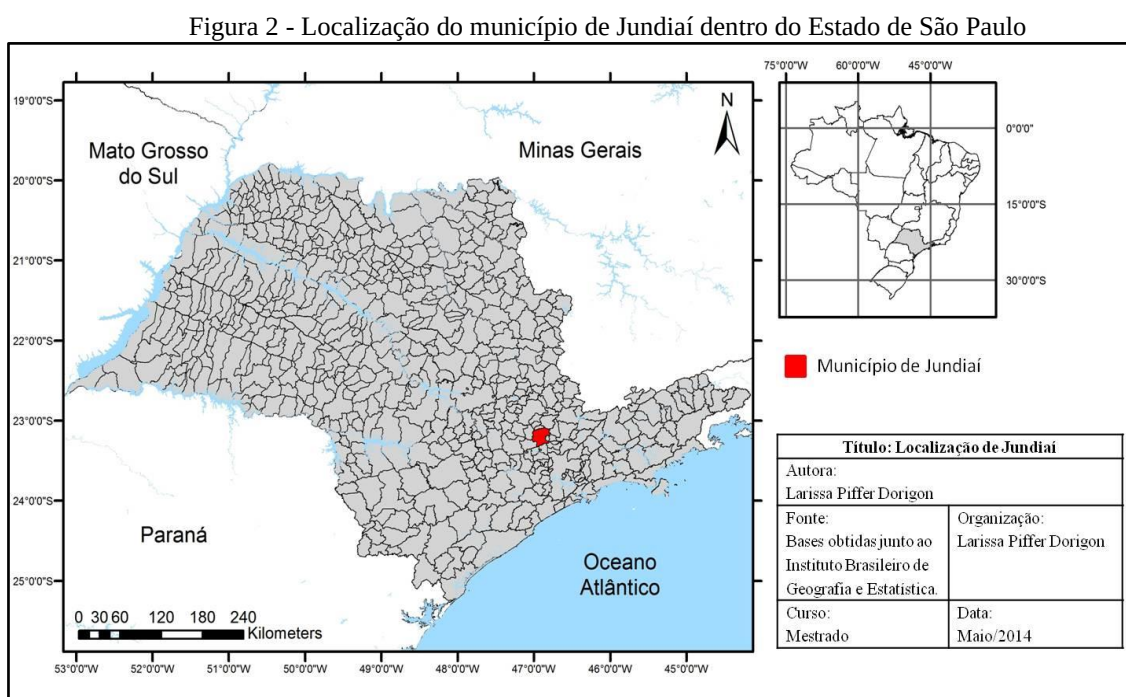
Monteiro (1976, p. 95) conceituou o clima urbano como sendo “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”, esclarecendo que este será diferenciado

para cada ambiente urbanizado, visto que as cidades, ou até mesmo seus espaços intraurbanos, são distintos em suas características naturais (relevo, vegetação, etc.) e urbanas (material construtivo, densidade de construções, verticalização, entre outros).

Os materiais utilizados nas construções e a cobertura vegetal, especialmente a arbórea, são considerados fatores essenciais na identificação das temperaturas das cidades. De acordo com Grimmond (2007), as propriedades radiativas, térmicas e hidráulicas dos materiais de construção se diferem daquelas encontradas no solo, na vegetação e na água, como por exemplos os materiais dos telhados: amianto, cerâmicas, palha, ardósia e aço/ferro ondulado, que possuem diferentes propriedades radiativas (albedo, emissividade) e condutoras (admitância térmica, condutividade), que interferem no processo de absorção e liberação de energia e, diferenciam a intensidade do aquecimento/arrefecimento.

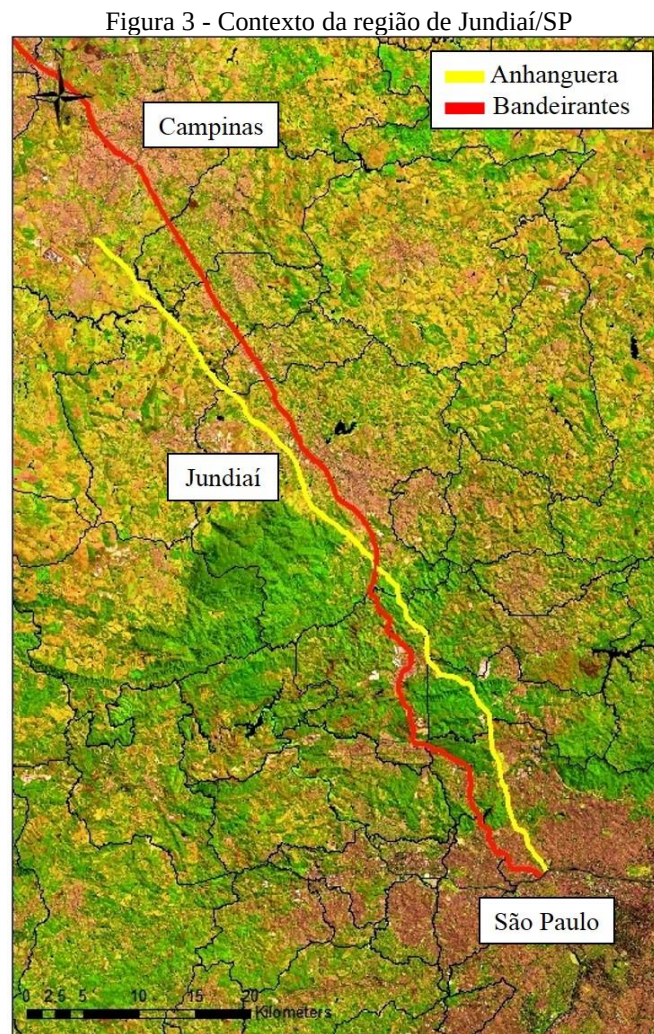
Segundo Mendonça (2003), uma etapa que pode ser considerada basilar na abordagem do clima urbano é a divisão da cidade em partes relativamente homogêneas, ou seja, que contenham características minimamente parecidas. Neste sentido, um procedimento que vem sendo utilizado nos estudos de clima urbano é a classificação de unidades climáticas. Os princípios de classificação são diversos, porém para esta pesquisa optou-se por adotar a metodologia elaborada por Stewart e Oke (2009), Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones*), na qual cada classe é definida segundo a cobertura de superfície e a estrutura urbana.

Nesta pesquisa, tal procedimento foi aplicado em Jundiá, localizada na região sudeste do estado de São Paulo (Figura 2).



O município conta com uma localização geográfica estratégica (Figura 3), entre os dois principais centros consumidores do Estado de São Paulo (Campinas e São Paulo) e possui uma infraestrutura de transportes, principalmente as rodovias Anhanguera e Bandeirantes, que facilita o movimento entre as cidades e reflete no crescimento urbano constante desde 1970.

A descentralização industrial da Região Metropolitana de São Paulo foi um processo que colaborou com o crescimento populacional de Jundiaí, e atualmente, a lógica dos enclaves fechados e da segregação espacial é altamente reconhecida, devido às suas vantagens logísticas, à qualidade de vida oferecida e aos preços de imóveis e terrenos (estima-se que 15-20% mais baixos que os similares em São Paulo) (GOULART e BENTO, 2011).



Fonte: Imagem Landsat 8 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Elaboração: DORIGON, L.P. (2018)

Assim, o aumento populacional e a expansão territorial urbana em Jundiaí apesar de contar com medidas de planejamento urbano e ambiental estruturadas, como, por exemplo, o zoneamento territorial, a delimitação de remanescentes de vegetação nativa, o mapeamento dos

corpos hídricos e das nascentes, ainda não possui levantamentos quanto às características das temperaturas e da geração de seu clima urbano, por isso o interesse em aprofundar o conhecimento sobre essa temática, além de gerar informações relevantes para o poder público local, o qual apresenta-se bastante interessado em receber conhecimentos acadêmicos aplicáveis.

Somado a isso, tem-se a vivência da pesquisadora que é moradora da cidade e acompanhou parte de processo de crescimento, enquanto cidadina, e consegue criar proximidade com o que Monteiro (1976) apontou como elemento basilar dos estudos de clima urbano, o “adentrar a cidade” e conhecê-la de forma aprofundada e detalhada.

Neste sentido, levantou-se a hipótese de que conhecer o campo térmico de Jundiaí e saber a forma e intensidade das ilhas de calor urbana resulta em informações relevantes a serem inseridas nas ações de planejamento. Acredita-se ainda, que a utilização da metodologia das LCZs facilita a comparação dos resultados obtidos em Jundiaí com outras áreas urbanas na busca de propostas mitigadoras, uma vez que esta proporciona a uniformização e padronização de terminologias referentes aos usos e ocupações da terra.

Para tanto, o objetivo principal desta pesquisa foi diagnosticar o campo térmico da cidade de Jundiaí/SP e elaborar uma análise síntese, apresentando as intensidades de ilhas de calor em relação as características de superfície. Como objetivos específicos, tem-se:

- a. Analisar a influência dos elementos físicos e urbanos, que formam as diferentes paisagens da cidade, em relação as ilhas de calor;
- b. Compreender o padrão de intensidade e espacialização das ilhas de calor em Jundiaí/SP.
- c. Contribuir para a discussão sobre a classificação climática urbana, em especial a metodologia das Zonas Climáticas Locais;
- d. Integrar as informações obtidas através da correlação entre as LCZs e as temperaturas medidas, a fim de propor um mapa síntese para futuro planejamento.

Sendo assim, a tese foi estruturada e organizada em 9 capítulos, iniciando com a apresentação da hipótese e dos objetivos, passando pelo referencial teórico que embasou a discussão, apresentou-se também as ferramentas e técnicas para atingir os objetivos, na sequência abordou-se os resultados obtidos e por fim, foram tecidas considerações sobre as análises realizadas e o padrão identificado.

2 O CLIMA DAS CIDADES

Atualmente a urbanização tem desempenhado um papel importante no desenvolvimento e modernização dos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, sendo que muitas vezes a expansão territorial urbana é entendida como sinônimo de desenvolvimento ou de progresso do mundo moderno, opondo-se ao “retrocesso” ou ao “atraso” representado pelo ambiente rural (CUI e SHI, 2012; FIALHO, 2012).

Apesar de, aparentemente, a urbanização ter acelerado o desenvolvimento econômico, social e tecnológico, junto a ela criou-se também inúmeras questões e/ou problemas ambientais. A modificação gradual da estrutura física das cidades, associada ao crescimento populacional e as atividades desenvolvidas, afetam as condições naturais, como a água, o solo e o ar (REN et al., 2007; FIALHO, 2012).

O clima é uma variável dessa teia de relações que afeta o rearranjo do ambiente urbano, ou seja, considera-se o clima urbano como um conjunto complexo construído a partir da inter-relação entre as atividades naturais e os fenômenos urbanos (HACK, 2002). Compreende-se então, que a produção do clima das cidades é derivada da reorganização da paisagem natural, em que há a substituição por um ambiente construído, palco de intensas atividades humanas.

As principais especificidades urbanas que são responsáveis pela geração de um clima diferenciado nas cidades são as construções, os tipos de materiais, o traçado das ruas, a circulação de veículos, as indústrias e as atividades humanas. Importante destacar que o ambiente rural também sofreu transformações e substituições de superfícies ao longo dos anos, porém nas cidades os efeitos do ar comprometidos são sentidos de maneira mais intensa (AMORIM, 2000).

Chandler (1965) expõe que o clima urbano é consequência da substituição dos materiais rurais (campo, fazendas e florestas) por materiais urbanos (tijolo, concreto e vidro). Segundo o autor, ao fazer essa modificação da paisagem, o homem afeta a troca aerodinâmica, térmica e hidrológica local, e consequentemente altera profundamente as propriedades meteorológicas dentro e acima das áreas urbanas.

Sendo o clima urbano resultado da relação entre o clima regional e a urbanização local, este será específico para cada ambiente urbanizado, uma vez que as cidades se diferem de acordo com suas características naturais, (geomorfologia, direção predominante dos ventos, etc.) e suas características urbanas, (tipo e cor dos materiais utilizados nas edificações, densidades de construções, pavimentação, verticalização, presença de áreas verdes e arborização nas calçadas e fundos de quintais, etc.). Quanto a sua classificação, o clima urbano

é concebido por Monteiro como um mesoclima inserido no macroclima regional, e que sofre influências microclimáticas provenientes das características superficiais dos espaços urbanos.

Sant’Anna Neto (2013), transpôs as escalas climáticas para uma abordagem geográfica e, a fim de facilitar o entendimento, formulou três níveis de análises espaciais: global ou zonal, regional e local. No conjunto das escalas inferiores, o qual se aborda nesta pesquisa, encontram-se os climas locais, subdividido em mesoclima, topoclima e microclima. Segundo Sant’Anna Neto (2013), esta dimensão escalar (local), ao longo do tempo, tem se tornado cada vez mais complexa, porque na medida em que os espaços naturais são transformados ou produzidos, as características climáticas têm sua dinâmica e seus ciclos ocorrendo em velocidades variadas. Ou seja, nesta escala com dimensão espacial reduzida, são encontrados maiores números de elementos, fatores, dinâmicas e processos envolvidos.

O autor ainda acrescenta que “os fatores geográficos do clima assumem, nesta escala, uma importância crescente, uma vez que a rugosidade do relevo, a existência (ou não) de corpos de água e de vegetação é suficientemente latente para exercer influências nas características das células locais dos climas regionais” (SANT’ANNA NETO, 2013, p. 86).

Resumidamente, considera-se que o clima urbano é resultado das modificações da superfície das cidades, ou seja, os materiais e as atividades das áreas urbanas provocam alterações no balanço energético local (LANDSBERG, 1981; OKE, 1987 e ARNFIELD, 2003). O clima urbano também é considerado um sistema complexo, singular à cada localidade, abrangendo profundas alterações nos parâmetros atmosféricos de circulação, turbulência e dispersão do ar, mudanças de temperatura, albedo e armazenamento de calor, além de influenciar a evapotranspiração e o balanço de energia na superfície (MONTEIRO, 1976; TAHA, 1997; KANDA, 2006).

Landsberg (1981) sistematizou os mais importantes componentes e condições climáticas que são modificados no ambiente urbano:

1. A radiação solar global nas cidades é reduzida de 15 a 20% e os raios ultravioletas de 5 a 30%. Também a radiação solar direta é inferior se comparada à área rural;
2. A temperatura média anual e a temperatura mínima de inverno são superiores à área rural cerca de 0,5°C a 1,0°C e 1,0°C a 2,0°C, respectivamente;
3. O fluxo de calor latente (através da evapotranspiração) é maior na área rural, enquanto na cidade o calor sensível é o predominante devido ao calor antropogênico e a maior participação da superfície urbana nos processos de ondas longas, diminuindo o processo de evapotranspiração;

4. A maior concentração de aerossóis nas cidades aumenta em torno de 50 vezes o total de núcleos de condensação, elevando assim a nebulosidade urbana em relação à área rural e natural;
5. A precipitação urbana é relativamente superior (5 a 10%) às das áreas rurais, enquanto a umidade relativa se comporta de maneira inversa (média anual é inferior a 6%);
6. A estrutura e morfologia urbana condicionam a movimentação do ar direcionando e reduzindo (de 10 a 30%) a velocidade do vento;
7. O albedo médio das cidades é de 0,15, enquanto nas áreas rurais é de 0,18 a 0,25 e superior nas áreas.

García (1990), assim como Landsberg, também apontou algumas alterações climáticas produzidas pela urbanização:

- a. A substituição do ambiente natural por diversos tipos de pavimentos, como os sistemas de drenagem urbanos, que permitem um escoamento rápido, provoca uma redução da evaporação e da umidade da superfície e do ar;
- b. As propriedades físicas existentes nos materiais de construção urbanos, que apresenta menores albedos, maior capacidade calorífica e uma boa condutividade térmica, modificam o balanço de radiação urbana e influênciam a temperatura do ar e;
- c. O calor produzido pelas atividades humanas na cidade é um fator importante na modificação do balanço de energia.

Neste sentido, embasado na Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (1973) e na concepção holística de Arthur Koestler, Monteiro (1976), elaborou a proposição teórico-metodológica do Sistema Clima Urbano (SCU), com o objetivo de nortear a elaboração de diagnósticos ambientais/climáticos e para a proposição de ações para a solução dos problemas.

De acordo com Zavattini (2013) após os estudos de Monteiro as pesquisas em climatologia geográfica ganharam dinamicidade e passaram a agregar técnicas que partem do princípio de que o clima de um lugar é fruto das interações estabelecidas entre os elementos climáticos e destes com o meio geográfico, buscando explicações a partir da gênese dos fenômenos climáticos e analisando as consequências de seus impactos sobre o ambiente.

A proposta do SCU é amplamente utilizada por geógrafos nas investigações sobre o clima urbano das cidades brasileiras,

[...] no Brasil, de maneira geral, os estudos do clima nas cidades têm se pautado em adaptações da proposta teórico-metodológica de Monteiro (1976), que considera a inter-relação dos elementos da natureza e da sociedade na perspectiva do Sistema Clima Urbano. Segundo essa concepção, a estrutura interna do Sistema Clima Urbano

não pode ser definida pela superposição ou adição de suas partes (compartimentação ecológica, morfológica, ou funcional urbana), mas por meio da conexão entre elas (AMORIM, 2010, p. 71).

Monteiro classificou sua teoria, o SCU, como um sistema complexo, aberto e adaptativo, que ao receber energia do ambiente (energia solar) a transforma, gerando uma produção excedente que é exportada e retorna ao ambiente local. Lima (2012) destacou que o S.C.U. não pode ser entendido pela sobreposição de suas partes - elementos geoecológicos e geourbanos – mas deve sim ser lido pela conexão delas.

De acordo com o SCU a atmosfera é o *operador* do sistema, enquanto o homem é o *operando*, ou seja, não somente os fatores externos são geradores de energia, mas também o homem e a dinâmica criada no espaço urbano são fatores a serem considerados, tornando assim, o Sistema Clima Urbano passível de auto regulação.

O Sistema Clima Urbano possui uma resultante que pressupõe elementos que caracterizam a participação urbana no desenvolvimento do sistema. De acordo com a percepção humana e a avaliação social e coletiva, Monteiro propôs três canais de percepção humana. Estes canais são: *Conforto Térmico*, *Qualidade do Ar* e *Impacto Meteorológico*, cada um deles ligado a um subsistema do SCU, *Termodinâmico*, *Físico-Químico*, e *Hidrometeorológico*, respectivamente.

Sinteticamente, o primeiro canal I (Conforto Térmico) compreende os distúrbios ligados ao conforto/desconforto térmico, que estão diretamente relacionados à temperatura, umidade, precipitação e ventilação intraurbana. O canal II (Qualidade do ar) considera as investigações sobre as condições de qualidade do ar presente na atmosfera urbana e o canal III (Impacto Meteorológico), tem foco nas manifestações do impacto meteorológico na superfície urbana, ou seja, como a precipitação afeta as condições de vida dos cidadãos.

Nesta tese, que tem como objetivo maior analisar a geração das ilhas de calor urbanas em Jundiaí, o enfoque é o Subsistema Termodinâmico, Canal do Conforto.

Segundo Monteiro (1976, p. 126),

Dentro do esquema do S.C.U., esse canal atravessa toda a estrutura, pois que o insumo básico, é transformado na cidade e pressupõe uma produção fundamental no balanço de energia líquida no sistema. O uso do solo, a morfologia urbana, bem como as funções estão intimamente implicados no processo de transformação e produção.

Neste sentido, a proposta de Monteiro afirma que a fonte do subsistema termodinâmico é a radiação solar que ao sofrer transformações constantes no sistema gera produtos, como as ilhas de calor, que provocam efeitos diretos no desconforto térmico.

Cabe apresentar aqui, brevemente, as premissas dos estudos sobre clima urbano e como estes foram iniciados e mostrar alguns exemplos de como se encontram nas últimas décadas.

2.1 Os estudos sobre os climas das cidades: dos clássicos aos atuais

Desde o século XIX as preocupações com a atmosfera nos ambientes urbanos são objetos de pesquisas acadêmicas e científicas. O primeiro estudo mais sistematizado foi elaborado pelo químico Howard que discutiu sobre o clima gerado na cidade de Londres em 1833. Neste estudo foram analisados os contrastes meteorológicos entre a metrópole e vários lugares em torno dela. As alterações encontradas foram atribuídas à poluição produzida pela queima de carvão, o que provocava o aumento na temperatura da cidade (MONTEIRO, 1976).

Segundo Monteiro (1976, p. 54), “daí para cá as preocupações e os estudos se multiplicaram, a princípio nas cidades industrializadas da Europa ocidental, passando depois para a América do Norte”, uma vez que o crescimento populacional foi acelerado nas metrópoles, e a atmosfera,

[...] passou a ser reconhecida como um recurso vital básico e o clima, pela própria dinâmica de sua essência física, como um insumidor energético ativando o ambiente por suas variações temporais, através de suas associações com os demais componentes naturais, ajudando a definir a estrutura do espaço ambiente e sua organização funcional (MONTEIRO, 1976, p.10).

Dentre os estudos clássicos internacionais sobre esse tema, cabe ressaltar os realizados por Chandler (1965) e Landsberg (1981). Chandler (1975) realizou um novo estudo em Londres, mais especificamente em seu espaço intraurbano. A conclusão encontrada foi que a cidade modifica o clima devido às alterações na superfície, através do aumento na temperatura, aumento na quantidade de precipitação e mudanças na ventilação e na umidade.

Landsberg (1981) analisou as alterações na temperatura, umidade relativa, precipitação e o contato do vento com a área urbana. O autor esclareceu que as cidades agregam modificações climáticas suficientes para gerar um clima local, no entanto não conseguiu estabelecer, naquele momento, o ponto de concentração populacional ou densidade de edificações em que essas transformações climáticas ocorreriam.

Praticamente 10 anos após o trabalho de Landsberg, Oke (1978) apresentou sua importante obra *Boundary Layer climates* que, atualmente ainda é referência nos estudos sobre clima urbano. O autor, neste livro, apresenta os processos ocorridos na atmosfera próxima à

superfície a partir de uma abordagem física da atmosfera superior e apresenta os ambientes urbanos com base nas propriedades físicas de radiação, umidade e aerodinâmica. É nesta obra que o autor destaca as duas camadas que se formam sobre as cidades, *urban boundary layer* e *urban canopy-layer*, amplamente utilizadas e que serão abordadas detalhadamente nos próximos tópicos.

Mais recentemente, a partir da década de 2000 o destaque está sendo dado para trabalhos produzidos através de SIGs e sensoriamento remoto, principalmente na Europa, Estados Unidos, Canadá e Ásia (com destaque para a China). O foco destas pesquisas são as informações obtidas com as bandas dos sensores termais em relação à cobertura da superfície (WENG, 2003; VOOGT e OKE, 2003; CHEN et al., 2006).

No Brasil as discussões sobre clima urbano iniciaram-se com Monteiro (1976), quando a sua preocupação com a qualidade ambiental brasileira e a ação antrópica negativa sobre o ambiente climático fizeram com que ele criasse uma nova abordagem metodológica para os estudos de clima urbano, gerando assim, a sua obra Teoria e Clima Urbano.

Diante das muitas pesquisas desenvolvidas após a proposta teórica de Monteiro, cabe destacar três obras específicas, devido a suas características inovadoras e a importância no campo da climatologia urbana, no que diz respeito às diferenças de temperatura e umidade nas cidades, visto que este é o foco desta pesquisa.

A primeira foi o trabalho de Lombardo (1985) que tendo como área de estudo a cidade de São Paulo, analisou a ilha de calor através do sensoriamento remoto e de medidas da atmosfera. A autora se utilizou de satélites meteorológicos como NOAA e TIROS-N, além do Landsat 3 e 5 para o mapeamento da ilha de calor urbana relacionando a temperatura com o uso do solo e foi a pioneira neste tipo de estudo no Brasil.

Outra pesquisa também bastante importante foi a de Mendonça (1994) que realizou o estudo do clima urbano da cidade de Londrina e, de forma geral, propôs uma metodologia para os estudos do campo termo-higrométrico para cidades de pequeno e médio porte.

Amorim (2000, 2017), ainda percorrendo sobre cidades de médio porte, demonstrou a existência de um clima específico na cidade de Presidente Prudente, sendo que o tipo de ocupação do solo associado à densidade de arborização, altitude e exposição de vertentes, revelaram-se como fatores explicativos para a compreensão das anomalias da temperatura e umidade relativa encontradas.

Diversas produções acadêmicas e científicas em nível de mestrado e doutorado foram realizadas na FCT/Unesp sobre o clima das cidades de pequeno e médio porte. Já foram

concluídos trabalhos sobre Nova Andradina (LIMA, 2011); Penápolis (UGEDA Jr., 2012; MOREIRA, 2016), Araçatuba (MINAKI, 2014); Presidente Prudente (CARDOSO, 2015); São Carlos e Marília (RAMPAZZO, 2015); Rancharia (TEIXEIRA, 2015); Assis, Cândido Mota, Maracaí e Tarumã (PORANGABA, 2015); Paranaíba (DORIGON, 2015); Londrina (MENDONÇA, 2015), além de outros que estão em andamento.

Dumke (2007) realizou um estudo no qual analisou o clima e o conforto térmico em relação às desigualdades socioespaciais encontradas no Aglomerado Urbano da Região Metropolitana de Curitiba. A partir da cartografia dos elementos do sítio, dos usos e ocupações da terra, da distribuição socioespacial das habitações, além da coleta de valores de temperatura e umidade relativa do ar e da termografia da superfície, identificou-se a existência de um desconforto térmico para o frio nos espaços em que as parcelas de população menos favorecidas se estabeleceram.

Fialho (2009) elencou três escalas para observação e mensuração do clima urbano em Viçosa, através de transectos móveis. No primeiro nível de análise, 1:100.000, o autor buscou levantar as diferenças existentes entre o urbano e o rural, abordando assim, a dinâmica de perda de temperatura do campo e da cidade ao longo da noite e da madrugada. No segundo nível escalar, que se refere ao meio intraurbano (1:15000), foi investigado a interferência dos diferentes tipos de uso da terra e da topografia sobre o campo térmico da cidade. Já o terceiro e último plano escalar, se refere ao nível da área central (1:10000), objetivou identificar se existia ou não correspondência entre a localização dos núcleos de calor e as atividades humanas (comerciais e locais de pico de trânsito). Como resultado principal de sua tese, Fialho (2009) conclui que em Viçosa foi possível identificar ilhas de calor, principalmente no período noturno.

Nota-se então, que muito vem sendo produzido sobre este tema, tendo em âmbito internacional uma revista especializada na temática, a *Urban Climate*² com 4 publicações anuais desde 2012, num total de 26 volumes. Também tem destaque a Conferência Internacional de Clima Urbano (*International Conference on Urban Climate*), que teve sua 10ª edição realizada em Nova Iorque em 2018 e contemplou apresentações de trabalhos em formato de painel e oral, além de palestras de renomados pesquisadores, demonstrando assim, a importância que a temática vem recebendo no âmbito acadêmico.

² Além desta especializada, muitas outras também publicam artigos relacionados a temáticas, periódicos focados em geografia, climatologia, arquitetura, sensoriamento remoto, entre outros.

No Brasil dá-se destaque a Revista Brasileira de Climatologia e ao Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, como sendo os dois meios mais especializados de divulgação de pesquisas em clima urbano, no entanto, muitos outros também apresentam especial atenção à temática.

Ao analisar as publicações realizadas nestes dois meios, é notório que o clima urbano tem ganhado espaço no meio científico brasileiro, especialmente as pesquisas sobre ilhas de calor urbanas, dentro do canal de percepção do Conforto Térmico, porém ainda são poucos os trabalhos brasileiros que buscam fazer essa análise através da classificação dos climas das cidades, como se propõe nesta pesquisa. Até a XII edição do SBCG, nenhum trabalho teve esse enfoque e somente 3 artigos publicados na Revista Brasileira de Climatologia abordaram esse tema.

Collischonn e Mattos (2011) publicaram o artigo “Classificação de ambientes termicamente homogêneos para estudos de clima na camada do dossel urbano –metodologia e aplicação à cidade de Pelotas/RS”. A proposta do trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre as classificações de unidades climáticas urbanas, em especial sobre a proposta de Stewart e Oke (2009) – Zonas climáticas locais (*Local Climate Zones* – LCZ) - e então, foram feitas adaptações para se realizar a classificação para o perímetro urbano de Pelotas. A partir de imagens Ikonos II –PSM de alta resolução foi elaborado um mapa com as Potenciais Unidades Climáticas (baseadas nas *Local Climate Zones*) e pode-se tecer considerações a respeito das ilhas de calor ali detectadas.

Machado e Assis (2017) publicaram um artigo no qual apresentaram uma proposta metodológica de mapeamento de unidades topoclimáticas. Estas unidades foram delimitadas através de análise multicritérios em ambiente SIG a partir das relações existentes entre as características geoecológicas e o comportamento atmosférico local. As variáveis utilizadas foram radiação solar, temperatura do ar, uso e ocupação do solo, umidade relativa do ar e altimetria. Ao final foram determinadas sete unidades topoclimáticas e uma topoclima de transição.

Assis e Ferreira (2018) elaboraram um estudo sobre o zoneamento térmico relacionado aos padrões de uso e ocupação da terra e a temperatura na região central de Juiz de Fora/MG. O resultado do cruzamento entre as variáveis hipsometria, albedo, edificação, vegetação, hidrografia, temperatura e sensação térmica resultaram em dois mapas com classes distintas, um referente ao conforto térmico durante o dia e outro durante a noite.

Vale destacar que fora desses meios de divulgação, Cardoso (2015) e Anjos (2017) elaboraram seus trabalhos de conclusão de mestrado e doutorado, respectivamente a partir das LCZs. Cardoso (2015) apresentou um mapa de Potenciais Unidades Climáticas de Presidente Prudente que foi elaborado segundo a proposta de Stewart e Oke (2009) e teceu considerações sobre as ilhas de calor na cidade. Anjos (2017) defendeu sua tese de doutoramento pela Universidade de Lisboa e elaborou propostas de planejamento climático para a cidade de Aracajú, utilizando as LCZs como base para a caracterização de uso e ocupação da terra.

Na literatura internacional a utilização das LCZs é bastante difundida em trabalhos que buscam compreender as ilhas de calor de urbanas. Seja através da correlação entre os as características de uso e ocupação da terra e as temperaturas locais (do ar ou superficiais) (MIDDEL et al., 2014; NG, 2015; ZHONGLI e HANQIU, 2016; KOTHARKAR e BAGADE, 2018; MADUREIRA et al, 2018; MONTEIRO et al, 2018), seja pela elaboração de modelos para a compreensão do fenômeno (FOISSARD, 2015), além do desenvolvimento de novas tecnologias e a utilização de imagens de satélite para o aprimoramento da identificação das LCZs (BECHTEL, 2011; BECHTEL et al., 2016; XU, 2017; WANG et al., 2018).

Estes trabalhos abordam diferentes áreas urbanas em contextos climáticos variados ao redor do mundo, como, por exemplo, o estudo de Stevan et al. (2013), na cidade de Novi Sad/Servia; Perera et al. (2012) em Colombo/Sri Lanka; Ng (2015) em Singapura; muitos elaborados para cidades europeias, por exemplo: Geletič (2016); Houeta e Pigeonb (2011); Lehnert et al. (2015); Monteiro e Velho (2014); Madureira et al. (2017), além dos estudos realizados na América do Norte (MIDDEL et al., 2014; STEWART e OKE (2014) e na Ásia, especialmente na China (WANG, 2008; ZHONGLI e HANQIU, 2016; CAI et al., 2018).

Neste sentido, nota-se que internacionalmente as LCZs já são bastante difundidas e utilizadas, porém em âmbito nacional poucas são as pesquisas que empregam a metodologia, buscando compreender a formação das ilhas de calor através de uma padronização de classificação de usos e coberturas da terra.

2.2 As Ilhas de Calor Urbanas

Atualmente a resposta climática mais reconhecida causada pelo desenvolvimento /crescimento urbano é o fenômeno das ilhas de calor, ou seja, o calor característico de um determinado local em comparação com o seu entorno próximo (MONTEIRO, 1976; AMORIM, 2000 e 2017; LIN AND YU, 2005; REN et al., 2007; YAN et al., 2010; REN e ZHOU, 2014).

Para elucidar o que são as ilhas de calor urbanas deve-se compreender que as propriedades das pavimentações e dos materiais de construções utilizados nas edificações urbanas tendem a reter calor durante o dia, e liberá-lo mais lentamente no decorrer do período noturno, contribuindo para o rápido aumento da temperatura diurna e a lenta redução térmica noturna. Esse fenômeno é denominado ilhas de calor e sua formação é típica de áreas de concentração de atividades humanas com grande liberação de energia, como as indústrias potencialmente poluidoras (ARNFIELD, 2003; OKE, 1978; VOOGT e OKE, 2003).

La isla de calor o isla térmica urbana consiste en que las ciudades suelen ser, especialmente de noche, más cálidas que el medio rural o menos urbanizado que las rodea. Singularmente, el área urbana que presenta temperaturas más elevadas suele coincidir con el centro de las ciudades, allí donde las construcciones y edificios forman un conjunto denso y compacto (...) (GARCÍA, 1991, p.47).

As ilhas de calor alteram o ambiente físico, por exemplo, a produção primária líquida de energia, a biodiversidade, a qualidade da água e do ar, além de afetar o clima local (ARNFIELD, 2003; DIXON e MOTE, 2003; SHEPHERD, 2005) e a saúde humana com o aumento da morbidade, mortalidade, e desconforto térmico (ZHOU et al., 2014).

Essa anomalia térmica tem sido observada desde o século XX, sendo um dos fenômenos climatológicos urbanos mais estudados. Como aponta Polizel (2009), as ilhas de calor podem ser observadas em várias escalas, desde áreas pequenas (nos arredores de um edifício, no meio de uma avenida) passando por áreas maiores (em um bairro), podendo ser notadas também em escalas regionais (vários bairros ou zonas) ou até mesmo na cidade como um todo. Neste sentido é que Oke (1982) afirma que mesmo em localidades muito pequenas o fenômeno ilha de calor urbana está passivo de ocorrer.

García (1991) expõe que não existe uma causa única para a formação da ilha de calor, este fenômeno é resultante de um conjunto de processos,

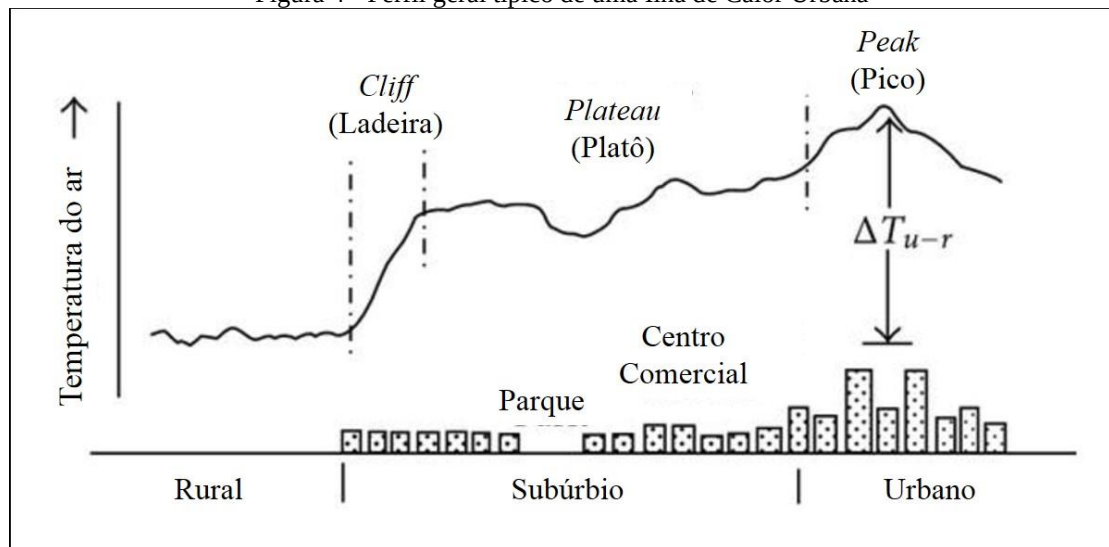
- a) un mayor almacenamiento de calor durante el día en la ciudad, gracias a las propiedades térmicas y caloríficas de los materiales de construcción urbanos, y su devolución a la atmosfera durante la noche;
- b) la producción de calor antropogénico (calefacción, industria, transporte, alumbrado, etc.);
- c) la disminución de la evaporación, debido a la sustitución de la superficie originaria por un suelo pavimentado y a la eficacia de los sistemas de drenaje urbanos (alcantarillado, etc.);
- d) una menor pérdida de calor sensible, debido a la reducción de la velocidad del viento originada por los edificios;
- e) un aumento de la absorción de radiación solar, debido a la captura que produce la singular geometría de calles y edificios, que contribuye a un albedo relativamente bajo;
- f) una disminución de la pérdida de calor durante la noche por irradiación, debido también a las características geométricas de calles e edificios que reducen el factor de

visión del cielo (SVF) y g) un aumento de la radiación de onda larga que es absorbida y reemitida hacia el suelo por la contaminada atmósfera urbana (GARCÍA, 1991, p.47).

Oke (1978) destacou que a característica mais marcante das ilhas de calor é a sua intensidade, medida através da diferença entre a temperatura máxima presente na área urbana e a mínima da área rural.

Este mesmo autor elaborou um perfil, atualmente considerado como clássico, a fim de representar uma ilha de calor típica. No esquema cartesiano ilustrado na Figura 4, observa-se o aumento da intensidade da ilha de calor na medida em que ocorre o deslocamento da área rural para a urbana. Na transição entre o ambiente rural e o suburbano, encontra-se o *Cliff* (ladeira), quando a diferença de temperatura se eleva de forma abrupta. Toda a zona suburbana apresenta temperatura constante sem muitas variações formando o chamado *Plateau*. Já na zona urbana, com maior densidade construtiva, as diferenças se elevam, atingindo o *Peak*, o pico da ilha de calor, onde são registradas as maiores temperaturas.

Figura 4 - Perfil geral típico de uma Ilha de Calor Urbana



Fonte: Oke (1978)

As ilhas de calor são anomalias térmicas com dimensões horizontais, verticais e temporais que podem ser observadas na maioria das cidades, sejam grandes ou pequenas. Suas características estão relacionadas tanto à natureza física das cidades (por exemplo, clima, topografia, vegetação etc.), bem como a influências construídas (como tamanho, densidade do edifício e distribuição do uso da terra) (OKE, 1982).

Gartland (2010) elaborou um quadro síntese (Tabela 1) das características urbanas e suburbanas importantes para a formação de ilhas de calor e seus efeitos no balanço de energia.

Tabela 1 - Características urbanas e suburbanas importantes para a formação de ilhas de calor e seus efeitos no balanço de energia sobre a superfície terrestre.

Características que contribuem para a formação de ilhas de calor	Efeitos sobre o balanço de energia
Falta de vegetação	Reduz evapotranspiração/transpiração
Utilização difundida de superfícies impermeáveis	Reduz evaporação
Maior difusividade térmica dos materiais urbanos	Aumenta o armazenamento de calor
Baixa refletância solar dos materiais urbanos	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que aprisionam o calor	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que diminuem as velocidades dos ventos	Reduz convecção/aumenta turbulência
Aumento dos níveis de poluição	Aumenta saldo de radiação
Aumento da utilização de energia	Aumenta calor antropogênico

Fonte: Adaptado de Gartland (2010, p. 26)

Normalmente as ilhas de calor, em sua maioria, principalmente em ambientes tropicais, são fenômenos noturnos, porém também ocorrem durante o dia com um padrão espacial e temporal fortemente controlado pelas diferentes características de cada área urbana (ESCOURROU, 1991; ELIASSON, 1996; AMORIM, 2000 e 2017).

Os impactos da manifestação das ilhas de calor nos ambientes urbanos são diversos e, especialmente nas cidades tropicais, implicam em efeitos negativos durante todo o ano, já que naturalmente o clima proporciona condições de temperaturas altas constantes. Interessante destacar que as temperaturas urbanas mais elevadas facilitam o aumento da poluição atmosférica, uma vez que as taxas de reações fotoquímicas que produzem poluentes, são otimizadas.

A associação do aumento de temperatura com a poluição atmosférica proporciona problemas que são sentidos pelos cidadãos de diferentes maneiras, iniciando por um leve desconforto térmico até mesmo problemas de saúde (exaustão térmica, dificuldades respiratórias e mesmo, falhas cardiovasculares). Ademais, temperaturas urbanas mais elevadas criam condições preferenciais para o espalhamento de doenças transmitidas por vetores (VOOGT, 2002c).

Em condições sinóticas ideais, com céu claro e vento calmo, ocorre a máxima intensidade da ilha de calor (SANTAMOURIS et al., 2007; AMORIM et al., 2016). Em locais com relevo pouco acidentado, as temperaturas ficam condicionadas a densidade de construção

e arborização, ou seja, temperaturas mais elevadas são encontradas em áreas mais densamente construídas e com pouca vegetação arbórea, ou seja, “horizontalmente há diminuição da temperatura à medida que há a aproximação da zona rural, caracterizada por um gradiente horizontal mais brando, este esquema geral é interrompido por locais quentes e frios associados com densidades de prédios altos e baixos” (AMORIM, 2000, p. 29).

A formação das ilhas de calor é resultado do balanço de energia, que está diretamente relacionado com os aspectos naturais e urbanos. Amorim (2017) elencou três fatores naturais relevantes neste processo, sendo estes: os tipos de tempo, o relevo e a presença de superfícies com vegetação, além de dois outros urbanos: as características dos espaços construídos e as atividades humanas.

✓ **Os tipos de tempo**

Como destacado anteriormente, em condições sinóticas ideais, com céu claro e vento calmo, ocorre a máxima intensidade da ilha de calor. Sendo assim, é notável o desenvolvimento máximo das diferenças térmicas entre o campo e cidade sob efeito dos sistemas atmosféricos estáveis atuantes no Brasil (Tropical Atlântica (Ta), Tropical Continental (Tc), Polar Atlântica (Pa), Polar Tropicalizada (Pt)), enquanto que em condições instáveis (Frente Polar Atlântica, Frente Quente, ZCOU (Zona de Convergência de Umidade), ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e IT (Instabilidade Tropical)), com a presença de vento e/ou precipitação, as características da temperatura tendem a se homogeneizar, impossibilitando a formação das ilhas de calor (AMORIM 2000 e 2017, SANTAMOURIS et al., 2007; DORIGON, 2015; CARDOSO et al., 2016; AMORIM et al., 2016).

✓ **Relevo**

No que se refere ao relevo, dois aspectos são principais: a altitude e a orientação das vertentes. Como observado em Amorim (2005) e Dorigon (2015), áreas mais baixas possibilitam situações de inversão térmica, detectadas principalmente no período noturno, quando o ar mais frio se concentra nos fundos de vale e o mais quente em região com maiores altitudes. No estudo realizado em Paranavaí, Dorigon (2015), detectou a diminuição da temperatura em fundos de vale. Destaca-se que esta pode não ser uma verdade para todos os ambientes urbanos, pois cada sítio possui suas próprias características. Estudos mostram que áreas densamente construídas onde seria esperado temperaturas maiores do que o entorno, muitas vezes, são amenizadas devido as diferenças hipsométricas (AMORIM, 2000).

Para se entender a influência que a orientação das vertentes tem no aquecimento diferenciado de determinado local é necessário compreender que nas áreas subtropicais do hemisfério sul os raios solares atingem a superfície terrestre em um ângulo sempre menor que 90° e que, de acordo com o movimento aparente do sol, as vertentes orientadas para o quadrante norte e oeste recebem intensa insolação a partir do meio dia até metade do período da tarde, momento em que as temperaturas são mais elevadas, por isso, as vertentes norte, nordeste, oeste e noroeste são sempre mais quentes quando comparadas as de outras orientações (DORIGON, 2015).

✓ **Vegetação**

A vegetação desempenha papel importante no clima urbano. Landsberg (1981) em sua "cidade utópica meteorologicamente planejada", *Metutopia*, identificou a vegetação como o principal e primeiro fator de planejamento. De acordo com o autor, a vegetação original deve ser preservada o máximo possível e quando não for, o plantio e a revegetação é obrigatório quando se pretende estruturar uma cidade aos padrões meteorológicos locais.

Segundo Amorim (2005), a cobertura de vegetação arbórea e de outros portes auxilia na melhoria da qualidade da atmosfera por meio da fotossíntese, visto que absorve o dióxido de carbono do ar, armazenando-o para o seu crescimento e lança oxigênio para a atmosfera. Além disso, remove poluentes do ar, tais como, óxido de nitrogênio, óxidos de enxofre e as partículas sólidas em suspensão.

No que concerne ao balanço climático, Carvalho (2001) expõe que a vegetação arbórea é considerada como um dos elementos mais relevantes na morfologia das cidades, devido aos seus efeitos benéficos para o meio ambiente urbano. Ainda segundo a autora, as árvores desempenham importante papel para a manutenção do equilíbrio climático, uma vez que, além de proporcionarem efeito de sombra, também funcionam como filtro quando retiram do ambiente grande quantidade de radiação solar, através da transpiração das folhas, ou seja, quando realizam a evapotranspiração.

A vegetação distribuída nas cidades (jardins, parques urbanos, canteiros de ruas, calçadas, telhados, entre outros) tem a capacidade de reduzir a temperatura do ar através da evapotranspiração, na qual o calor sensível é dissipado na forma de calor latente. Sendo assim, a presença de vegetação em ambientes urbanos é uma estratégia fundamental na mitigação das ilhas de calor e na criação do efeito “oásis” (CHEN e WONG, 2006).

✓ **Espaços construídos e as atividades humanas**

De acordo com Stewart (2011), a estrutura urbana é complexa, com superfícies horizontais e verticais que possuem diferentes capacidades de absorção de radiação solar, influenciando no albedo, no fluxo de ar e no armazenamento de calor. Tais características, principalmente estruturas como asfalto e concreto, armazenam calor durante o dia e liberam lentamente a noite. Em comparação, o ambiente rural tem taxa de resfriamento mais rápida, ou seja, momentos após ao pôr do sol encontra-se mais ameno do que o ambiente urbano.

O albedo é compreendido como a capacidade de reflexão da radiação solar por determinada superfície, ou seja, é a razão entre a radiação refletida pela superfície e a radiação incidente sobre ela. Este é um número adimensional que varia de 0 (nada é refletido) e 1 (tudo é refletido). Assim, uma superfície de albedo 0,5 indica que é capaz de refletir metade da energia solar que incide sobre ela, ou seja, quanto maior o albedo, menor será a temperatura da superfície, devido à reduzida quantidade de energia disponível para gerar calor.

Na cidade, “a mudança na condutividade, na capacidade calorífica e na área superficial são marcantes, de maneira que os materiais armazenam mais energia que o solo natural, agindo como reservatórios de radiação” (BARBIRATO, 2007, p. 76). As tabelas 2 e 3 apresentam as propriedades de albedo e emissividade das principais coberturas encontradas nos ambientes urbanos e rurais, comprovando assim, as mudanças sofridas pela atmosfera próxima à superfície nas cidades.

Tabela 2 - Propriedades radiativas de materiais urbanos

SUPERFÍCIE	ALBEDO	EMISSIVIDADE
1. Ruas com asfalto	0.05 – 0.20	0.95
2. Paredes		
Concreto	0.10 – 0.35	0.71 – 0.90
Tijolos	0.20 – 0.40	0.90 – 0.92
Pedras	0.20 – 0.35	0.85 – 0.95
Madeiras		0.90
3. Telhados		
Piche e Cascalho	0.08 – 0.18	0.92
Telhas	0.10 – 0.35	0.90
Ardósia	0.10	0.90
Sapé – Folhagem	0.15 – 0.20	
Chapa Ondulada	0.10 – 0.16	0.13 – 0.28
4. Janelas		
Vidros claros: zênite		
Ângulo menor 40°	0.8	0.87 – 0.94
Ângulo de 40 a 80°	0.09 – 0.52	0.87 – 0.92
5. Pinturas		
Brancas, Caiadas	0.50 – 0.90	0.85 – 0.95
Vermelha, Marrom, Verde	0.20 – 0.35	0.85 – 0.95

Preta	0.02 – 0.15	0.90 – 0.98
6. Áreas Urbanas		
Variações	0.10 – 0.27	0.85 – 0.96
Médias	0.15	0.95

Fonte: Oke (1978)

Tabela 3 - Propriedades radiativas de materiais rurais

SUPERFÍCIE	ALBEDO	EMISSIVIDADE
1. Solos		
Escuro, Úmido	0.05	0.90
Claro, Seco	0.04	0.90
2. Desertos	0.20 – 0.25	0.84 – 0.9
3. Grama		
Alta (1m)	0.16	0.90
Baixa (0.02m)	0.26	0.95
4. Cultivos, Tundra	0.18 – 0.25	0.90 – 0.99
5. Pomares	0.15 – 0.20	
6. Florestas Decíduas		
Solo nu	0.15	0.97
Abandonadas	0.20	0.98
7. Coníferas	0.05 – 0.15	0.97 – 0.99
8. Água		
Pequeno ângulo Zênite	0.03 – 0.10	0.92 – 0.97
Grande ângulo Zênite	0.10 – 1.00	0.92 – 0.97

Fonte: Oke (1978)

Superfícies que possuem menores valores de albedo e emissividade são as que mais absorvem calor e aquecem o entorno. Já os maiores albedos e emissividades, possibilitam a emissão térmica, diminuindo o calor do entorno (FERREIRA e PRADO, 2003; SANT'ANNA NETO, 2011).

A troca de energia supracitada corresponde ao balanço de energia e, como destacou Amorim (2017), este é característico de cada cidade, visto que depende de uma série de fatores e elementos encontrados na superfície: cor e materiais das edificações, verticalização, densidade construtiva, morfologia urbana, pavimentação, presença de vegetação e/ou corpos hídricos, circulação de veículo e pessoas e indústrias.

Oke (1978) sistematiza o balanço energético superficial através da seguinte equação:

$$Q^* = Q_h + Q_e + Q_g \quad (1)$$

Onde,

Q^* = Balanço de energia da superfície;
 Q_H = Fluxo de calor sensível;
 Q_E = Fluxo de calor latente;
 Q_G = Fluxo de calor no solo.

De forma resumida e didática, entende-se que o calor sensível é a energia dispersa no aquecimento ou resfriamento do ar e é transferido através de fluxos convectivos. Já o calor latente refere-se à energia que é usada na troca, entre a atmosfera e a superfície, para a mudança de estado da água, também transferido por convecção e por fim, o fluxo de calor no solo é identificado como a energia que vai aquecer ou resfriar o solo através de um fluxo condutivo e é dependente das propriedades térmicas dos materiais.

No entanto, esta fórmula é uma estimativa para as superfícies homogêneas e por isso, como a realidade dentro das cidades é completamente diferente, o autor afirma ser necessário acrescentar o armazenamento distinto da energia (ΔQ_s) na equação. Esse termo surge por causa da absorção ou liberação de energia e isto significa que a entrada e/ou saída de pelo menos um dos elementos individuais (Q_h , Q_e e Q_g), não estão equilibradas.

$$Q^* = Q_h + Q_e + Q_g + \Delta Q_s \quad (2)$$

Gartland (2010) expõe esta mesma ideia, porém em outras palavras:

$$\text{Convecção} + \text{Evaporação} + \text{Armazenamento de calor} = \text{calor Antropogênico} + \text{Saldo de radiação}$$

Neste caso, a *Convecção* é a energia transferida da superfície terrestre para o ar acima dela, ou seja, o calor sensível. Já a *Evaporação* é o calor latente, explicitado pela energia transmitida a partir da superfície terrestre em forma de vapor d'água. O *Armazenamento de calor* é o fluxo de calor no solo que depende de duas propriedades físicas dos materiais, a condutividade térmica e a capacidade calorífica, sendo que materiais com maior capacidade de condutividade térmica conduzem o calor para seu interior com maior facilidade, enquanto materiais com alta capacidade calorífica são aptos a armazenar mais calor em suas massas.

Do outro lado da equação, Gartland além do *Saldo de radiação* acrescenta o *Calor antropogênico*, referente ao armazenamento distinto da energia. Este calor é “produzido pelo homem”, gerado pelos edifícios, indústrias, equipamentos ou pessoas e é, geralmente, concentrado nas áreas densamente urbanizadas, podendo ser a influência mais significativa do desequilíbrio da equação.

Apesar de ser compreendida como uma forma de expressar o desequilíbrio energético da superfície, acrescentar o *calor Antropogênico* na segunda parte da fórmula não condiz com a representatividade matemática comum, uma vez que a soma dos fluxos de calor resulta no saldo de radiação e o acréscimo do calor antropogênico, que também é uma forma de fluxo de calor, desequilibra o resultado final. Por isso, propõe-se representar essa fórmula da seguinte maneira:

$$\textbf{Convecção + Evaporação + Armazenamento de calor + calor Antropogênico = Saldo de radiação}$$

Uma aplicação prática no entendimento de como essa equação é alterada de acordo com a artificialização da paisagem urbana, refere-se à diminuição de áreas vegetadas nas cidades, uma vez que o calor latente, ou seja, a energia da evaporação, não tem seu escape imediato, armazenando-se durante todo o dia. No entanto, durante a noite essa energia acumulada é liberada de volta à atmosfera, sobretudo, por meio de emissões radiantes aumentadas e uma menor parte, por meio da convecção aumentada, ou seja, de calor sensível, sendo um dos causadores das Ilhas de Calor noturnas (GARTLAND, 2010).

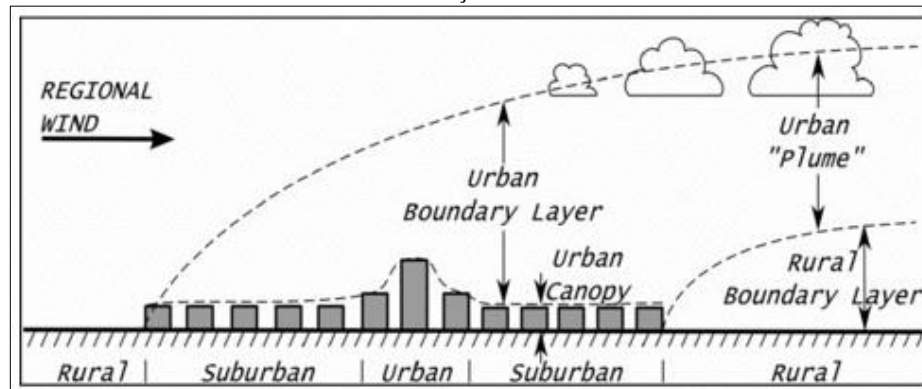
Assim sendo, o processo de urbanização, que resulta em superfícies rugosas, conduz a modificações dos elementos climáticos, como a temperatura, a umidade relativa do ar e a direção e velocidade dos ventos. Neste sentido, os arranjos paisagísticos decorrentes das alterações nas cidades interferem sobre o clima de cada localidade, particularmente na geração das ilhas de calor.

Em geral, a literatura reconhece três tipos de ilha de calor, entendidas como atmosféricas (duas primeiras) e superficiais (terceira): (1) a ilha de calor da camada de dossel urbano (*urban canopy layer*); (2) a ilha de calor da camada limite (*urban boundary layer*) (OKE, 1978) e (3) a ilha de calor superficial.

Segundo Oke (1978) a primeira camada, do dossel urbano (Figura 5), consiste no ar contido entre as rugosidades urbanas (principalmente os edifícios). Nesta camada, o clima é determinado pelas características da superfície (especialmente os materiais construtivos, a forma urbana local e a vegetação). Aplicada à realidade, em locais densamente construídos, esta camada pode ser identificada ao nível do telhado ou logo abaixo dele, assim como em grandes áreas abertas, a camada do dossel pode estar totalmente ausente. É nesta perspectiva que se encontra esta pesquisa, visto que buscou-se compreender a influência urbana na temperatura e umidade relativa do ar em Jundiaí a partir, principalmente, das diferentes formas urbanas e

materiais encontrados na cidade, além da comparação com o ambiente rural, ou seja, grandes espaços abertos, nos quais o ar tem menores índices de comprometimento.

Figura 5 - Representação esquemática da atmosfera urbana ilustrando a classificação das duas camadas de modificação térmica



Fonte: Oke, 1978

Já a segunda camada (camada limite), situada acima da primeira, pode ser entendida na mesoescala, e se estende do nível médio dos telhados até a área de influência da cidade na atmosfera.

O fenômeno ilha de calor é apreendido na distribuição espacial da temperatura e por ser muito oneroso o monitoramento de sua extensão *in situ* (instalação de equipamentos medidores), as técnicas de sensoriamento remoto por infravermelho térmico têm sido utilizadas para avaliar a distribuição das ilhas de calor. Segundo Hu e Brunsell (2013, p. 162, tradução nossa) “O sensoriamento remoto por satélite supera alguns problemas de medições *in situ* geralmente com fontes e coberturas mais amplas e periodicidade estável”.

Os sensores remotos medem a temperatura da superfície, ou seja, a temperatura dos elementos dispostos na superfície (vegetação, telhado, árvores, pavimentação, concreto, etc), ou seja, o sensoriamento remoto térmico é utilizado para observar as ilhas de calor de superfície. Somente os dados obtidos remotamente fornecem uma visão contínua e simultânea de toda a cidade, o que é de suma importância para a investigação detalhada do clima da superfície urbana. Assim como para as ilhas de calor atmosféricas, a sua intensidade também é definida como a diferença entre as temperaturas superficiais urbanas e rurais (VOOGT e OKE, 2003; LISETTE et al., 2012).

Sendo assim, nota-se que é possível fazer aquisição de dados sobre ilhas de calor de diversas maneiras e que o estudo das intensidades do fenômeno requer a relação entre os dados climáticos e as características da superfície. Por isso, a classificação dos usos e ocupações da terra de acordo com os atributos que influenciam diferenças de temperaturas nas cidades é uma

metodologia que vem sendo desenvolvida há algum tempo. A seguir discorre-se sobre a classificação dos climas das cidades.

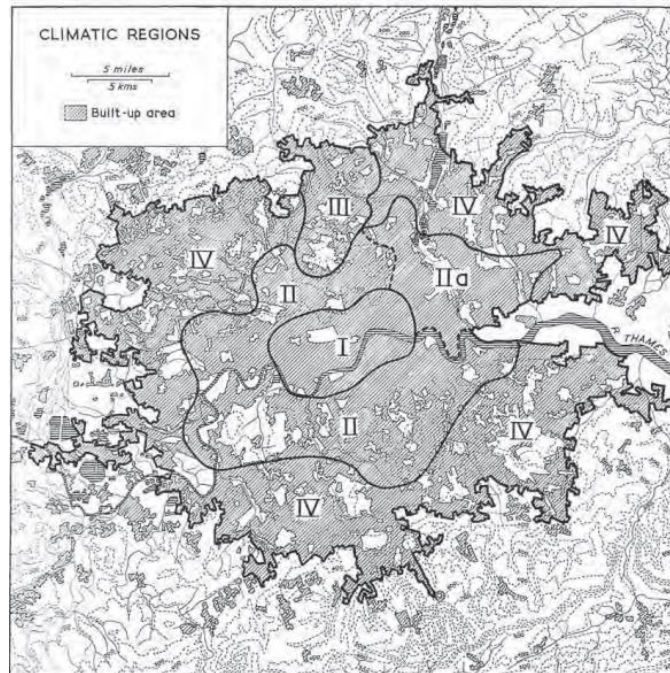
2. 3 A classificação dos climas das cidades

Sabendo que as ilhas de calor, em sua maioria, são aferidas com medições que comparam o ambiente urbano e o rural e a diferença encontrada é considerada a sua intensidade, muitas vezes o fenômeno acaba sendo demasiadamente simplificado, não respondendo a real característica paisagística dos diferentes ambientes urbanos e rurais.

Stewart (2011), elaborou uma proposta de classificação de uso e ocupação da terra, denominado de *Local Climate Zones* (LCZ) ou Zonas Climáticas Locais, no qual cada zona climática é detalhada de acordo com as propriedades encontradas na superfície (altura da rugosidade superficial, fração de superfície impermeável, desempenho térmico, entre outros) e possibilita ultrapassar a dicotomia “rural x urbano” devido a descrição específica de cada LCZ. Nesta tese optou-se pela adoção desta metodologia principalmente pela possibilidade de padronização de estudos sobre o clima urbano, fato que futuramente facilitará o intercâmbio acadêmico dos resultados obtidos.

As classificações de clima urbano se iniciaram em 1965, quando Chandler classificou a área de Londres em regiões de acordo com as alturas, densidades e materiais dos edifícios, além da distribuição de vegetação arbórea, parques e espaços abertos (Figura 6). Assim, o autor conseguiu sintetizar quatro regiões nas quais as paisagens urbanas eram similares: I – Central; II – Suburbanas Internas; III – Suburbanas Externas e; IV – Altas do Norte (STEWART, 2011).

Figura 6 - Regiões climáticas de Londres de acordo com a classificação de Chandler



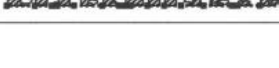
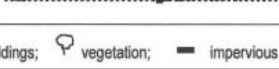
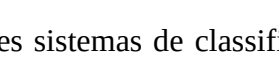
Fonte: Chandler (1965, p. 243)

Auer (1978), propôs um sistema de classificação utilizando critérios de uso da terra e cobertura vegetal e realizou essa classificação para a cidade de St. Louis, nos Estados Unidos. O autor propôs 12 classes na área Metropolitana de St. Louis, das quais 2 (I1 e I2) correspondem ao uso industrial, 1 (C1) ao comércio, 4 (R1, R2, R3 e R4) ao uso residencial e 5 (A1, A2, A3, A4 e A5) a áreas pouco construídas e/ou naturais. Sendo assim, o autor conseguiu, naquele momento, relacionar as anomalias termodinâmicas, cinemáticas e radiativas com as características da superfície de uma forma mais detalhada e específica do que vinha sendo utilizado (centro urbano, comercial, residente).

Já na década de 1990, Ellefsen (1990 e 1991) elaborou um sistema denominado *Urban Terrain Zone* (UTZ) para aplicação na escala do bairro. O autor, baseado nas características da morfologia das construções, na configuração das ruas e nos materiais utilizados, forneceu um inventário completo com esboços da planta e do perfil de cada zona (*apud* STEWART, 2011).

Aprimorando e incorporando novas informações ao sistema proposto por Ellefsen (1990 e 1991), Oke (2006) sistematizou um novo modelo denominado *Urban Climate Zones* (UCZ) ou zonas climáticas urbanas, na qual é avaliada a capacidade urbana de influenciar o clima local. O grande avanço desta classificação foi a inserção do parâmetro “superfícies impermeáveis”, sendo assim, o autor numerou as zonas a partir da UCZ1 (intensamente urbanizada) até UCZ7 (semi-rural) (Figura 7).

Figura 7 - Esquema da classificação *Urban Climate Zones* (UCZ)

Urban Climate Zone, UCZ ¹	Image	Roughness class ²	Aspect ratio ³	% Built (impermeable) ⁴
1. Intensely developed urban with detached close-set high-rise buildings with cladding, e.g. downtown towers		8	> 2	> 90
2. Intensely developed high density urban with 2 – 5 storey, attached or very close-set buildings often of brick or stone, e.g. old city core		7	1.2 – 2.5	> 85
3. Highly developed, medium density urban with row or detached but close-set houses, stores & apartments e.g. urban housing		7	0.5 – 1.5	70
4. Highly developed, low density urban with large low buildings & paved parking, e.g. shopping mall, warehouses		5	0.05 – 0.2	75 – 95
5. Medium development, low density suburban with 1 or 2 storey houses, e.g. suburban housing		6	0.2 – 0.5, up to >1 with tall trees	35 – 65
6. Mixed use with large buildings in open landscape, e.g. institutions such as hospital, university, airport		5	0.1 – 0.5, depends on trees	< 40
7. Semi-rural development with scattered houses in natural or agri-cultural area, e.g. farms, estates		4	> 0.05, depends on trees	< 10

Key to image symbols:  buildings;  vegetation;  impervious ground;  pervious ground

Fonte: Oke (2006)

Ao analisar criticamente estes sistemas de classificações, Stewart (2011) destaca que apesar das muitas vantagens existentes, todos carregam limitações chaves que dificultam a sua utilização. O autor levanta especificamente 4 questões: (1) relevância climática, (2) a representação urbana e rural, (3) nomenclatura, e (4) origem e escopo. Ou seja, somente a classificação de Oke (2006) possui todos os elementos de superfície que influenciam as temperaturas e umidades e resultam em diferenças térmicas. Nenhum dos esquemas possui equilíbrio na representação dos ambientes urbanos e rurais e todas as paisagens rurais não são, ou são pouco elaboradas; os diferentes sistemas utilizam-se de diferentes nomenclaturas, ou seja, não há padronização nos termos, abrindo possibilidades de variações em cada cidade estudada e, por fim, Stewart (2011) afirma que dentre as classificações analisadas nenhuma possui caráter global, mesmo sendo a de Oke (2006) mais abrangente é incerto seu uso em diferentes realidades culturais e econômicas, como, por exemplo, em países subdesenvolvidos, uma vez que bairros e loteamento populares não possuem uma classe específica dentro da UCZ.

Em âmbito nacional são poucas as classificações das cidades voltadas ao clima encontradas na literatura. Podem ser destacados os trabalhos de Brandão e Tarifa (1995), para a cidade do Rio de Janeiro; Tarifa e Armani (2001), na cidade de São Paulo; Jardim (2007),

para áreas urbanas da Bacia Hidrográfica do Rio Aricanduva em São Paulo, além de Fialho (2010), que estudou a Ilha do Governador-RJ.

O trabalho de Brandão e Tarifa (1995) objetivou estabelecer relações entre os aspectos geocológicos do sítio da cidade do Rio de Janeiro e o uso do solo com as ilhas de calor detectadas. A partir de transectos móveis foram levantados dados de temperatura do ar e a partir de interpretação aerofotogramétrica, foram definidos os diferentes tipos de uso do solo, os quais, para facilidade de representação, foram reagrupados em dez classes e calculados os percentuais de participação de cada tipo de uso para todas as áreas amostradas. E então, realizou-se a correlação entre uso e ocupação da terra e intensidades das ilhas de calor.

Tarifa e Armani (2001), como parte do Atlas Ambiental do Município de São Paulo, elaboraram a classificação das unidades climáticas locais naturais e urbanas do município. As unidades naturais foram classificadas de acordo com os principais controles climáticos naturais da região, o Oceano Atlântico, a altitude e o relevo, de acordo com forma e orientação. Sendo assim, foram identificados cinco climas locais naturais, sendo subdivididos de acordo com a necessidade encontrada pelos autores.

No que concerne às unidades climáticas locais urbanas, os autores correlacionaram os controles climáticos urbanos (uso do solo, fluxo de veículos, densidade populacional, densidade das edificações, orientação e altura das edificações, áreas verdes, represas, parques e emissão de poluentes) e os elementos climáticos (temperatura da superfície, do ar, umidade, insolação, radiação solar, qualidade do ar, pluviosidade, ventilação). Foram criadas quatro macro unidades climáticas urbanas com unidades marginais e periféricas de acordo com as diferentes estruturas urbanas encontradas.

Jardim (2007), em sua tese de doutorado, buscou identificar a influência dos fatores geográficos de superfície no padrão da temperatura e umidade relativa do ar em áreas urbanas da Bacia Hidrográfica do Rio Aricanduva em São Paulo. As cartas síntese, com as classificações climáticas, foram elaboradas em associação ao sistema atmosférico atuante, ou seja, além da correlação entre os dados climáticos mensurados e as características da superfície, as cartas também consideram os tipos de tempo. Sendo assim, foram definidas três unidades climáticas: (I) Unidade Climática Urbana do Baixo Vale, (II) Unidade Climática Urbana do Alto Vale e (III) Unidade Climática Urbana do Fundo de Vale (unidade de transição), com as seguintes subdivisões: (Ia) Unidade Climática de Fundo de Vale e (IIa) Unidade Climática de Topos e Encostas.

Fialho (2010) sistematizou unidades climáticas urbanas da Ilha do Governador (RJ) a partir das orientações propostas nos trabalhos anteriormente apresentados por Brandão (1996) e Tarifa e Armani (2001). Com dados obtidos através de transectos móveis o autor elaborou uma carta de unidades topoclimáticas urbanas, a qual integrou as informações climáticas (temperatura, umidade relativa do ar e direção e velocidade do vento) aos fatores geoecológicos (posição geográfica, orientação de vertentes e altitude).

Os trabalhos até aqui apresentados partiram da aglutinação dos fatores urbanos e físicos dos sítios das cidades e as informações climáticas para, então, definirem as classes específicas de cada realidade intraurbana, ou seja, não se apresentou um padrão único de análise e classificação da paisagem, tanto urbana quanto rural. Deste modo, não teve uma abordagem completa ou detalhada e isso gera a dificuldade de aplicabilidade em diferentes lugares.

Para fornecer um sistema de classificação mais completo e abrangente com padronização de nomenclatura e definições, Stewart (2011) estabeleceu um sistema denominado de *Local Climate Zones* (LCZ) ou Zonas Climáticas Locais, o qual será apresentado a seguir.

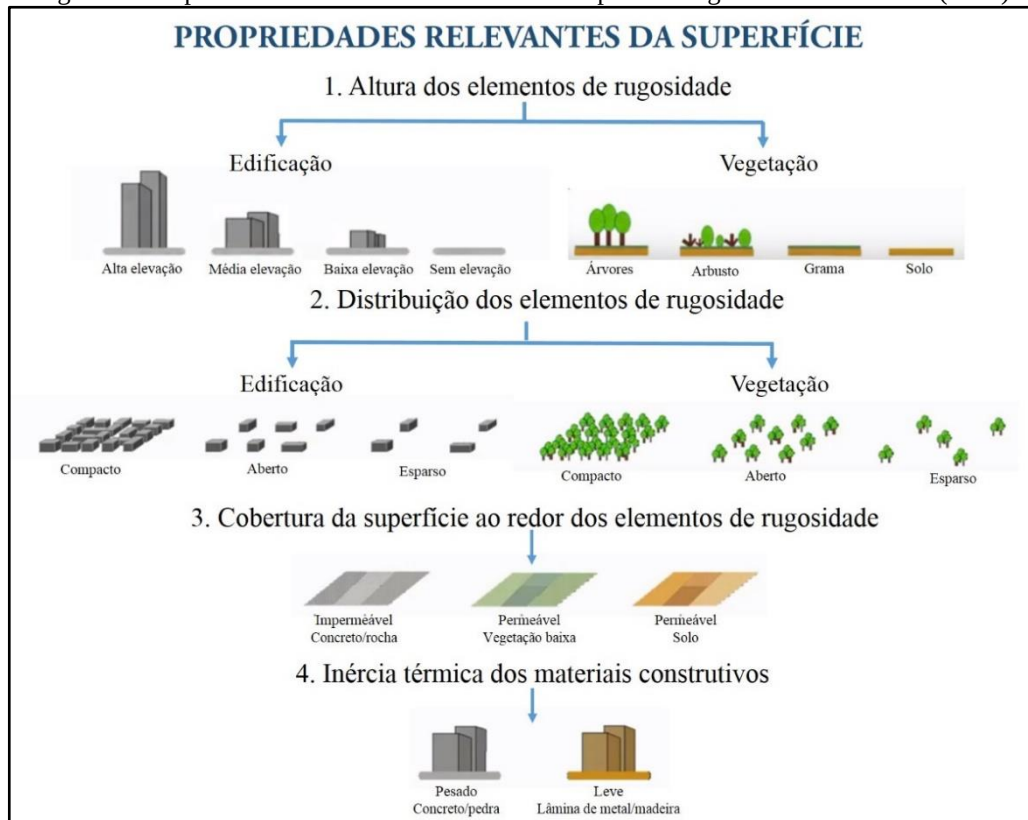
2.3.1 As Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones* - LCZ)

Como dito anteriormente, o propósito do sistema LCZ é melhorar a comunicação entre os investigadores das ilhas de calor, através de um conjunto de classes que descreva as áreas urbanas e rurais de todo o mundo.

Sendo assim, tomando o conceito mais prático de paisagem, definida como uma unidade visível, indicada por fatores naturais, sociais e culturais, Stewart e Oke (2009) criaram uma classificação climática urbana centrada nas propriedades que influenciam o campo térmico do dossel urbano, a *Local Climate Zones* (LCZ) ou Zonas Climáticas Locais.

Os autores distinguem as diferentes paisagens de acordo, inicialmente, com o grau de modificação da superfície, ou seja, o aspecto técnico-cultural se sobrepondo à superfície físico-natural (COLLISCHONN; MATTOS, 2011). Partindo deste princípio e baseados nas duas principais características que influenciam o clima das cidades, morfologia da superfície e cobertura do solo, Stewart e Oke (2009), levantaram quatro propriedades de superfície que são relevantes para os estudos de clima urbano: 1. Altura dos elementos de rugosidade; 2. distribuição dos elementos de rugosidade; 3. cobertura do solo ao redor dos elementos de rugosidade; 4. inércia térmica dos materiais construtivos (Figura 8).

Figura 8 - Propriedades relevantes encontradas na superfície segundo Stewart e Oke (2009)

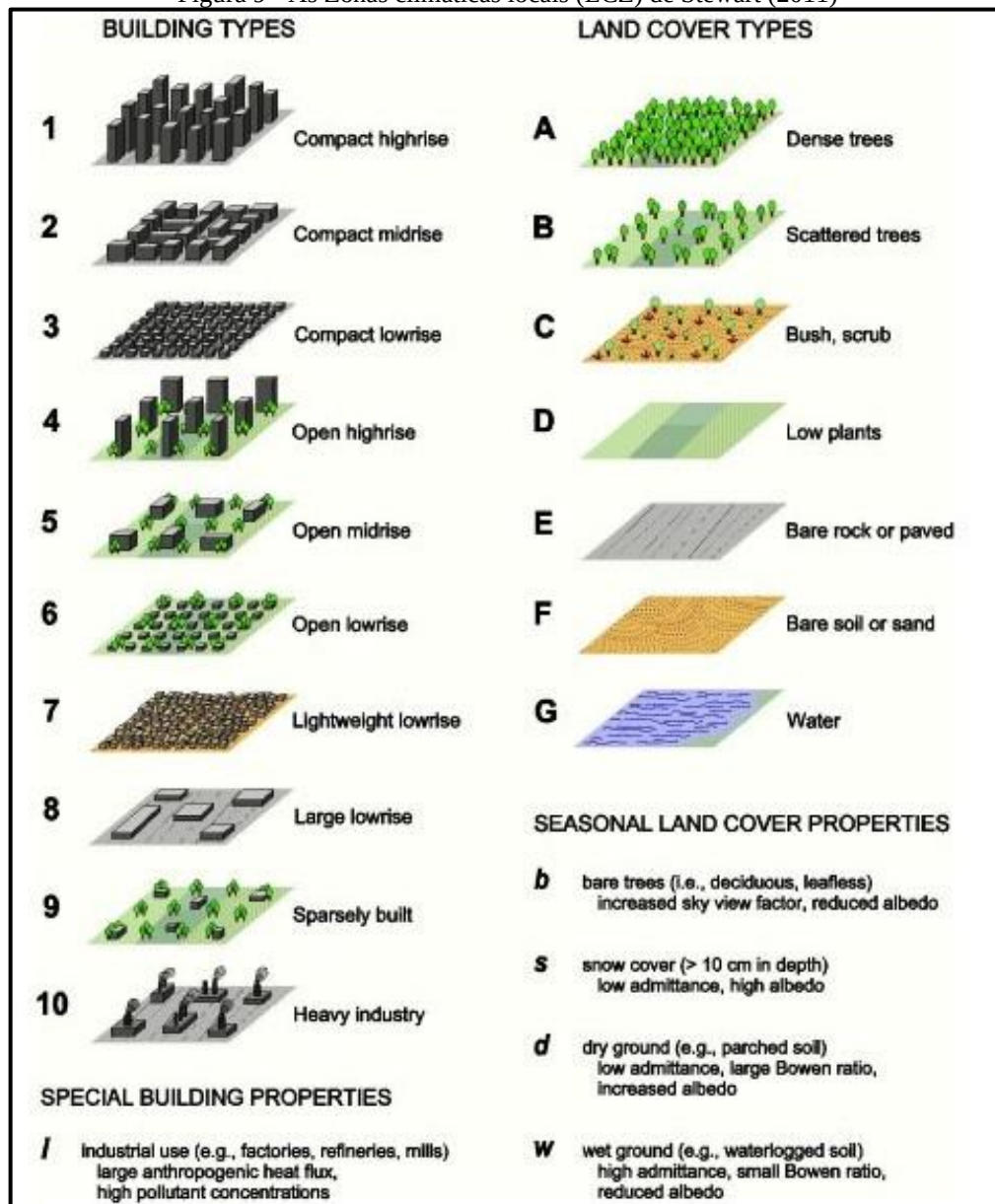


Fonte: Stewart e Oke (2009) adaptado por Dorigon (2018)

A partir de então, os autores elaboraram, ao todo, 17 zonas LCZs. Interessante destacar que essa denominação foi utilizada pelo autor, pois elas são (L) locais na escala, (C) climáticas na distinção das propriedades e (Z) zonais na representação espacial.

Durante 5 anos, de 2005 a 2010, o autor aperfeiçoou o sistema de classificação através da aplicação em Uppsala (Suécia), Nagano (Japão) e Vancouver (Canadá), onde temperaturas do ar foram observadas e simuladas através de modelos atmosféricos de mesoescala. O resultado, apresentado na tese de doutorado de Stewart (2011), sistematizou, como dito anteriormente, 17 LCZs, das quais 10 são relacionadas aos tipos de construções (1 – 10) e 7 referentes aos tipos de cobertura da terra (A – G). Além dessas categorias, o autor enumerou uma classe para o uso industrial e 4 subdivisões que podem ser usadas para caracterizar propriedades sazonais de cobertura da terra (Figura 9).

Figura 9 - As Zonas climáticas locais (LCZ) de Stewart (2011)



Fonte: Stewart (2011, p. 196).

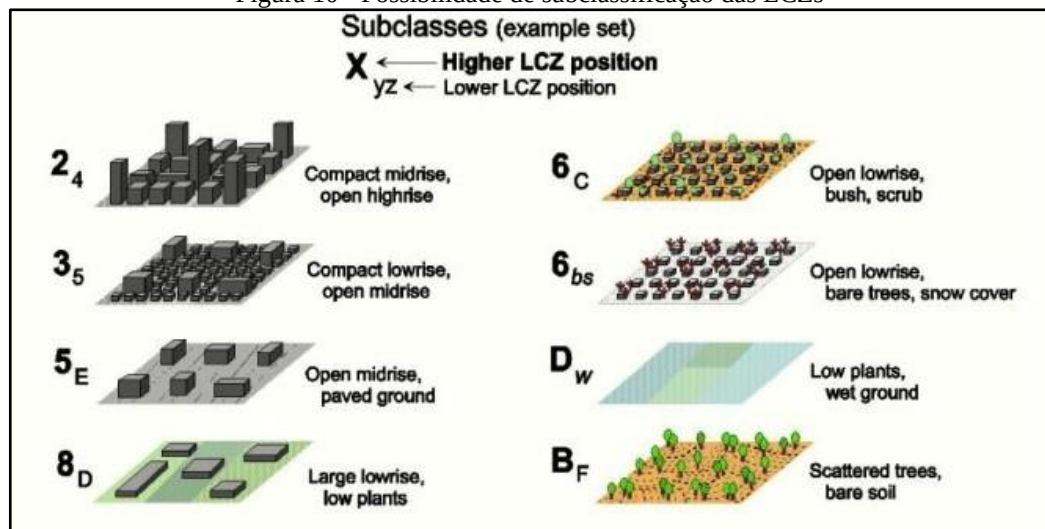
Os tipos 1 a 10, que correspondem intimamente às Zonas Climáticas Urbanas de Oke (2006), são ordenados de formas densas/altas para formas abertas/baixas. Os tipos de cobertura da terra A – G são naturais com pouca cobertura (ou nenhuma) de estradas ou edifícios e sem emissões antropogênicas de calor. Estes são ordenados de acordo com a aerodinâmica, ou seja, de rugosos a lisos e podem ser subclassificados em propriedades sazonais (isto é, vegetação com/sem folhas, solo seco/úmido, solo coberto de neve) (STEWART, 2011).

Segundo o autor, a uniformidade retratada em cada LCZ é improvável de ser encontrada em paisagens do mundo real, exceto em locais planejados ou monitorados (por exemplo, parques, áreas agricultáveis ou conjuntos urbanos planejados). No entanto, os 17 padrões de

LCZs devem ser familiares para os pesquisadores das ilhas de calor na maioria das cidades, e devem ser adaptáveis ao caráter local da maioria dos locais. Para melhorar sua flexibilidade, o sistema LCZ foi construído com partes componentes que são facilmente combinadas em subclasses, uma vez que a relação econômica e cultural pode ser distinta para cada cidade do planeta e, portanto, formando-se assim, diferentes arranjos urbanos (Figura 10). De acordo com ele,

Se necessário, combine classes de LCZ o mostre como o local se difere de seu equivalente mais próximo no conjunto padrão. Considere os tipos de construção, propriedades especiais de construção, tipos de cobertura da terra e propriedades de cobertura sazonal (STEWART, 2011, p. 254, tradução nossa).

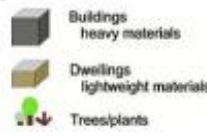
Figura 10 - Possibilidade de subclassificação das LCZs



Fonte: Stewart, 2011, p. 254

Após a classificação feita, Stewart (2011) mostrou que a elaboração de folhas sínteses é uma maneira eficaz de apresentar os resultados, além de promover a comunicação padronizada entre os pesquisadores do tema. Estas folhas são utilizadas para representação visual de todas as informações contidas nas diferentes classes, traçando assim, o perfil individual de cada uma e devem conter as seguintes informações: identificação (nome da classe e o código), definição (características morfológicas da superfície, cobertura da terra e fluxo antropogênico), função (comercial, residencial e agrícola); localização (cidade, campo, centro e periurbano), ilustração (desenhos e fotografias) e propriedades da superfície (altura da rugosidade superficial, fração de superfície impermeável, características térmicas). Na sequência apresenta-se a folha síntese elaborada por Stewart (2011) e disponibilizada em sua tese para ser utilizada como modelo nos trabalhos a serem desenvolvidos (Figura 11).

Figura 11 - Exemplo de folha síntese

LCZ KEY	ZONE NAME	#
ZONE DEFINITION		
Form: Description of building morphology, land cover, construction materials, tree geometry, and human activity. Function: Land uses most likely associated with this zone. Location: Expected location of the zone (core, periphery; city, countryside). Correspondence: Comparable zones in the urban classification systems of Oke (2004) and Ellefsen (1990/91).		
ZONE ILLUSTRATION		
Land cover  Objects 	High-angle photographs (© Can Stock Photo Inc.)  Low-level photographs (© Can Stock Photo Inc.) 	
ZONE PROPERTIES		
Sky view factor ν_{sky} 0 – 1 Aspect ratio H/W 0 – 3[†] Mean building/tree height z_{H1} 0 – 50[†] m Terrain roughness class 1 – 8	Fraction of sky hemisphere visible from ground level. Varies with height and spacing of buildings and trees. Affects surface radiational heating/cooling. Mean height-to-width ratio of street canyons (LCZ 1–7), building spacing (LCZ 8–10), and tree spacing (LCZ A–F). Affects surface airflow and radiational heating/cooling. Geometric average of building heights (LCZ 1–10) and tree/plant heights (LCZ A–F). Affects surface reflectivity, flow regimes, and heat dispersion above ground. Davenport et al. (2000) classification of effective terrain roughness (z_0) for city and country landscapes: 1=“sea” ($z_0 \sim 0.0002$ m); 2=“smooth” ($z_0 \sim 0.005$ m); 3=“open” ($z_0 \sim 0.03$ m); 4=“roughly open” ($z_0 \sim 0.10$ m); 5=“rough” ($z_0 \sim 0.25$ m); 6=“very rough” ($z_0 \sim 0.5$ m); 7=“skimming” ($z_0 \sim 1.0$ m); 8=“chaotic” ($z_0 \sim 2$ m). Affects surface reflectivity, flow regimes, and heat dispersion above ground.	
Building surface fraction λ_b 0 – 100 %	Proportion of ground surface with building cover. Affects surface reflectivity, flow regimes, and heat dispersion above ground.	
Impervious surface fraction λ_i 0 – 100 %	Proportion of ground surface with impervious cover (paved, rock). Affects surface reflectivity, moisture availability, and heating/cooling potential.	
Pervious surface fraction λ_p 0 – 100 %	Proportion of ground surface with pervious cover (bare soil, vegetation, water). Affects surface reflectivity, moisture availability, and heating/cooling potential.	
Surface admittance μ 0 – 3,000[†] J m⁻² s^{1/2} K⁻¹	Ability of surface to accept or release heat. Affects surface heat storage and heating/cooling rates. Values give typical range for surfaces in each LCZ (e.g., buildings, roads, soils, water). Varies with soil wetness and material density.	
Albedo α 0 – 0.5	Surface reflectivity at local scale, under a clear midday sky. Affects surface radiational heating potential. Varies with surface wetness.	
Anthropogenic heat flux Q_E 0 – 400[†] W m⁻²	Mean annual anthropogenic heat flux density at local scale. Heat sources include vehicle engines, industrial/domestic combustion processes, space cooling/heating, and human metabolism. Varies significantly with latitude, season, and population density.	

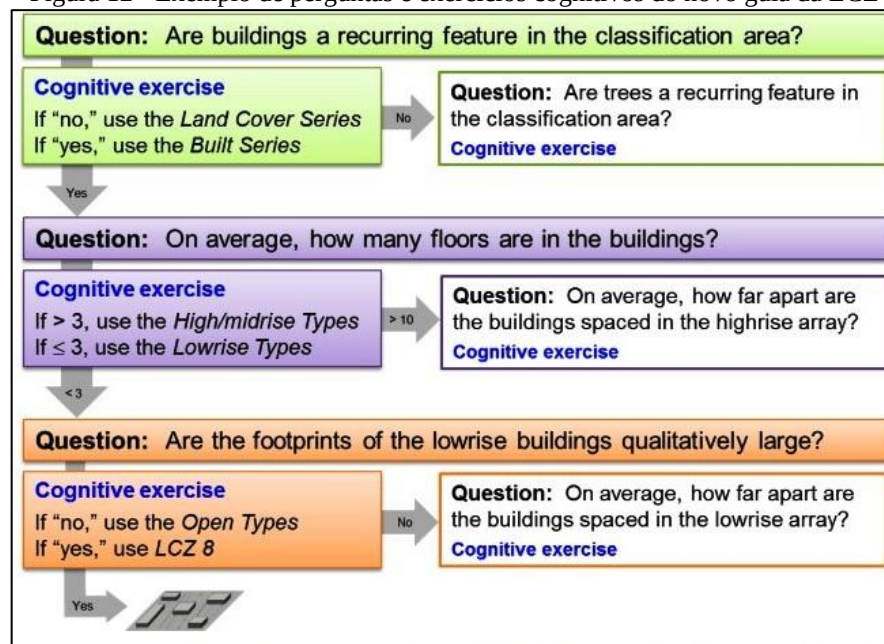
Fonte: Stewart (2011, p. 335)

Desde 2011 e, principalmente, após a publicação do artigo *Local Climate Zones for Urban Temperature Studies* (STEWART e OKE, 2012), muitas pesquisas vêm sendo publicadas e desenvolvidas utilizando esta metodologia, sendo que atualmente existe uma ferramenta online a fim de reunir um censo das cidades (os estudos elaborados baseados nas LCZs) em uma única plataforma de acesso. De acordo com o próprio site (<http://www.wudapt.org/>) o projeto WUDAPT (*The World Urban Database and Access Portal Tools*) busca alimentar um banco de dados baseados nos trabalhos da comunidade acadêmica interessada, além de facilitar a elaboração dos censos das cidades através de *workshops*.

Partindo dos resultados de pesquisas que se utilizaram de sua metodologia e principalmente, como consequência do *workshop* da WUDAPT realizado na Universidade de Hong Kong em 2015, Stewart (2018) apresentou na 10ª Conferência Internacional de Clima Urbano (*10th International Conference on Urban Climate*), realizada em agosto de 2018, na Universidade de Nova Iorque, um *paper* no qual o autor elaborou um guia para auxiliar na identificação das LCZs em campo.

Dois são os principais pontos abordados neste novo guia. O primeiro é a estruturação do pensamento, o autor indica que é necessário responder questões sobre uma ou mais características da área urbana (ou rural) a ser classificada. As perguntas são emparelhadas com exercícios cognitivos que levam a observação e interação com a área a ser classificada, e então, pode-se gerar julgamentos razoáveis sobre a classe LCZ à qual a área pertence (Figura 12).

Figura 12 - Exemplo de perguntas e exercícios cognitivos do novo guia da LCZ



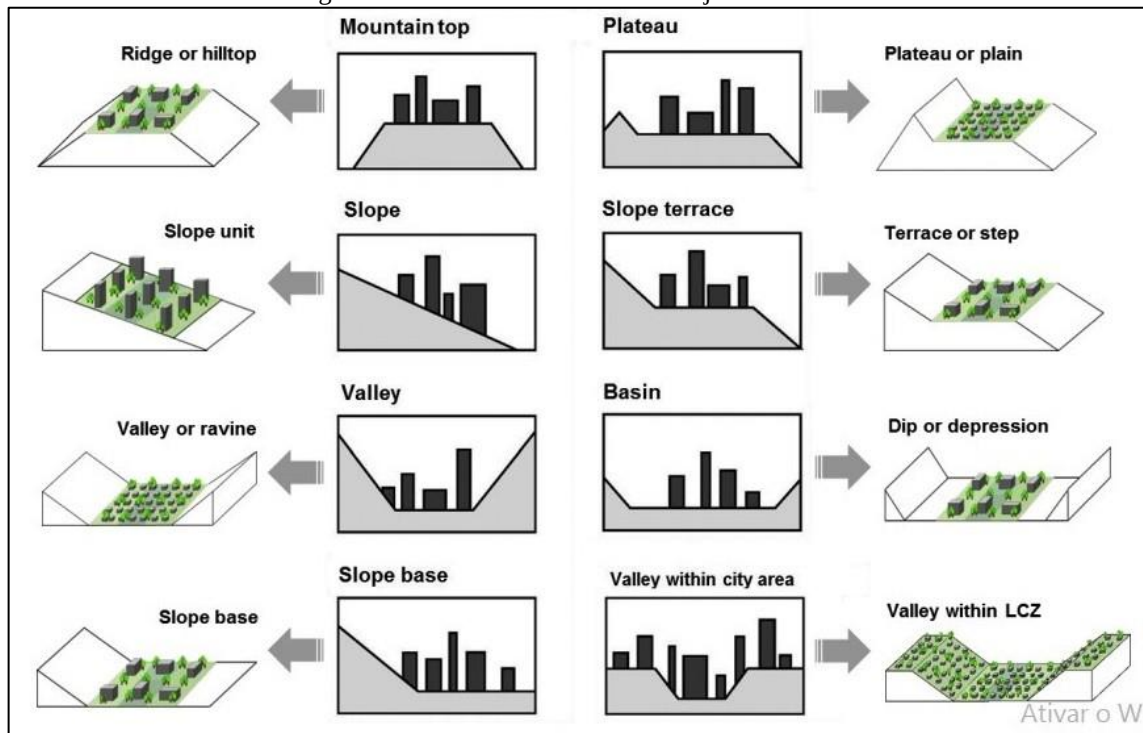
Fonte: Stewart (2018, p. 5)

O segundo ponto, extremamente importante, é a inserção do relevo nas LCZs. Este novo guia apresenta o esquema anterior das LCZs e acrescenta fatores não urbanos: elevação, forma do terreno e inclinação (Figura 13). De acordo com o autor, “Com essa elaboração, pode-se usar o esquema para separar e explicar as diferenças locais nas temperaturas do ar medidas que são devidas a efeitos urbanos e não-urbanos” (STEWART, 2018, p. 5, tradução nossa).

Baseado na classificação de Wanner e Filliger (1989), Stewart (2018) elaborou um conjunto de classes para o relevo local, as “*local relief classes*”, no qual o relevo é dimensionado para a escala do local e representa formas como encostas, vales e platôs (Figura 13). Neste

sentido, o relevo ao auxiliar as LCZs, é possível se ter uma visão mais holística da paisagem urbana e uma abordagem mais complexa e próxima à realidade dos climas locais.

Figura 13 - Classes dos relevos locais junto as LCZs



Fonte: Stewart (2018, p. 6)

Stewart (2011), em suas conclusões, levanta algumas questões e necessidades para futuras pesquisas e a empregabilidade dessa classificação. Algumas delas se referem aos testes e aplicações em cidades tropicais e desérticas e em cidades do mundo em desenvolvimento, exatamente o contexto onde se encontra o município de Jundiaí, objeto desta pesquisa.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICAS DA PESQUISA

O aporte teórico desta pesquisa é a proposição elaborada por Monteiro em 1976, que considerando o clima das cidades a partir de uma visão integrada entre o homem e a natureza convivendo sob uma mesma atmosfera, e baseado na Teoria Geral dos Sistemas, desenvolveu o método que intitulou de Sistema Clima Urbano (SCU).

A proposta de Monteiro sugeriu a adoção dos canais de percepção humana, que consideram a possibilidade de aglutinar os elementos climáticos em conjuntos de maiores afinidades e interação, entretanto, sem nunca os dissociar em suas dinâmicas. Os canais de percepção são: o canal do conforto térmico (Subsistema Termodinâmico), o canal da qualidade do ar (Subsistema Físico-Químico) e o canal do impacto meteórico (Subsistema Hidromecânico).

O estudo das ilhas de calor em Jundiaí tem como enfoque o canal I do conforto térmico (Subsistema Termodinâmico), uma vez que considera que as variações de temperatura do ar são consequências direta do balanço de energia na cidade, balanço esse que corresponde à integração entre os aspectos ambientais e urbanos.

Neste sentido, a proposta de Stewart (2011), Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones*), é uma técnica de classificação da paisagem (uso e ocupação da terra/aspectos urbanos) extremamente pertinente para os estudos de clima urbano que carregam como bagagem teórica a proposição de Monteiro.

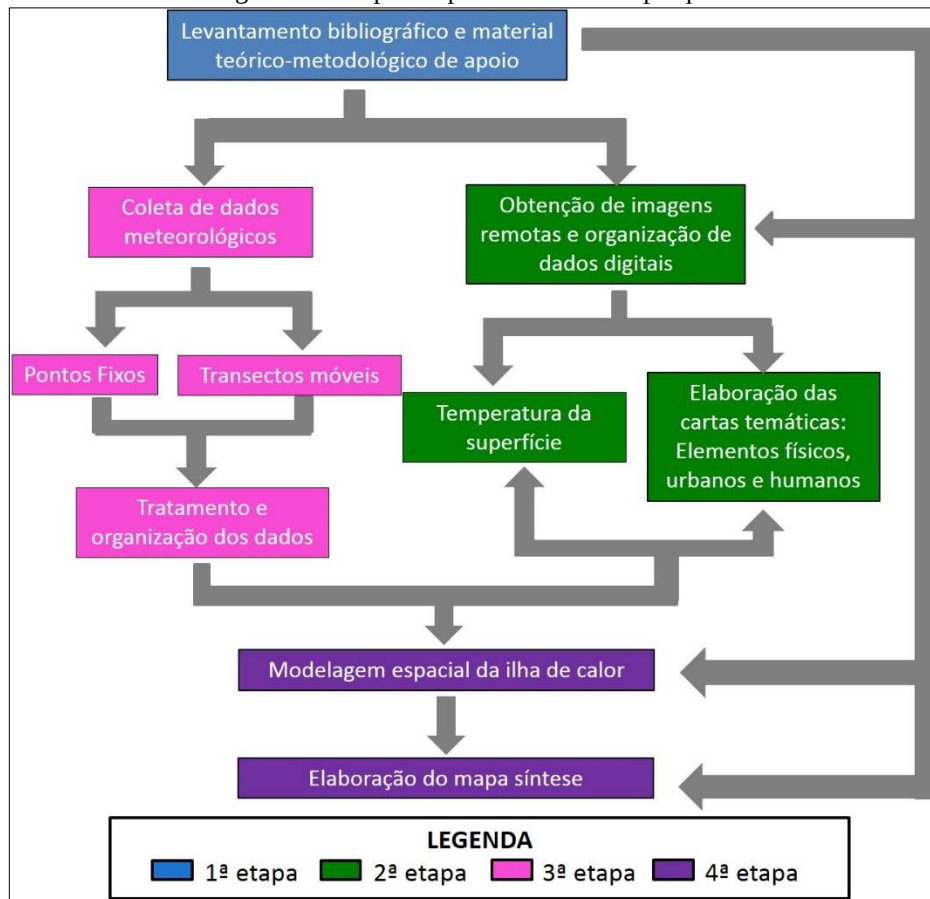
A partir disso, este estudo buscou o levantamento de diversos aspectos ambientais e urbanos, que são necessários para uma análise espacial. Foram realizados registros de dados de temperatura do ar, a fim de diagnosticar anomalias geradas pelos diferentes usos e ocupações da terra dentro da malha urbana de Jundiaí.

A pesquisa ocorreu em 4 etapas, como pode ser observado na figura 14. Iniciou-se com a revisão sistemática da literatura em livros, dissertações, teses e artigos nacionais e internacionais. Os temas mais importantes pesquisados dizem respeito à climatologia urbana, climatologia geográfica, classificações climáticas urbanas, com ênfase nas Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones - LCZ*), planejamento urbano e sensoriamento remoto. Além disso, foram realizadas leituras de autores que abordam as características ambientais, históricas e urbanas do município de Jundiaí/SP.

Concomitantemente, buscaram-se informações práticas e conhecimentos técnicos em tutoriais online e cursos de rápida duração sobre sensoriamento remoto e geoprocessamento

que possibilitaram o mapeamento das características ambientais e urbanas do município e a elaboração das Zonas Climáticas Locais de Jundiaí/SP.

Figura 14 - Etapas de procedimentos da pesquisa



A etapa 2 foi a elaboração do banco de dados digital da pesquisa. Esta consistiu na coleta de imagens dos satélites Landsat 8, RapidEye, Sentinel 2 e SRTM³ (Shuttle Radar Topography Mission), além de dados vetoriais, como limite municipal e perímetros urbano e rural cedidos pela Prefeitura Municipal de Jundiaí/SP.

Esses dados remotos e digitais foram organizados e processados no aplicativo *ArcMap*⁴ e deram origem as cartas temáticas de hipsometria, orientação das vertentes, temperatura da superfície e NDVI que foram essenciais para o conhecimento do sítio onde está inserido a cidade de estudo. Inicialmente estes auxiliaram na escolha dos locais para a coleta dos dados de temperatura do ar. Posteriormente, foram essenciais para a elaboração das LCZs e da modelagem espacial da ilha de calor.

³ Imagens Landsat 8 e SRTM adquiridas junto ao site da *United States Geological Survey* (USGS: <http://www.usgs.gov>).

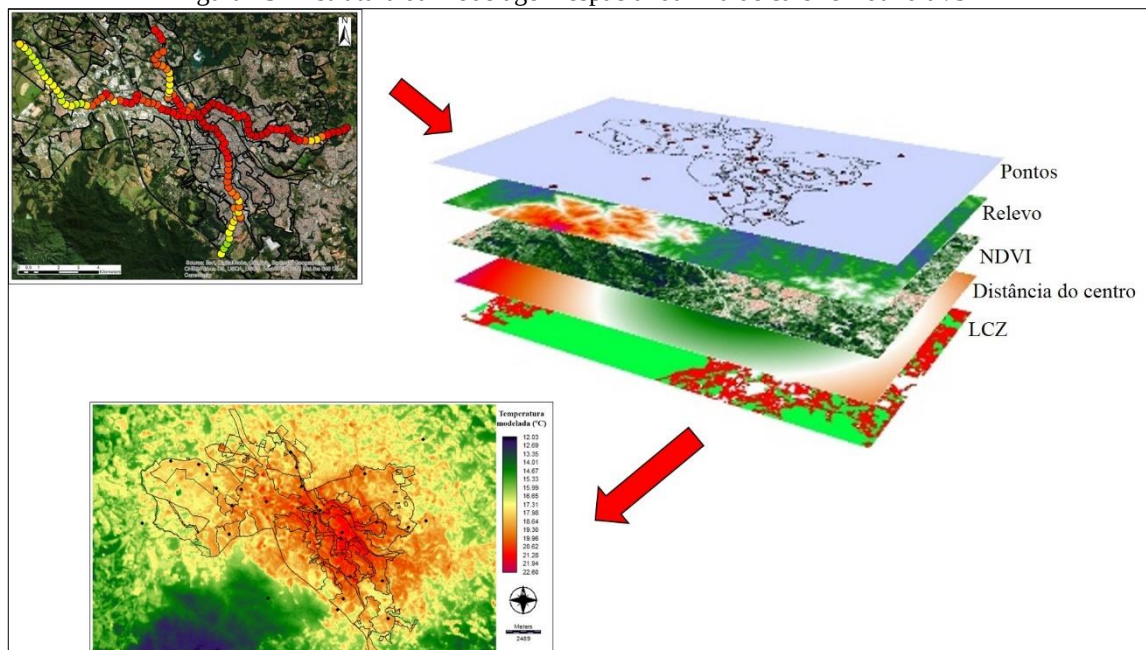
⁴ Marca registrada da ESRI (Environmental Systems Research Institute)

Com o conhecimento das características urbanas e físicas de Jundiaí, partiu-se para a pesquisa de campo (etapa 3). Esta ocorreu durante o ano de 2017 e foi feita com a instalação de sensores fixos em diferentes locais da malha urbana de Jundiaí e na realização de transectos móveis noturnos (medidas itinerantes). Essas metodologias serão detalhadas na sequência.

A identificação das Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones – LCZ*) foi, inicialmente, baseada na ferramenta do WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools), um projeto comunitário a fim de agrupar um censo sobre as cidades ao redor do mundo. Em sua plataforma online, é apresentado um conjunto de metodologias e técnicas para a elaboração das Zonas Climáticas Locais de acordo com imagens do satélite e do aplicativo Google Earth. Além do WUDAPT foi necessário realizar uma classificação mais detalhada, através de imagens RAPIDEYE⁵ com resolução espacial de 5m. Também esta etapa da pesquisa está descrita em um tópico próprio para que seja possível o detalhamento.

A quarta e última etapa foi a elaboração da modelagem espacial da ilha de calor, a fim de estimar a temperatura do ar no ambiente urbano e rural próximo, considerando-se os valores medidos, associados às características da superfície, tais como o uso e ocupação uso da terra, a vegetação, o relevo e distância do centro. Também esse procedimento é detalhado em tópico específico (Figura 15).

Figura 15 - Estrutura da modelagem espacial da ilha de calor em Jundiaí/SP



⁵ Imagens RAPIDEYE estão disponíveis no Geocatalogo do Ministério do Meio Ambiente. Acesso: <http://geocatalogo.mma.gov.br>.

Na sequência destacam-se as etapas de pesquisa de campo, com as técnicas empregadas e a organização e tratamento de dados, além dos passos para a criação das Zonas Climáticas Locais (LCZ) e da modelagem espacial da ilha de calor.

3.1 Registro e tratamento dos dados de temperatura do ar para a identificação das ilhas de calor

Amorim (2017) salienta que os estudos das ilhas de calor possuem duas perspectivas de análise: uma temporal e outra espacial. A análise temporal está relacionada com uma série histórica de registros, através de uma rede de estações meteorológicas. No entanto, esta metodologia é bastante onerosa e nas cidades brasileiras não se encontra uma rede suficientemente numerosa e antiga. Destaca-se que, muitas vezes, a análise temporal é feita em relação a evolução diária das ilhas de calor e quanto ao seu desenvolvimento sazonal, contudo a comparação histórica é muito difícil de ser encontrada em âmbito nacional.

Ressalta-se que as técnicas de sensoriamento remoto muitas vezes auxiliam nessa comparação temporal histórica que pode ser realizada com as imagens termais do satélite Landsat. Desde 1984, este satélite possui um canal representativo das temperaturas dos alvos, no entanto, a análise baseada nessa metodologia resulta em considerações sobre as ilhas de calor superficiais e não diretamente do ar.

Neste sentido, devido a essa limitação, a análise espacial tem sido predominante nos estudos de ilhas de calor. Através do emprego de registros em pontos fixos, transectos móveis é possível mensurar os efeitos da urbanização sobre a temperatura do ar e dos alvos (AMORIM, 2017).

Uma informação bastante importante nos estudos sobre ilhas de calor é o sistema atmosférico atuante, portanto, associado ao levantamento de campo foi efetuada uma análise das condições sinóticas regionais. Foram utilizados dados da estação meteorológica de Jundiaí, cedidos pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), boletins técnicos e cartas de superfície do CPTEC-INPE⁶ (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), cartas sinóticas de superfície disponibilizadas diariamente no site da Marinha do Brasil⁷ e imagens do satélite GOES⁸, também encontradas no site do CPTEC-INPE.

⁶ Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>

⁷ Disponíveis em: <https://www.mar.mil.br/>

⁸ Disponíveis em: <http://satelite.cptec.inpe.br/home/>

Com esses dados e imagens foram elaborados gráficos de análise rítmica mensais que auxiliaram na análise dos dados coletados através de pontos fixos e dos transectos móveis.

3.1.1 Pontos fixos

A metodologia dos pontos fixos consiste em instalar sensores de temperatura no intraurbano com o objetivo de explicitar como os diferentes condicionantes físicos e urbanos respondem à atuação de sistemas atmosféricos. Para esta pesquisa foram utilizados sensores data logger (U23-002) - HOBO, protegidos por abrigos da mesma marca e fixados em pontos representativos do entorno (Figura 16).

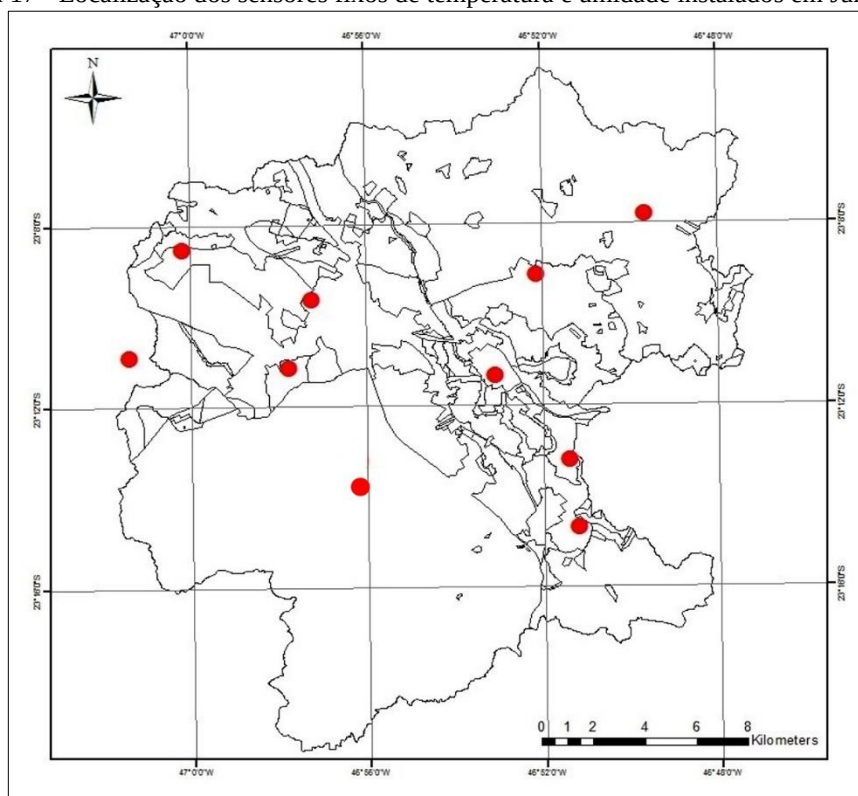
Foram distribuídos 10 sensores em Jundiaí, sendo 7 deles em meio a malha urbana, 2 em áreas rurais próximas e 1 na Reserva Biológica da Serra do Japi (Figura 17). As instalações destes sensores seguiram os pressupostos de Monteiro (1990) nos quais o autor destaca a necessidade de se “adentrar a cidade como um fator geográfico”, buscando identificar o “ar comprometido”. Sendo assim, os instrumentos foram instalados em locais representativos do entorno, buscando demonstrar a real atmosfera existente naquele local. Cada ponto selecionado será detalhado mais à frente.

Figura 16 - Abrigo meteorológico (tipo RS3 - Hobo) com registrador de temperatura e umidade com sonda externa - data logger U23-002 - Hobo



Fonte: Amorim (p. 51, 2017)

Figura 17 - Localização dos sensores fixos de temperatura e umidade instalados em Jundiá/SP



Fonte: Prefeitura do município de Jundiá. Elaboração: DORIGON (2018)

Os registros foram horários e ocorreram entre os meses de abril e dezembro de 2017. Entretanto, optou-se por analisar os horários das 6, 9, 15, 19 e 21 horas, para se compreender a variação diária da ilha de calor e sua maior/menor intensidade.

A análise das ilhas de calor de acordo com a sua intensidade tem sido uma abordagem bastante utilizada e por este motivo definiu-se um ponto rural como referência para obtenção das diferenças térmicas (intensidade de ilha de calor). Este ponto foi considerado o ponto “0” e, a partir dele se processou o cálculo da intensidade da temperatura do ar dos outros pontos, subtraindo-se o valor medido em cada um (ΔT_{u-r}).

Sendo assim, os dados foram organizados em planilhas eletrônicas no *Excel*⁹ e, posteriormente, espacializados no aplicativo *Surfer*. Como resultados foram obtidos painéis espaçotemporais, mostrando a variação das ilhas de calor no tempo e sua projeção em um eixo espacial. Sendo assim, o eixo y (vertical) representa os dias do mês (tempo) e o eixo x (horizontal) apresenta os pontos de coletas (espaço).

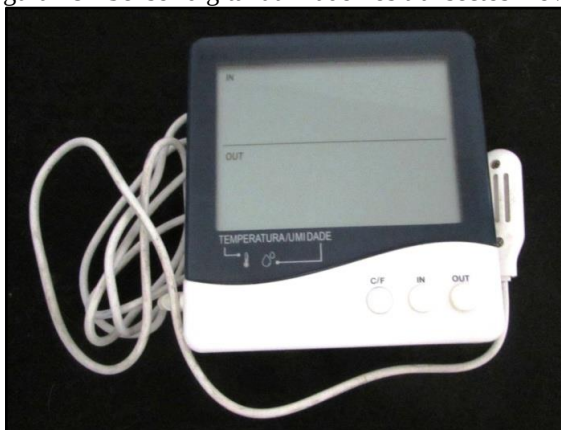
⁹ *Excel* - é marca registrada da Microsoft Corporation.

3.1.2 Transectos móveis

A coleta de dados meteorológicos através da técnica de transecto móvel noturno é considerada uma maneira de tomar a temperatura do ar espacialmente, e assim como os pontos fixos, possibilita a verificação de como as temperaturas respondem às características ambientais e urbanas e aos sistemas atmosféricos atuantes. Esta técnica é também uma saída para superar a carência de pontos fixos em número suficiente para os objetivos das pesquisas (AMORIM, 2017).

Nesta pesquisa foram utilizados sensores digitais de temperatura do ar (marca Incoterm) (Figura 18) fixados em uma haste de madeira de 1,5m de altura. O sensor foi preso na lateral de dois veículos que percorreram dois sentidos distintos da cidade, um partindo da área rural em sentido Leste-Oeste e outro que seguiu no sentido Sul-Norte (Figura 19), sendo que a velocidade do veículo não ultrapassou 30km/h e os percursos duraram em média 50 minutos.

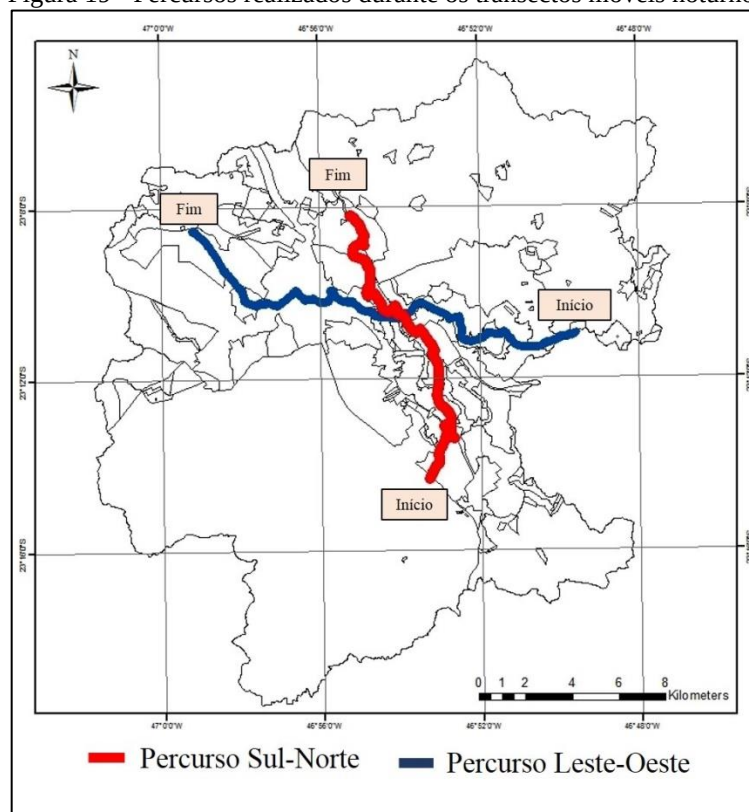
Figura 18 - Sensor digital utilizado nos transectos móveis



Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com a literatura, considera-se que o ideal seja a realização dos transectos no período noturno, quando as temperaturas não experimentam mudanças rápidas, devido a diferença de tempo entre a primeira e a última medida (OKE E MAXWELL, 1975; GÓMEZ E GARCÍA, 1995; JOHNSON, 1985; PITTON, 1997; AMORIM, 2005). Assim, as medidas itinerantes foram realizadas entre 21h e 21h50, com o cuidado de monitorar a variação natural da temperatura por meio dos dados da estação meteorológica de Jundiaí.

Figura 19 - Percursos realizados durante os transectos móveis noturnos



Fonte: Prefeitura do município de Jundiá. Elaboração: DORIGON (2018)

Os registros ocorreram em 10 episódios dos meses de agosto e setembro de 2017, a saber: 27/08, 29/08, 01/09, 03/09, 05/09, 07/09, 10/09, 13/09, 14/09 e 15/09. Destaca-se que em todos os dias as condições sinóticas estavam ideais para o desenvolvimento das ilhas de calor urbanas, ou seja, céu aberto e baixa velocidade do vento. As medições foram feitas a cada 100 m, resultando em 400 registros em cada dia.

Os dados coletados através dos transectos móveis noturnos foram também organizados em planilhas eletrônicas e em gráficos, nos quais o eixo horizontal (x) representou os pontos de coleta, enquanto no eixo vertical (y) foram adicionados os dados de temperatura.

Já as cartas com as temperaturas obtidas com esses dados foram elaboradas no programa *ArcMap*¹⁰ e resultaram na espacialização da informação, auxiliando assim, na visualização das temperaturas registradas na malha urbana e área rural circunvizinha.

¹⁰ ArcMap é de domínio da ESRI (Environmental Systems Research Institute)

3.2 Identificação das Zonas Climáticas Locais

A caracterização dos locais de medição baseou-se no sistema de classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZs). A plataforma WUDAPT (World Urban Database and Portal Tool) foi a primeira ferramenta utilizada para a aproximação com as LCZs de Jundiaí. O processo de geração do mapa de LCZ utilizando a ferramenta WUDAPT (BECHTEL et al., 2015) foi realizado de acordo com as instruções disponíveis no site do projeto¹¹. Primeiramente, quatro imagens Sentinel 2¹² foram obtidas no site da USGS e então, mosaicadas, reamostradas de 10 m de resolução para 100 m e recortadas de acordo com a dimensão da área de estudo.

Cerca de 15 amostras de treinamento (polígonos) para cada LCZ foram digitalizadas no Google Earth (Google Corporation). Um total de 10 tipos de LCZs foram obtidos em Jundiaí. Por fim, as imagens Sentinel 2 foram processadas junto com as amostras de treinamento no *software* SAGA GIS (BÖHNER et al., 2006).

A ferramenta WUDAPT utiliza-se dos recursos espectrais contidos nas amostras de treinamento para gerar árvores de decisão e através do modelo de *random forest* faz um relacionamento entre os atributos de cada classe LCZ e do tipo de LCZ identificado (WANG, et al., 2017). Sendo assim, após o processamento foi gerado o mapa temático com as Zonas Climáticas Locais de Jundiaí.

Para o detalhamento das LCZs dos pontos fixos foram utilizadas imagens do satélite RapidEye de junho de 2015 disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente¹³ e com resolução espacial de 5m. Com estas imagens foi possível distinguir 6 classes de uso e ocupação da terra (construção, asfalto, solo exposto, grama, árvore e água) num raio de 200 metros (STEWART, 2011) do local onde foi instalado o sensor.

A classificação dos usos e ocupação da terra foi realizada no *eCognition Developer*¹⁴ utilizando processos de segmentação e classificação supervisionada. De acordo com as características detectadas foram delimitadas as classes e após concluída a classificação, os polígonos foram exportados para o *ArcMap* a fim de proceder com a organização do *layout* final.

¹¹ <http://www.wudapt.org/>

¹² Imagens de 16-03-2017 e 04-06-2017. Cenas T23KKQ e T23KLQ

¹³ Site do GeoCatalogo do MMA: (<http://geocatalogo.mma.gov.br>). Imagens disponíveis através de cadastro institucional.

¹⁴ *eCognition Developer* é domínio da Trimble

Tendo a classificação de uso e ocupação da terra, as imagens do Google Earth e as fotos capturadas durante os trabalhos de campo foram identificadas as LCZs de cada ponto de coleta e organizadas as “folhas sínteses” de acordo com a metodologia de Stewart (2011).

Para as medições realizadas através dos transectos móveis, a identificação das LCZs foi feita visualmente com o auxílio das imagens do Google Earth. Analisou-se os caminhos percorridos e, segundo as características de uso e ocupação da terra delimitou-se as LCZs predominantes nos pontos de coleta.

3.3 A modelagem espacial das ilhas de calor urbanas

A modelagem espacial das ilhas de calor urbanas em Jundiaí foi realizada com a média dos dados de temperatura coletadas com os sensores fixos, as 21 horas durante o período seco (junho, julho, agosto e setembro), excluindo os dias com registro de precipitação, mais 20 pontos selecionados do total dos transectos, além de um ponto (destacado em azul) com temperatura calculada através da razão adiabática, na qual o gradiente térmico corresponde a $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, ou seja, a temperatura tem uma redução de $0,65^{\circ}\text{C}$ a cada 100 metros de elevação (Figura 20a).

O acréscimo deste dado é justificado pela diferença de altitude do ponto mais alto da Serra do Japi, 1300m e a altitude do local no qual foi instalado o sensor referente ao padrão deste uso e ocupação, 1050m. Sabendo que o relevo é também uma variável influenciadora nas intensidades das ilhas de calor urbanas, esse procedimento auxiliou na validação dos dados de altitude diante do modelo.

Para a correlação direta com os aspectos da superfície foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8 (órbita 219/ ponto 76) tomada no dia 28/09/2017 as 10:04 da manhã, imagem de radar SRTM com informações de altimetria do local e a carta de LCZs elaborada com a ferramenta WUDAPT.

Essa modelagem foi executada no aplicativo IDRISI¹⁵ e iniciou com a elaboração de uma carta reduzida das LCZs. Optou-se por manter e generalizar as informações em 3 LCZs: A, D e 3, referentes, respectivamente, a vegetação arbórea densa (encontrada na Serra do Japi e em alguns remanescentes vegetacionais na área rural), vegetação rasteira (predominante na área rural, devido a atividades agrícolas e/ou atividades de ecoturismo e turismo rural) e

¹⁵ Idrisi é marca registrada da Clark University.

compacta de baixa elevação (optou-se por essa classificação, uma vez que é a mais encontrada na cidade) (Figura 20b).

Na sequência foram elaboradas: as cartas de distância do centro (em quilômetros) a partir da definição de um ponto específico localizado no centro da cidade de Jundiaí; a carta altimétrica a partir da imagem SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), disponibilizada no site Earth Explorer da NASA e a carta do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, com as bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho Próximo) do satélite Landsat 8.

A partir de então, pode-se calcular a relação existente entre a temperatura do ar obtida em campo e as LCZs definidas. Primeiramente calculou-se a frequência dos pixels de cada classe em torno dos pontos de temperatura do ar medida através de janelas móveis de tamanhos variáveis, entre 3x3 pixels (90 x 90 metros), 5x5 pixels (150 x 150 metros), 9x9 pixels (270 x 270 metros) e assim por diante. Segundo Amorim et. al (2015, p. 38), “esse procedimento é fundamental porque não se sabe inicialmente qual a área de influência do uso da terra sobre as medidas de temperatura para cada ponto e isso justifica o teste com essas janelas de tamanho “móveis””. Teixeira (2015), esclarece que esta etapa da modelagem objetiva selecionar a área de abrangência na qual a relação estatística entre a temperatura e a classe de uso da terra, no caso as LCZs, foi mais bem estabelecida.

Para esta pesquisa, as janelas que mais adequadamente estabeleceram relações foram variadas: na LCZ A a maior correlação entre a temperatura do ar e a porcentagem desse tipo de ocupação da terra foi encontrada na janela de 41x41 *pixels* com coeficiente de correlação (R) de -0,62; na LCZ 3 a maior correlação foi encontrada na janela de 7x7 *pixels* com 0,55 e, na LCZ D, a maior correlação ocorreu na janela de 3x3 *pixels* com -0,22. Interessante destacar que os resultados negativos das correlações com as LZCs A e D revelam que a vegetação é uma forçante para a diminuição da temperatura, enquanto o valor positivo referente a LCZ 3 demonstra a forçante positiva do urbano, que interfere no aumento da temperatura.

Outro importante valor estatístico a ser considerado para definir as melhores variáveis a serem inseridas no modelo é o coeficiente de determinação (R^2). De modo geral, esse coeficiente deve ser interpretado como a proporção de variação total da variável dependente que é explicada pela variação da variável independente. Este pode ser usado como referência para avaliação da existência de uma relação útil entre a variável dependente e independente, em um modelo de regressão linear, ou seja, indica quanto o modelo foi capaz de explicar os dados coletados (GOMES, 2017).

Para a LCZ A o melhor coeficiente de determinação ocorreu na janela 41x41 foi 0,39, o que significa que 39% das variações de temperatura do ar foram explicadas pela variação de vegetação arbórea densa, para a LCZ 3, o R^2 foi de 0,55, na janela 7x7, ou seja, 55% das variações da temperatura do ar foram explicadas pela variação das áreas compacta de baixa elevação e, na LCZ D, o valor máxima de R^2 foi obtido na janela 3x3, 0,5, tendo apenas 5% das variações da temperatura do ar explicadas pela variação da vegetação rasteira. Para a aplicação no modelo foram usadas as classes que obtiveram os maiores valores na correlação, ou seja, as LCZ A (vegetação arbórea densa) e LCZ 3 (compacta de baixa elevação).

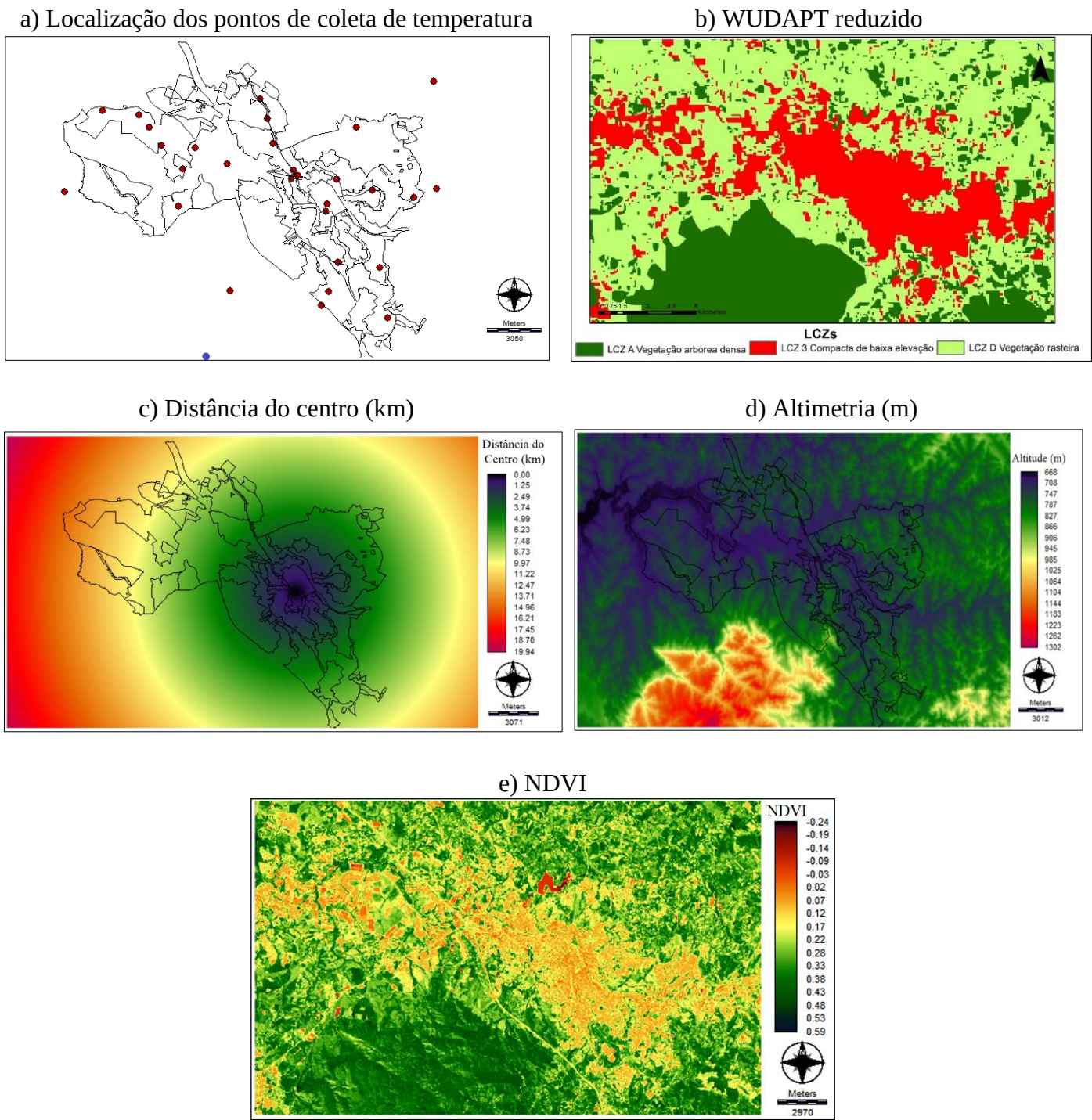
Além do uso e ocupação da terra, sabe-se que outras variáveis são essenciais na análise integrada das ilhas de calor urbanas. Como dito anteriormente, foram elaborados os dados de distância do centro, elevação do terreno e NDVI. Quando feitas as correlações, constatou-se que estas três variáveis foram importantes para formulação do melhor resultado da modelagem espacial da ilha de calor em Jundiaí.

Apesar de Jundiaí ser uma cidade de médio porte, é possível identificar um significativo adensamento urbano no centro histórico e comercial, com destaque a verticalização, fatores que contribuem para a formação das ilhas de calor e, por isso, a variável “distância do centro” foi incorporada no modelo (Figura 20c). O coeficiente de determinação entre a temperatura do ar e esta variável foi de 0,27, ou seja, 27% das variações das temperaturas do ar, podem ser explicadas pela “distância do centro”. Assim como explorado por Teobaldo Neto (2019), apesar de relevante, esse valor revela a complexidade dos sítios urbanos brasileiros, como Jundiaí, que possuem diferentes configurações de meso e microclimas que resultam em arquipélagos de calor, como apresentado e comprovado nos painéis espaço temporais e nos perfis de temperatura dos transectos.

O relevo foi também uma variável bastante relevante para a modelagem da ilha de calor em Jundiaí, devido a grande diferença de altitude existente entre a área urbana e a região da Serra da Japi (em torno de 600m) (Figura 20d). Ao correlacionar a temperatura do ar com o relevo, verificou-se um potencial explicativo 0,37, sendo assim, 37% da variação da altitude explicam a variação da temperatura do ar. Esta variável teve um coeficiente de correlação negativo, -0,61, o que demonstra a redução de temperatura com a elevação do terreno.

Devido a densa vegetação da Serra do Japi e aos extratos vegetacionais mantidos na área rural, a variável NDVI (Figura 20e), que corresponde a presença ou não de vegetação apresentou também uma correlação alta com a temperatura, 35% da variação da temperatura do ar foi explicada pela presença ou falta de vegetação.

Figura 20 - Cartas geradas para elaboração da modelagem espacial da temperatura do ar em Jundiaí/SP



A tabela a seguir apresenta os resultados estatísticos das regressões lineares simples que possibilitaram a seleção das variáveis a serem inseridas na regressão linear múltipla (Tabela 4).

Tabela 4 - Coeficiente de determinação de cada variável inserida na modelagem espacial da ilha de calor urbana em Jundiaí/SP.

<i>Variável</i>	<i>Janela</i>	<i>Coef. de correlação (R)</i>	<i>Coef. de determinação (R²)</i>
LCZ A	41x41	-0,62	39%
LCZ 3	7x7	0,55	30%
Distância do centro	-	-0,52	28%
Relevo	-	-0,61	37%
NDVI	-	0,60	35%

Tendo os resultados das regressões simples, foi calculado um modelo de regressão linear múltipla, no qual as variáveis escolhidas foram utilizadas simultaneamente para simular a espacialização das ilhas de calor urbanas através da relação entre os locais nos quais as temperaturas foram registradas e os parâmetros geográficos da superfície.

A regressão linear múltipla descreve uma relação entre as variáveis geográficas “explicativas” (características da superfície) e a variável a ser “explicada” (temperatura do ar) pelo modelo (FOISSARD, 2015).

Essa equação é definida pela temperatura estimada (Y'), as variáveis geográficas (Xn) e os parâmetros a serem determinados. Nesta pesquisa, em que quatro variáveis independentes (LCZs, distância do centro, relevo e NDVI) foram utilizadas para explicar uma variável dependente (temperatura do ar), a equação da regressão múltipla pode ser descrita da seguinte forma:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 \quad (3)$$

Na qual:

- **y** é a variável dependente;
- **b₀** é o intercepto (valor da variável dependente quando todas as variáveis independentes são iguais a zero);
- **b₁, b₂, b₃ e b₄** são os coeficientes de inclinações (parâmetro que reflete a variação na variável dependente para uma unidade de variação na variável independente, mantendo todas as outras variáveis independentes constantes) e;
- **x₁, x₂, x₃ e x₄** são as variáveis independentes.

Através desses procedimentos, foi obtido a modelagem espacial da ilha de calor urbana em Jundiaí, que foi utilizada para gerar um mapa síntese das temperaturas urbanas da cidade.

4 O UNIVERSO DE ESTUDO

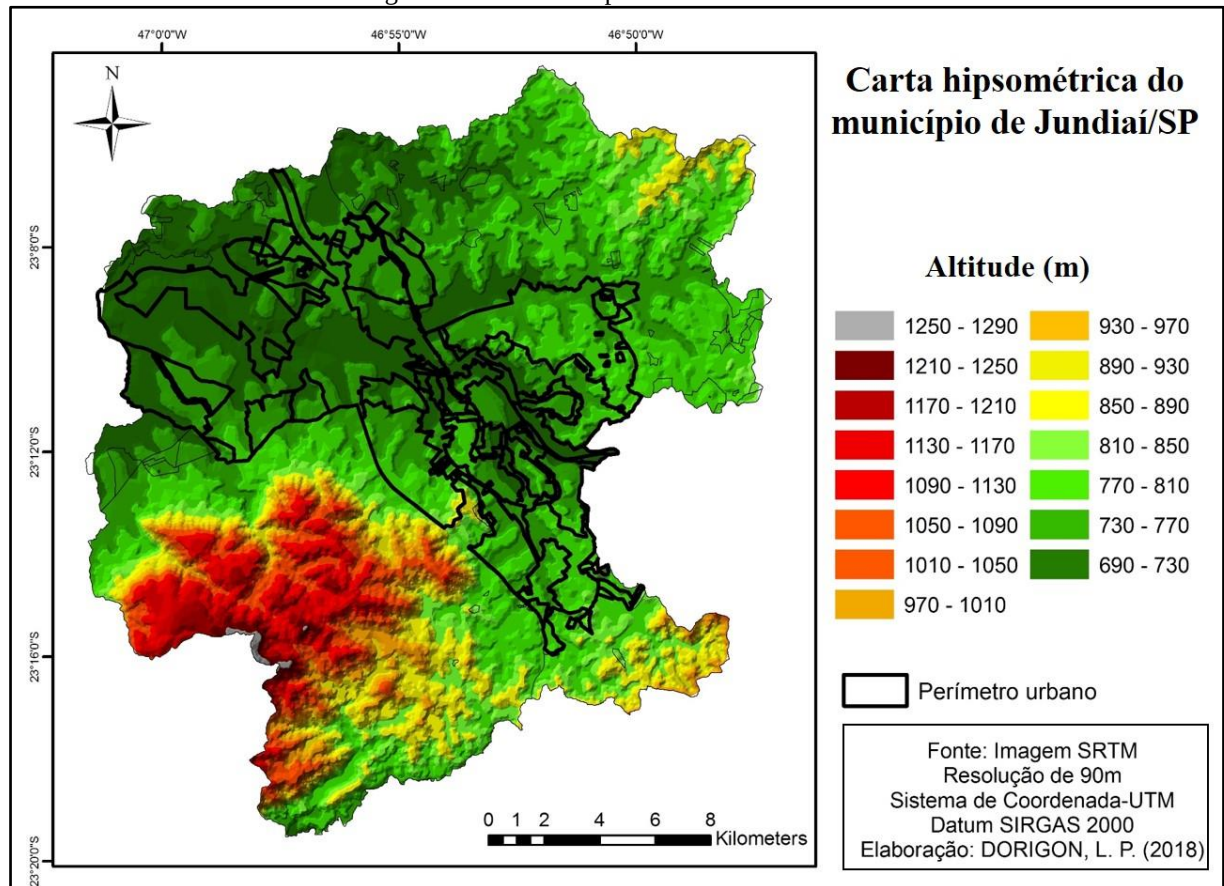
O nome Jundiaí é um vocábulo de origem tupi, sendo que “jundiá” significa bagre e “y”, significa rio. De acordo com o censo de 2010 (IBGE) o município possuía população de 370.126 habitantes e área aproximada de 433km², e sua taxa de urbanização era de 95%. A população estimada em 2018 foi de 414.810 habitantes.

De acordo com Noronha (2008), o desenvolvimento do município ocorreu principalmente a partir da década do século XVII em decorrência dos movimentos das bandeiras. No entanto o município passou por períodos e processos marcantes, sendo estes, além das bandeiras, a expansão da cafeicultura, a construção da ferrovia, a chegada de imigrantes, e num período mais atual, a concentração industrial.

No que tange a suas características físicas, Jundiaí pertence às Bacias dos Rios Jundiaí, Jundiaí- Mirim e Capivari, situa-se no Planalto Atlântico e possui relevo dissecado, com altitude média de 762,4m. O município é envolvido pela Serra do Japi, a maior reserva natural do Estado de São Paulo, tombada pelo CONDEPHAAT (Conselho de Defesa do Patrimônio, Arqueológico Arquitetônico e Turístico do Estado de São Paulo) em 1983 (PREFEITURA MUNICIPAL DE JUNDIAÍ).

Como pode ser observado na carta de hipsometria (Figura 21), a maior parte da área urbana está localizada ao longo do vale do Rio Jundiaí, com altimetrias entre 660 e 700m. No entanto, a oeste encontra-se a Serra do Japi que atinge altitude máxima de 1300m, fazendo com que o município tenha 600m de diferença de altitudes. Especificamente em relação a área urbana, apesar de centrada nas cotas altimétricas entre 660m e 700m, encontram-se vários loteamentos em áreas mais elevadas, entre 810m e 840m. Uma recente prática de ocupação local, tem sido a urbanização das bordas da Serra do Japi, com altitudes entre 840m e 900m

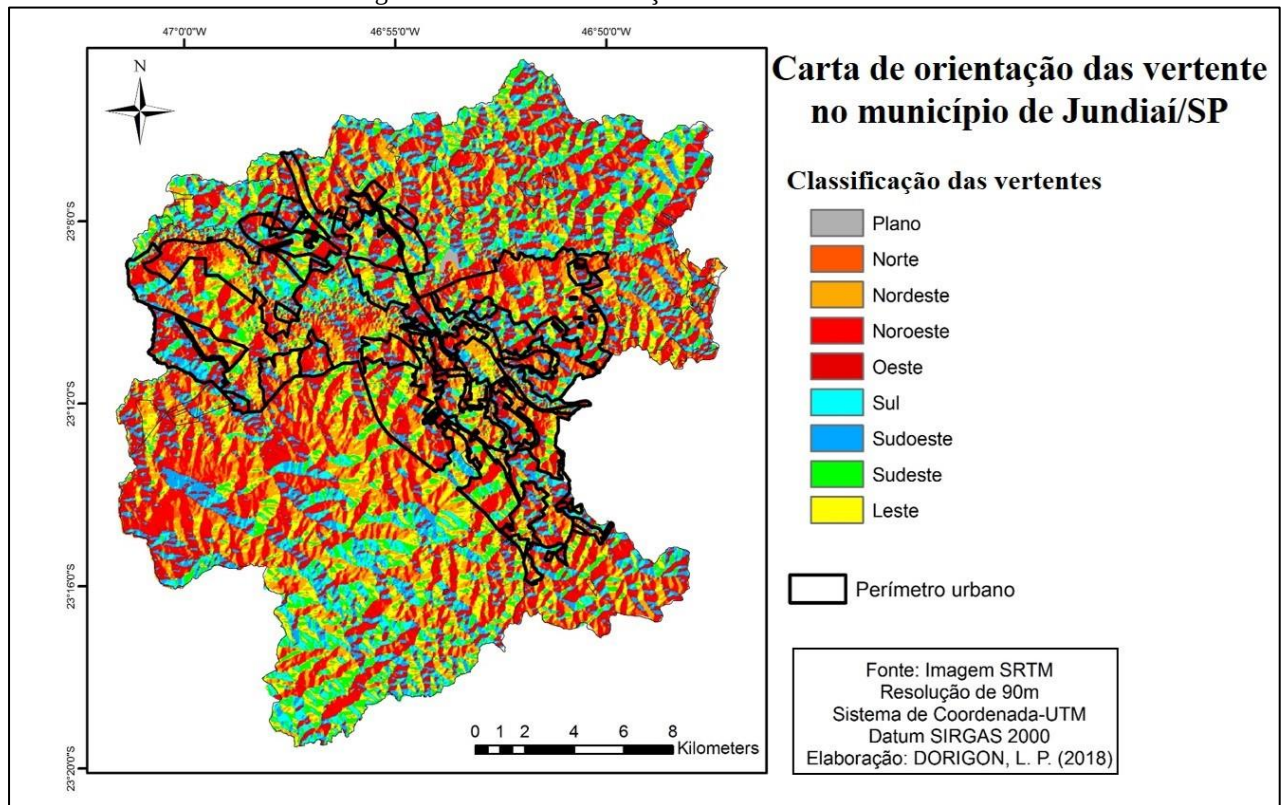
Figura 21 - Carta de hipsometria de Jundiaí/SP



Ainda em relação ao relevo, considerando que esta pesquisa objetiva compreender o clima local, é importante realçar as orientações das vertentes locais, uma vez que, como dito anteriormente, de acordo com o movimento aparente do sol, as vertentes orientadas para o quadrante norte e oeste recebem intensa insolação a partir do meio dia até metade do período da tarde, por isso, as vertentes norte, nordeste, oeste e noroeste são sempre mais quentes quando comparadas as de outras orientações.

Ao analisar a carta de orientação das vertentes (Figura 22), nota-se que as áreas ao norte e ao sul do município contam com predomínio de vertentes direcionadas ao noroeste e sul. Ao se tratar especificamente do perímetro urbano, verifica-se na porção sul e sudoeste (proximidades com a Serra do Japi) a presença majoritária de vertentes voltadas ao leste e noroeste com alguns casos direcionados ao norte, enquanto que nas áreas central e norte encontra-se maior quantidade de vertentes voltadas ao sul e sudeste.

Figura 22 - Carta de orientação das vertentes de Jundiaí/SP



Quanto ao clima regional, sabe-se que o interior do estado de São Paulo é uma área de transição climática entre os sistemas tropicais e extratropicais, caracterizado por um período chuvoso influenciado por sistemas tropicais e equatoriais que corresponde aos meses de primavera e verão; e outro período quando as chuvas diminuem, fato ocasionado pela presença de sistemas polares, que corresponde às estações do outono e inverno.

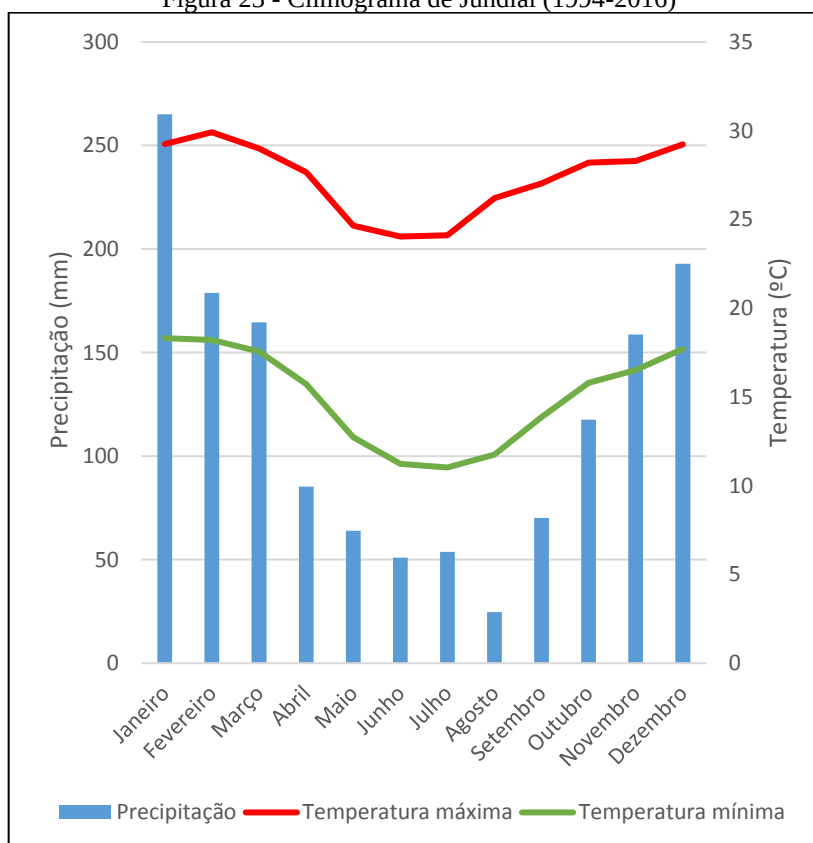
A região está sob o efeito da maioria dos sistemas atmosféricos presentes na América do Sul (massa de ar Tropical Atlântica (Ta), Tropical Continental (Tc), Equatorial Continental (Ec), Polar Atlântica (Pa), Polar Tropicalizada (Pt), Frente Polar Atlântica (FPA), Frente Quente (FQ), Instabilidade Tropical (It), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM)).

Quanto à dinâmica atmosférica regional e local, destaca-se que durante o verão, principalmente a massa tropical atlântica, porém também a massa equatorial continental em menor frequência, fornecem grandes quantidades de umidade para a região. Associadas aos vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN) e as circulações anticiclônicas, essas massas de ar podem se configurar em zonas de convergência de umidade (ZCOU) e zonas de convergência do atlântico sul (ZCAS), causando maiores instabilidades atmosféricas e intensificando a precipitação nesta época do ano.

Durante o inverno, ocorre o predomínio dos sistemas frontais e da massa polar atlântica, que pode atuar por longos períodos (até mais de 15 dias) mesmo com características diferenciadas a medida que absorve as características continental. Observa-se também a atuação da massa tropical atlântica e a intensificação da massa equatorial continental, enquanto que a massa tropical continental tem sua atuação reduzida (MENDES, 2000).

Sendo assim, Jundiaí está inserido neste contexto climático e segundo Dubreuil, et al. (2018) o clima predominante é do tipo Cwa. Em Jundiaí a temperatura média é 18,5°C e a pluviosidade média anual de 1334 mm. Como pode ser observado pelo climograma (Figura 23), os meses de junho, julho e agosto são os mais secos e frios, com somente 9% do total de precipitação, enquanto que novembro, dezembro e janeiro são os meses mais quentes e chuvosos, com 45% do total de chuva. Se comparados o mês mais seco com o mês mais chuvoso verifica-se que existe uma diferença de precipitação de 196 mm, enquanto as temperaturas médias variam 6,5°C durante o ano.

Figura 23 - Climograma de Jundiaí (1994-2016)



Fonte: CIIAGRO, 2016. Org.: Dorigon, 2017

Como já citado, a história de Jundiaí remonta ao final do século XVII, quando a região entre as colinas dos rios Guapeva, Jundiaí e do Mato, era conhecida como “porta do sertão”,

pois era rota obrigatória para as bandeiras que partiam da cidade de São Paulo e que iniciavam a entrada pelo interior pouco conhecido pelos portugueses. Em 14 de dezembro de 1655, Jundiaí foi elevada à categoria de vila, sendo seu primeiro plano urbanístico efetuado em 1657. Em 28 de março de 1865 a antiga vila passou a ser considerada uma cidade e carregou o nome de Jundiaí.

Segundo Morales (2002), até o final do século XIX a situação da cidade não se modificou muito, limitando-se a exercer atividades de abastecimento dos habitantes locais, assim como tropeiros e bandeirantes. Segundo os dados apresentados por Langenbuch (1971), em 1836 a população do Município de Jundiaí correspondia a 5.893 habitantes. De acordo com o autor,

[...] parte das casas pertenciam a agricultores residentes em suas terras e que afluíam à vila (ou cidade) apenas nos dias de ofícios e festas religiosas, ou nela residiam temporariamente. Trata-se de um fato comum nas cidades paulistas da época. No tocante aos arredores da Capital encontramos referências expressas ao fato com relação a Jundiaí e Santo Amaro (LANGENBUCH, 1971, p. 45).

O panorama começou a mudar a partir do aumento da produção cafeeira, juntamente com o desenvolvimento das ferrovias, em especial com a Ferrovia Santos-Jundiaí, que foi inaugurada em 1867, dando impulso a região. Como resultado dos investimentos ingleses (São Paulo Railway Company) a ferrovia favoreceu, de maneira intensa, o crescimento do núcleo urbano que entre 1874 e 1900 dobrou de população. Nos anos de 1874 a população do município correspondia a 7.805 habitantes, enquanto em 1900 o número total era de 14.990 (LANGENBUCH, 1971).

Conjuntamente ao desenvolvimento ferroviário, a imigração estrangeira foi também outro importante elemento histórico da formação territorial de Jundiaí. Em substituição da mão de obra escrava pela livre, em fins do século XIX, o município passou a ser polo atrativo de imigrantes, o que resultou na conformação dos primeiros núcleos baseados no regime de colonato, como foi o caso do Núcleo Barão de Jundiaí criado em 1887.

Segundo Filippini (1990), o Núcleo Barão de Jundiaí em 1887 contava com 768 indivíduos sendo 651 italianos, 105 brasileiros e 12 portugueses. Destaca-se que o grupo dos brasileiros que compunham o núcleo colonial era composto, sobretudo por filhos de imigrantes provenientes de São Caetano e São Paulo. Ao total, o núcleo era composto por 83 lotes rurais e 83 lotes urbanos. Em 1892 todos os lotes já estavam ocupados, edificadas e todos os colonos tinham a posse, existindo ainda oito olarias, uma padaria, uma oficina de carpinteiro, um sapateiro, um ferreiro e cinco casas de comércio. A autora ainda afirma que mesmo o núcleo

tendo função rural, sempre manteve relação estreita com o centro urbano através das atividades econômicas como a agricultura comercial ou o comércio ambulante, ou ainda, funcionando como reserva de mão de obra para a indústria ou para as ferrovias.

Sendo assim, após a instalação da ferrovia, Jundiaí passou a constituir um importante entroncamento ferroviário e apesar da produção de café, propriamente dita, ter perdurado somente até 1915, os investimentos oriundos da economia cafeeira iniciaram o movimento industrial na cidade. Exemplo deste fluxo foi a instalação da Tecelagem Jundiahiana, em 1874, de propriedade do Barão de Jundiaí, que num primeiro momento foi criada para a fabricação de sacaria para o café. Entretanto, em 1886, com o nome de Companhia São Bento, a indústria contava com 150 operários e dedicava-se à produção têxtil em geral.

Constata-se, então, a importância do trinômio de transportes existentes na cidade, o “trinômio ferrovia-áreas planas extensas-água pluvial”, descrito pelo geógrafo Juergen Richard Langenbuch, em sua tese de doutorado, e citada por Marques (2008). Segundo o autor, este trinômio fez com que Jundiaí se tornasse um polo de atração para instalações de indústrias. O fator geográfico no qual estava inserido o traçado da linha férrea faz-se entender esse trinômio, posto que a ferrovia segue o traçado da várzea do rio Jundiaí, área em que o terreno é plano.

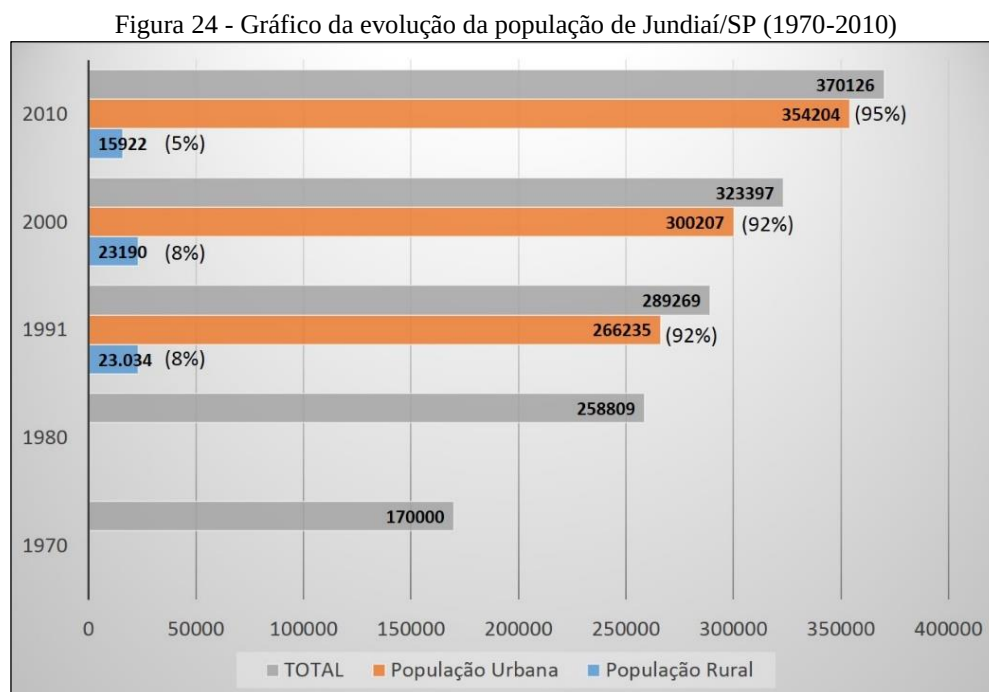
O fato de Jundiaí ter sido pioneira na sua industrialização pode ser o explicativo da sua evolução urbana, pois além do município ser um importante entroncamento ferroviário, possibilitando a integração da cidade a outros mercados consumidores, a fontes de matéria-prima e a distribuição através do porto de Santos, Jundiaí também via crescer suas relações funcionais (indústria atrai indústria) e também contava com a instalação de equipamentos energéticos – como, por exemplo, a instalação da Companhia de Força e Luz de Jundiaí, em 1903.

Na área rural do município, os imigrantes que além de funcionarem como reserva de mão de obra para as indústrias têxteis e as ferrovias, também desenvolveram as plantações de uva e deram início à produção doméstica de vinho, comercializando o pequeno excedente. Com o passar do tempo começaram a surgir as pequenas fábricas (Cantinas e Adegas) de vinho. No entanto, algumas famílias conseguiram desenvolver-se no ramo e construíram grandes indústrias.

Na década de 1940, de acordo com Marques (2008), começou a desenvolver-se a indústria cerâmica, favorecida pelo fato de a cidade contar com uma grande reserva de argila.

Sendo assim, Jundiaí conta com um crescimento populacional devido, principalmente, ao seu processo de industrialização, pois no período de 1980 a 1991 a população passou de

258.808 habitantes para 286.269. No entanto, foi no final dos anos de 1960 e começo de 1970, com a expansão da economia brasileira e o avanço da industrialização para o interior do Estado de São Paulo, que a população jundiaense foi fortemente impulsionada (Figura 24).



Fonte: NORONHA, 2008; IBGE – Censo Demográfico 2000; Censo Demográfico 2010
Org.: DORIGON, L. P. 2018

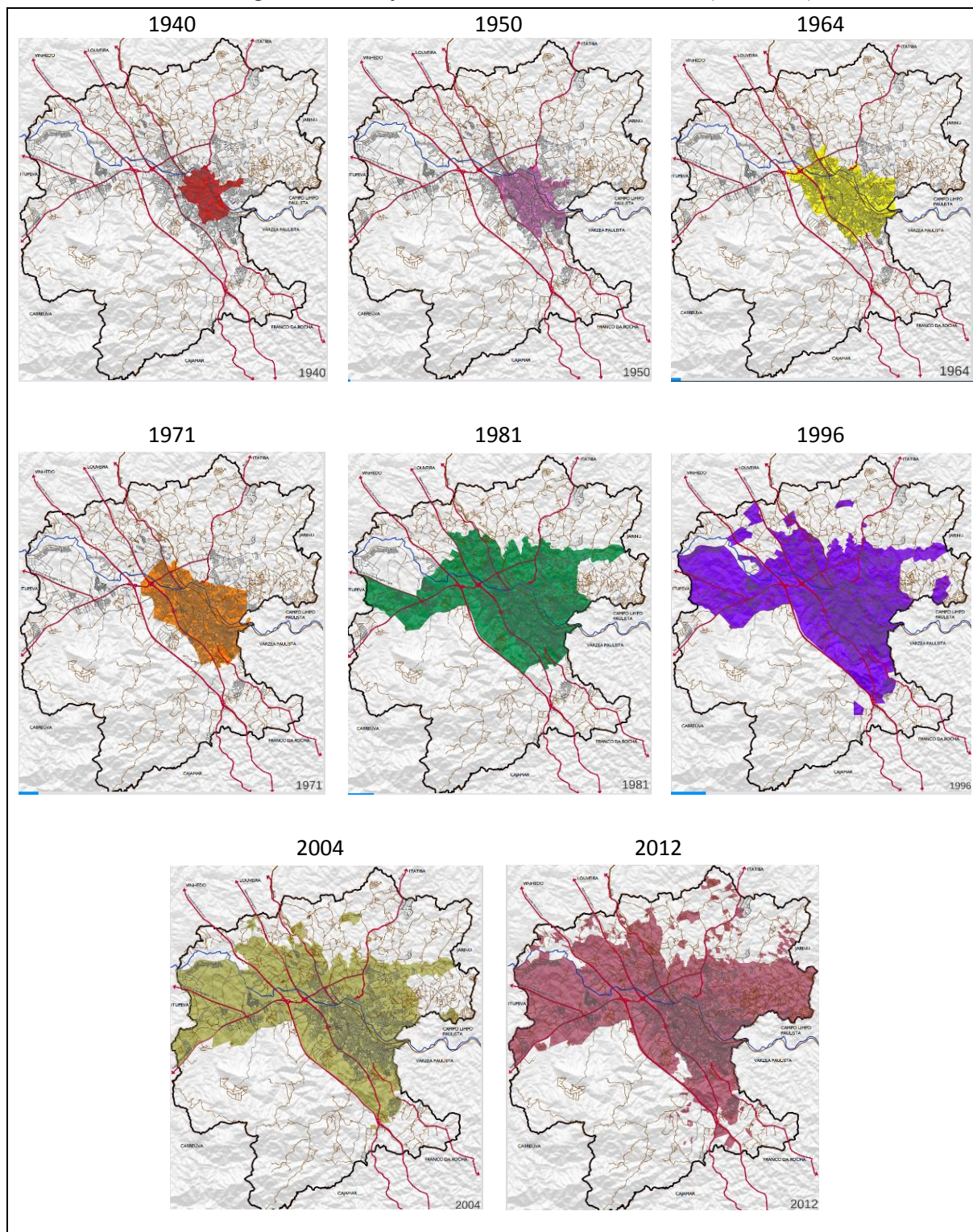
Os marcos importantes para o crescimento industrial e populacional do município foram a construção da rodovia Anhanguera em 1972 e a instalação do Distrito Industrial. Junto a isso, foi instaurado, por parte do governo municipal, o PLANIDIL – Plano de Incentivo e Desenvolvimento Industrial, no qual constava a liberdade de a prefeitura a ceder ou doar bens imóveis do patrimônio municipal, bem como conceder incentivos fiscais isentando dos impostos municipais, por até 5 anos, as empresas que se estabelecessem no município, e 50% de desconto nos anos seguintes ao primeiro quinquênio (MARQUES, 2008).

Sendo assim, a atração industrial foi grande, assim como a populacional e, portanto, de 1980 a 2000 o município cresceu em, praticamente, 60 mil habitantes, como pode ser observado no gráfico da figura 24.

A partir dos anos 2000, o setor terciário ganhou destaque no município, porém percebe-se que está subordinado aos interesses da indústria, visto que as unidades industriais estão diminuindo, porém em seu lugar, tais empresas deixam no município uma unidade de Centro de Distribuição, ou seja, não mais se encontram muitas unidades produtoras, contudo as unidades gestoras/logísticas estão presentes em grande quantidade.

Sendo assim, entende-se que o crescimento urbano de Jundiaí esteve sempre articulado e conectado com o seu processo de industrialização. A figura 25 apresenta, graficamente, a evolução da mancha urbana do município.

Figura 25 - Evolução da mancha urbana de Jundiaí/SP (1940-2012)



Fonte: Prefeitura Municipal de Jundiaí. Acesso em 20 out. 2018. Disponível em http://saladeimprensa.jundiai.sp.gov.br/PMJSITE/porta1.nsf/V03.02/smpm_mapas?OpenDocument.

Como dito anteriormente e facilmente reconhecido na figura 26, a urbanização de Jundiaí seguiu o sentido do “trinômio ferrovia – áreas planas extensas – água fluvial” de início, e após 1972 e 1978, com a implementação das rodovias Anhanguera e Bandeirantes, teve seu crescimento ao longo destas vias. Destaca-se também que foi neste período que a malha urbana passou por sua maior expansão.

De uma pequena mancha em 1940 até uma aglomeração urbana institucionalizada em 2011, a área urbana de Jundiaí vem crescendo intensivamente, sendo que em muitos locais, não mais se encontra o rural no entorno. O tecido urbano forma um contínuo com os municípios vizinhos, como pode ser observado na conturbação formada entre as cidades de Jundiaí, Itupeva, Louveira, Várzea Paulista e Campo Limpo Paulista (Figura 26).

Figura 26 - Conurbação entre as cidades de Jundiaí, Itupeva, Louveira, Várzea Paulista e Campo Limpo Paulista

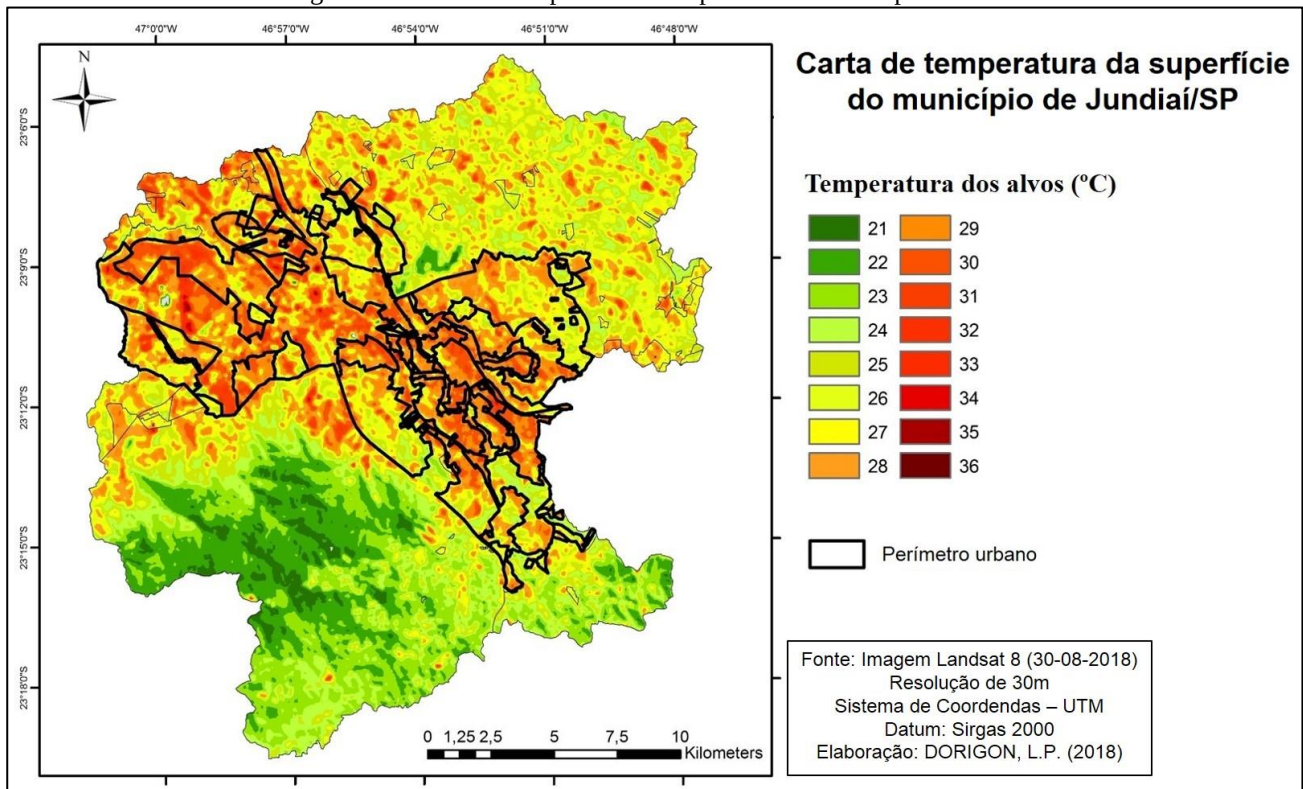


Fonte: Google Earth. Acesso em: mar/2019

A atual lógica urbana é refletida na temperatura dos alvos que compõem a paisagem da cidade. Como pode ser observado na carta de temperatura de superfície¹⁶ (Figura 27) a principal área urbanizada (ao longo do vale do Rio Jundiaí) é a que apresenta as maiores temperaturas da superfície (entre 29°C e 34°C), enquanto que as áreas mais afastadas demonstram um misto entre temperatura mais amenas (entre 22°C e 25°C) devido a presença de vegetação, em sua maioria, rasteira). Há também temperaturas elevadas nos loteamentos urbanos existentes na periferia da cidade. As menores temperaturas de superfície (21°C a 23°C) encontram-se na Reserva Biológica da Serra do Japi.

¹⁶ Carta elaborada a partir da banda termal do satélite Landsat 8 de 30 de agosto de 2018.

Figura 27 - Carta de temperatura da superfície do município de Jundiaí/SP

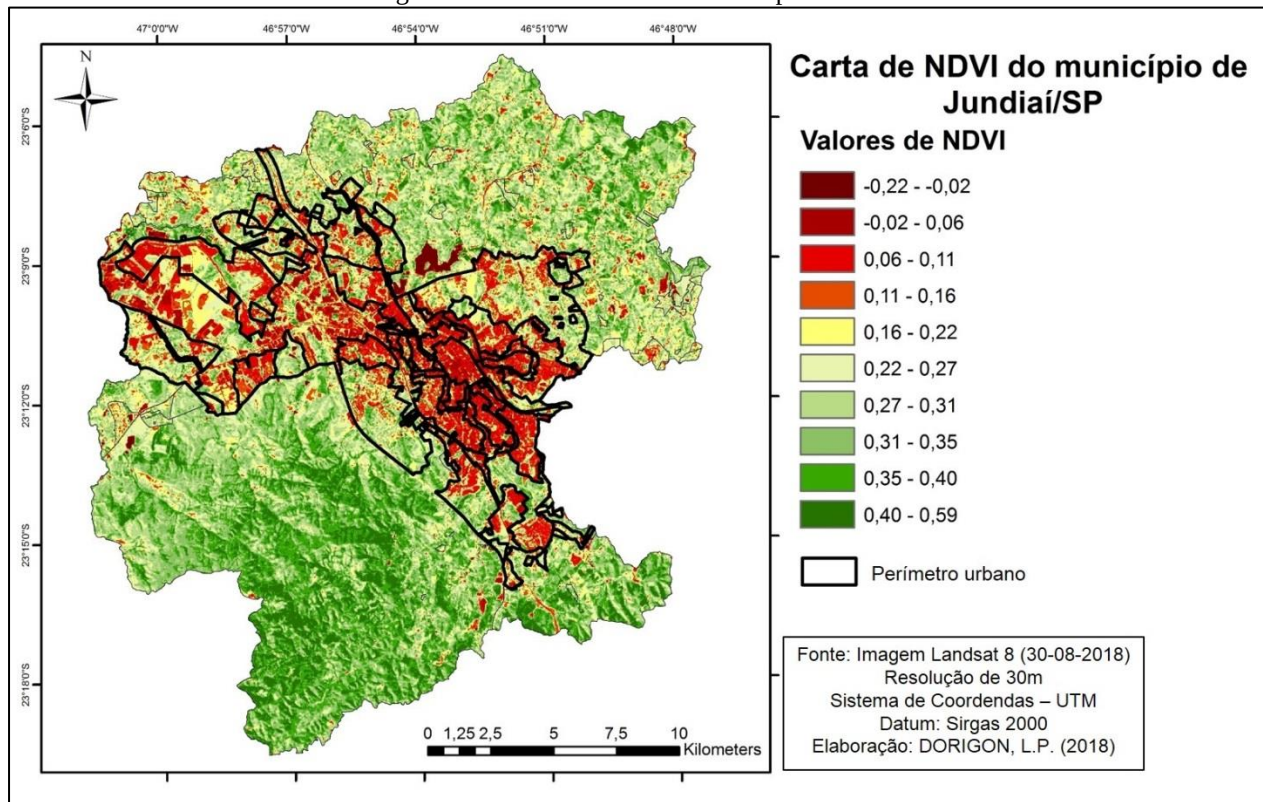


A carta de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)¹⁷ representa a presença de vegetação no município. Ao ser elaborado esse índice, os valores finais variam entre -1 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior é a atividade vegetativa no local representado pelo pixel, enquanto que valores negativos ou próximos de 0 indicam áreas de água, edificações, solo exposto, enfim, locais onde há pouca ou nenhuma atividade clorofiliana.

Sendo assim, existe a relação direta entre temperaturas elevadas na carta de temperatura da superfície e a falta de vegetação, uma vez que a área mais urbanizada do município apresenta valores negativos de NDVI, enquanto que a Serra do Japi é a região mais vegetada, e como dito anteriormente, também a de temperatura mais amena (Figura 28).

¹⁷ Carta elaborada a partir da banda verde e do vermelho e do infravermelho do satélite Landsat 8 de 30 de agosto de 2018.

Figura 28 - Carta de NDVI do município de Jundiaí/SP



Portanto, nota-se que a população e a urbanização de Jundiaí estão em processo contínuo de crescimento e devido as diferentes periodizações pelas quais passou o município, sobretudo no que se refere aos ciclos econômicos e industriais, identifica-se que a malha urbana conta com descontinuidades e diferenças significativas, por isso a necessidade e o interesse em estudar o clima urbano de Jundiaí.

5 AS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS (DETALHAMENTO DOS PONTOS DE COLETA DE DADOS)

As Zonas climáticas locais (LCZ) constituem um sistema genérico de classes de usos e coberturas da terra urbanos e rurais que podem aplicar-se a qualquer cidade, isto é, as LCZs foram pensadas para terem aplicabilidade universal. As duas grandes vantagens de utilização deste sistema é a possibilidade de uniformizar a terminologia associada aos estudos de clima urbano e a padronização da caracterização de uso e ocupação da terra para facilitar as comparações em nível internacional.

Neste sentido, esta foi a metodologia utilizada para representar as características de uso e ocupação da terra dos locais onde foram realizados os registros de temperatura. Inicialmente serão abordadas as LCZs para toda a cidade através da ferramenta do WUDAPT e na sequência encontram-se detalhadas as classificações para cada ponto mensurado através de sensores fixos e os percursos dos transectos móveis. Esses procedimentos deram subsídios para a compreensão das relações existentes entre as características das temperaturas e os indicadores ambientais e urbanos.

5.1 As LCZs através do WUDAPT

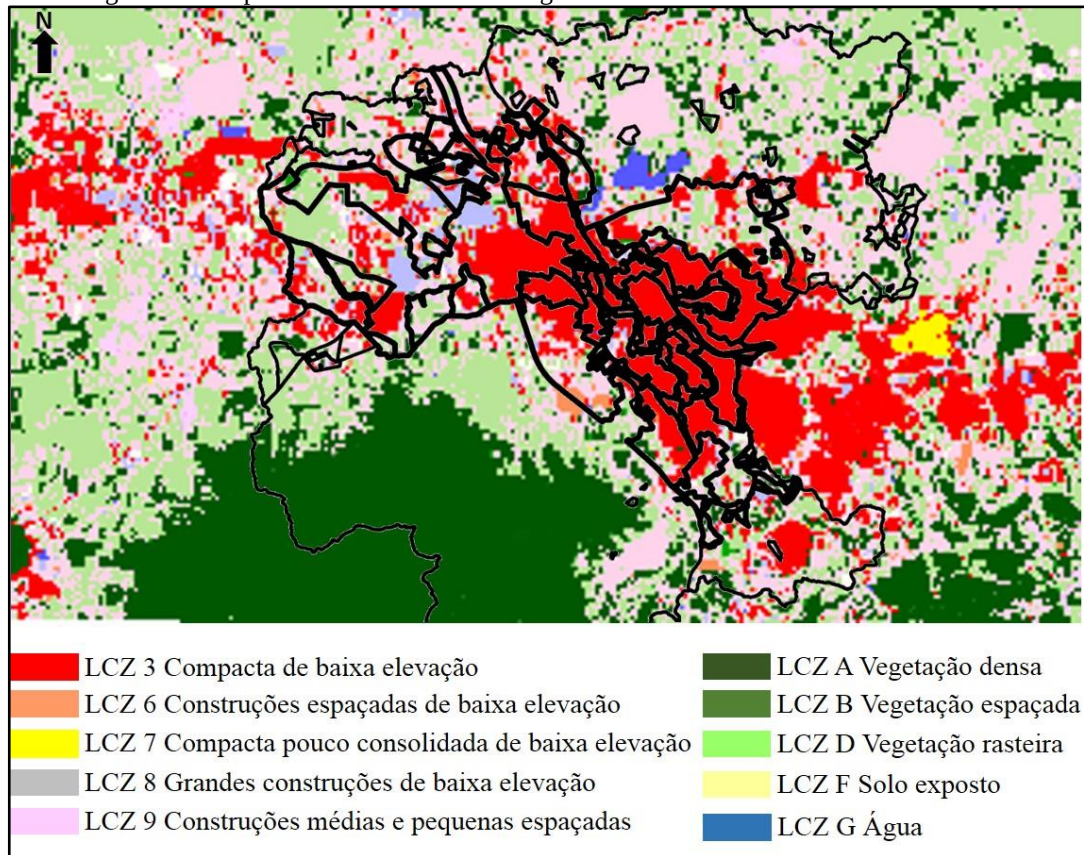
A figura 29 apresenta as LCZs de Jundiaí gerada através da ferramenta WUDAPT. Nota-se que a distinção das LCZs das áreas rurais e urbanas é bem definida, tendo no rural próximo, zonas relacionadas ao “natural”, enquanto na área urbana destacam-se as LCZs com características construídas.

Quanto a área rural, Jundiaí e região, atualmente, conta com pequenas propriedades residenciais utilizadas para o lazer aos finais de semana e/ou para atrações relacionadas ao turismo rural. Além disso, muitos loteamentos fechados de alto padrão também têm se instalado fora do perímetro urbano local. Estas características refletiram na predominância de LCZ D referente a vegetação rasteira e LCZ 9, construções médias e espaçadas.

Ao sul da imagem encontra-se a Reserva Ecológica da Serra do Japi que manteve sua vegetação preservada, destacando a LCZ A de vegetação arbórea densa. Pequenos remanescentes de Mata Atlântica são também observados por toda a área rural, por isso a distribuição desta LCZ por toda a imagem.

Apesar de estar muito próxima ao perímetro urbano, ainda na área rural, a represa para armazenamento de água para abastecimento de Jundiaí também ganhou destaque na parte norte da figura 29 com a cor azul da LCZ G.

Figura 29 - Mapa das LCZs de Jundiaí e região de acordo com a ferramenta WUDAPT



Fonte: Imagens Sentinel 2 (2017); Google Earth; WUDAPT. Elaboração: Dorigon (2018)

Quanto as áreas urbanas, constata-se a proximidade de Jundiaí e as cidades vizinhas, através da verificação da LCZ 3, compacta de baixa elevação, característica de áreas urbanizadas. Especificamente em Jundiaí, tendo seu lçperímetro urbano evidenciado pela linha mais espessa, destaca-se, além da LCZ 3, a LCZ 8, com grandes construções de baixa elevação, que dizem respeito aos galpões existentes no Distrito Industrial. Como dito anteriormente, Jundiaí não conta, atualmente, com unidades produtivas, mas sim com setores de logística e armazenamento. Por este motivo, apesar de, na classificação elaborada por Stewart (2011), conter uma LCZs para a identificação de indústrias, esta não foi a realidade encontrada na cidade. Nota-se, portanto, que com a ferramenta WUDAPT as LCZs foram bastante generalizadas, principalmente na área urbana.

Como o objetivo desta pesquisa é compreender a formação/distribuição das ilhas de calor e como estão intimamente relacionadas às características de uso e ocupação da terra, o

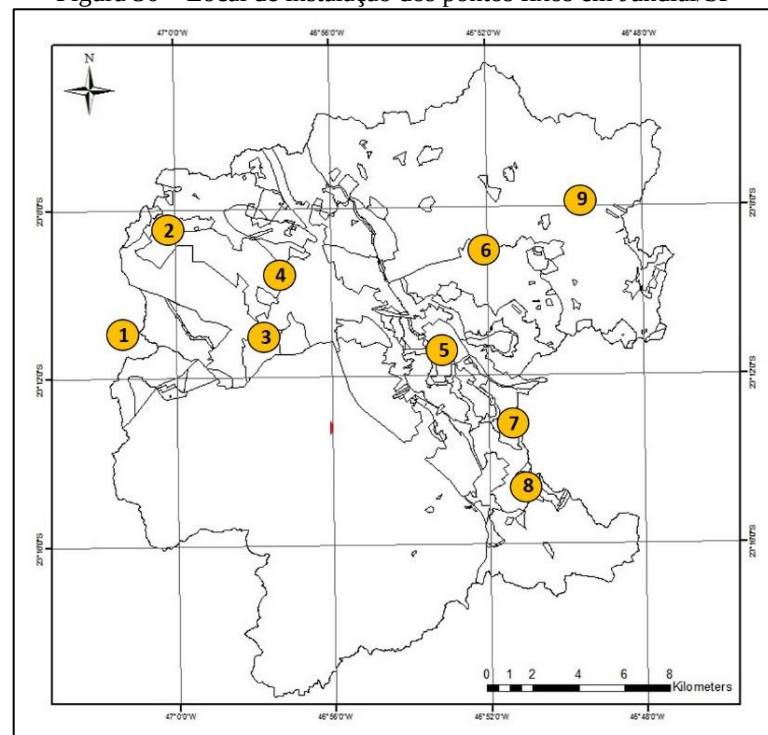
nível de detalhamento deste mapa de LCZs não permite pormenorizar as diferenças detectadas em cada ponto de coleta de dados. Logo, para detalhar os locais onde os sensores fixos foram instalados e os percursos pelos quais os transectos percorreram, foi necessária a criação individual das LCZs, para então, ser possível realizar a comparação.

5.1 As LCZs dos pontos fixos de registros das temperaturas

Com o auxílio das imagens RAPIDEYE classificadas e a interpretação visual do Google Earth, foram identificadas as LCZs dos pontos fixos de coleta de dados, de acordo com os parâmetros expostos por Stewart (2011). Foram reconhecidas 7 LCZs: LCZ 3 – Compacto de baixa elevação; LCZ 3₄ – Compacta de baixa e média elevação; LCZ3_B – Compacta de baixa elevação com vegetação espaçada; LCZ 6 – Construções espaçadas de baixa elevação; LCZ 7_G – Compacta pouco consolidada de baixa elevação com água; LCZ 8_B – Grandes construções de baixa elevação com vegetação espaçada; LCZ 9 – Construções pequenas e médias espaçadas.

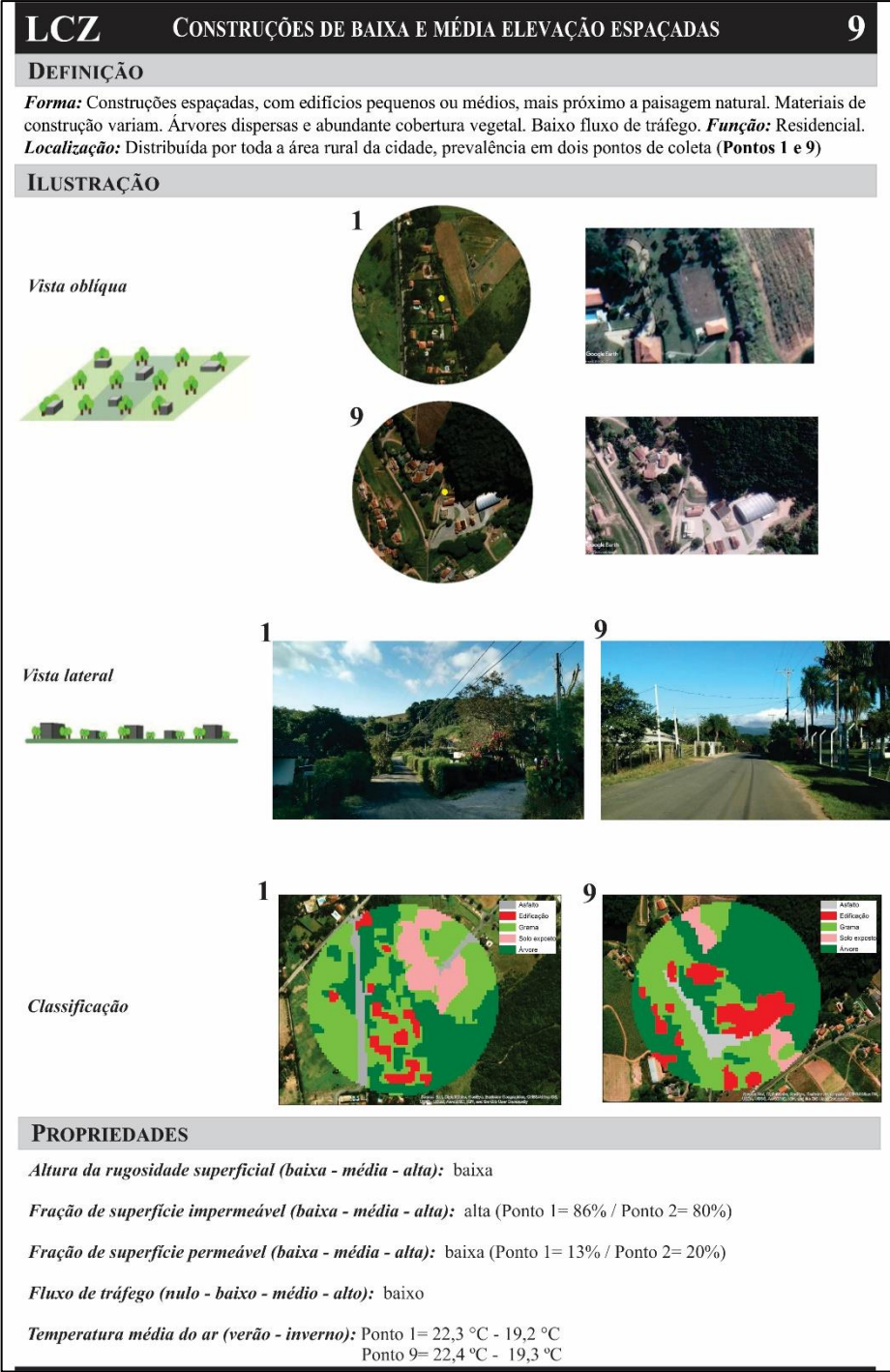
Ao todo foram instalados 10 sensores fixos de temperatura, contudo, para a análise não foi considerado o sensor da Reserva Biológica da Serra do Japi, devido a diferença de altitude (este dado somente foi utilizado no momento da elaboração da modelagem espacial da ilha de calor). As LCZs foram identificadas de acordo com as características de cada um deles (Figura 30).

Figura 30 – Local de instalação dos pontos fixos em Jundiaí/SP



O ponto 1 está localizado fora de Jundiáí, em Itupeva, porém muito próximo à divisa de municípios. Este ponto é característico da área rural de Jundiáí e região, com pequenas propriedades utilizadas para lazer aos finais de semana. Devido às características de construções espaçadas e abundância de árvores e vegetação rasteira, foi identificado como LCZ 9. Outro ponto representativo do rural foi o ponto 9 (nordeste), e este possui as mesmas características e LCZ do ponto 1. A folha síntese a seguir (Figura 31) apresenta o detalhamento desta classe.

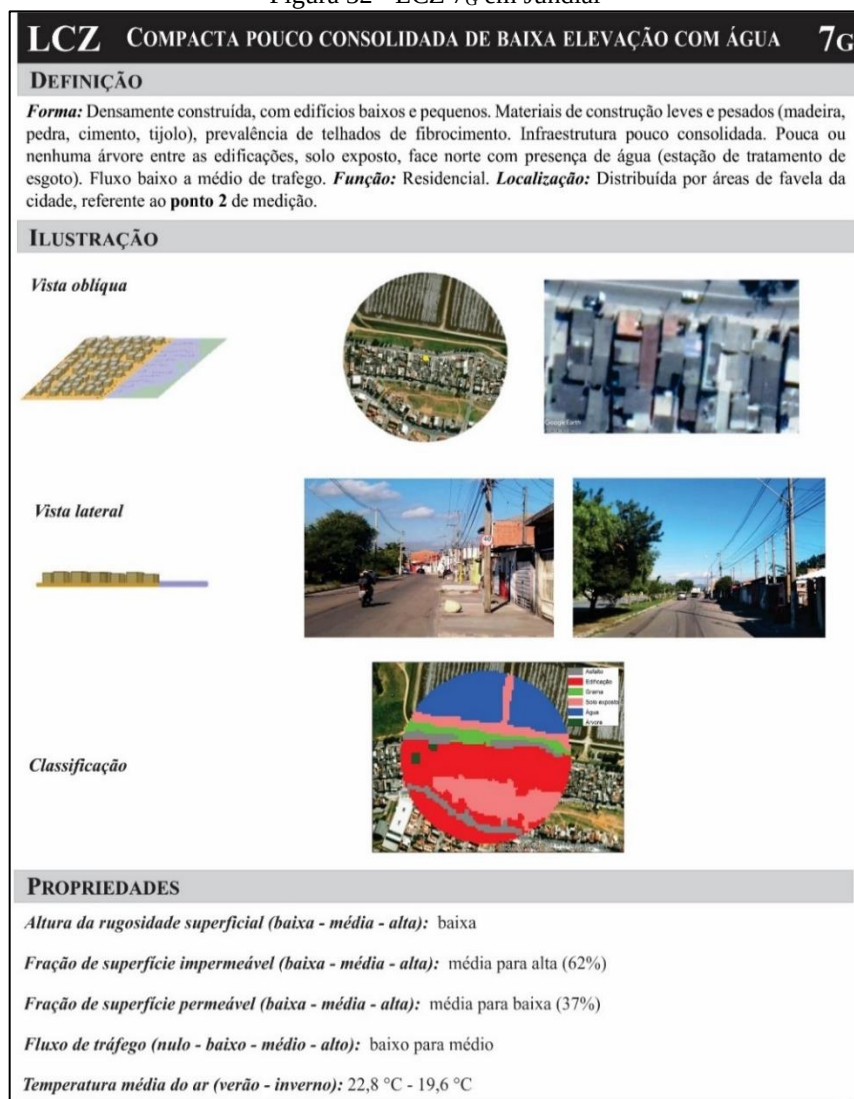
Figura 31 - LCZ 9 em Jundiáí



O ponto 2 está localizado a noroeste de Jundiaí, no bairro Jardim Novo Horizonte I. A sua formação foi marcada pela ocupação (principalmente de imigrantes dos estados do Nordeste, Paraná, Minas Gerais, além de outros trabalhadores rurais locais) sobre os trilhos abandonados da ferrovia Sorocabana em seu processo de falência. Os embates entre os funcionários da ferrovia e os primeiros ocupantes foram constantes. Interessante destacar que a consolidação de ocupação do bairro foi realizada por meio da autoconstrução em mutirões (OLIVEIRA, 2015).

Atualmente a região é formada por loteamentos pequenos e irregulares, as casas são baixas com somente um piso e com telhados de fibrocimento. Em 1998 foi concluída a construção da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Jundiaí e devido a estas características, identificou-se este local como LCZ 7_G (Figura 32), urbanização compactada, pouco consolidada e com presença de água devido a ETE.

Figura 32 - LCZ 7_G em Jundiaí



A figura 33 apresenta, as características da LCZ 3_B localizada no ponto 3. O bairro Eloy Chaves se estabeleceu na década de 1980, após o loteamento de uma antiga fazenda de café. No princípio, era um bairro isolado da cidade, tendo sua ligação feita somente através de rodovia. Atualmente, mantém sua característica residencial, contando também com muitos comércios e serviços (BERNARDINI, 2008).

Os lotes desse bairro são regulares e de tamanho médio, possibilitando a existência de árvores nos quintais. Os telhados são, majoritariamente, de cerâmica e as construções de alvenaria (pedra, cimento ou tijolo). O grande diferencial deste local, que fez com que a letra B fosse acrescentada na LCZ, é a presença de vegetação arbórea nas calçadas.

Figura 33 - LCZ 3_B em Jundiá



Em 1972 foram concluídas as obras de infraestruturas do Distrito Industrial de Jundiaí. A partir de então, as empresas já existentes na cidade e as novas que tivessem interesse em se fixar no município, tiveram que se alocar nesta área.

No mapa de LCZ elaborado com a ferramenta WUDAPT (Figura 29), a LCZ 8 foi reconhecida no Distrito Industrial de Jundiaí, uma vez que ocorre o predomínio de grandes construções utilizadas para armazenamento e distribuição. No entanto, neste local há a presença considerável de vegetação arbórea nas calçadas, nos quintais das empresas e até mesmo em terrenos ainda sem utilização. Portanto, diante dessas características, optou-se por acrescentar a LCZ B, referente a vegetação, junto a 8, que representa as grandes construções, classificando este ponto como LCZ 8_B (Figura 34).

Figura 34 - LCZ 8_B em Jundiaí



Na área central de Jundiaí encontra-se o maior aglomerado de comércio e serviços de rua da cidade. Além disso, esta área conta ainda com alguns prédios residenciais. Como pode ser notado na figura 35, esta área é densamente construída com a predominância de edificações pequenas e baixas, que abrigam os comércios, porém com alguns edifícios maiores com função residencial. Os materiais de construção utilizados incluem concreto, aço, tijolo, vidro e telhados de cerâmica e cimento. A cobertura da terra é em grande parte impermeável, com pouca ou nenhuma árvore nas calçadas e quintais. Sendo assim, o centro da cidade foi identificado como LCZ 34.

Figura 35 - LCZ 34 em Jundiaí



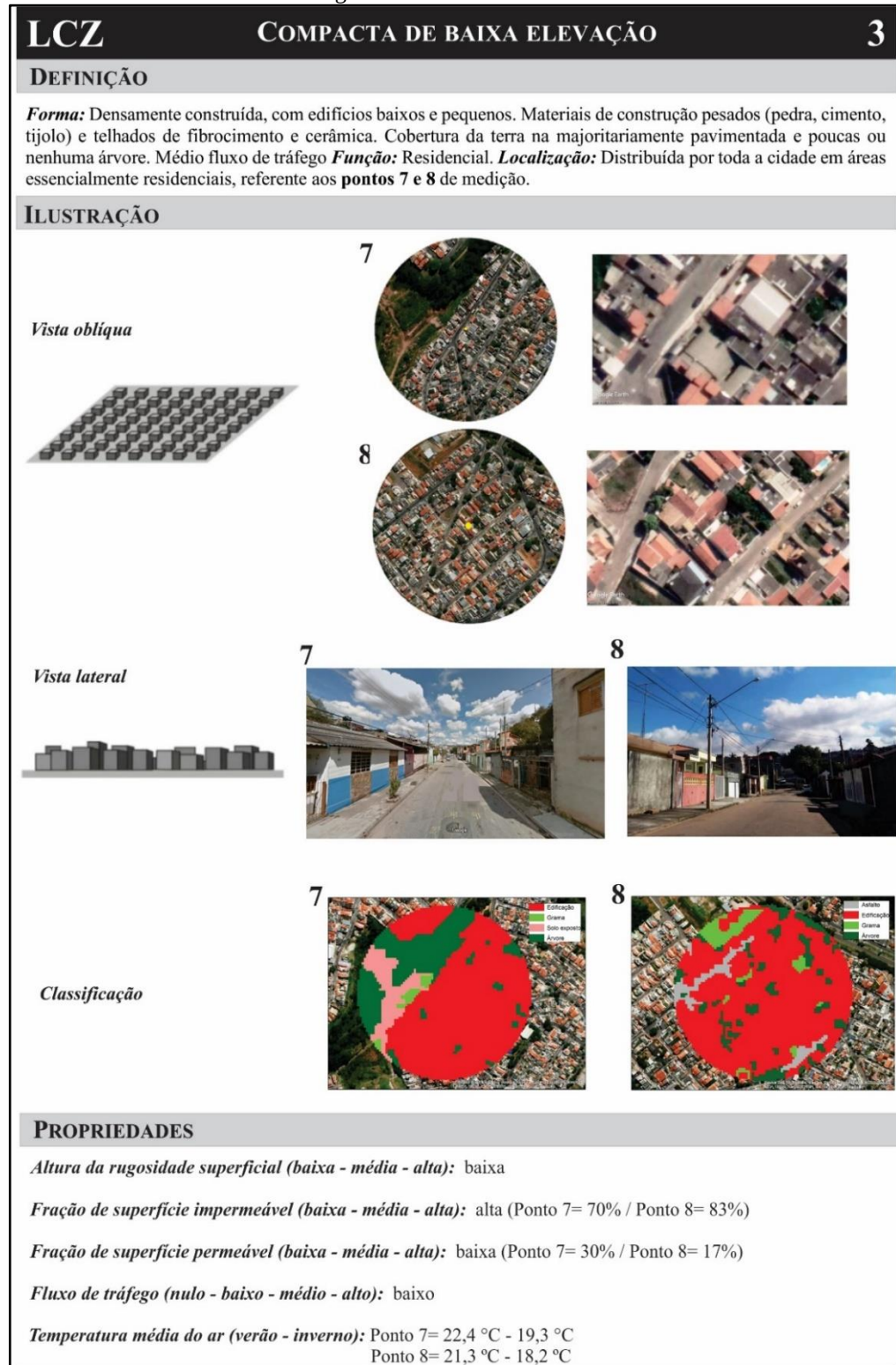
O ponto 6 é característico da maioria dos condomínios fechados de Jundiaí. Os lotes são grandes, as construções possuem entre 1 e 2 andares e é encontrada abundante cobertura vegetal, com árvores dispersas e gramados. Os materiais utilizados nas residências variam entre pedra, cimento e tijolo e os telhados são, majoritariamente, de cerâmica. Especificamente neste condomínio ainda existem muitos lotes não construídos, por isso a cobertura vegetal é ainda maior. Diante destas características, identificou-se a área como LCZ 6 (Figura 36).

Figura 36 - LCZ 6 em Jundiaí



A última LCZ verificada é a LCZ 3 (Figura 37). Assim como a LCZ 34 detectada no centro de Jundiaí, os pontos 7 e 8 estavam em locais densamente construídos, porém sem a presença de vegetação.

Figura 37 - LCZ 3 em Jundiaí



Os dois locais são, predominantemente, residenciais e com construções feitas de pedra, cimento ou tijolo. Interessante destacar que, apesar destes dois pontos representarem a mesma LCZ eles possuem algumas características diferentes. Os lotes do ponto 8 são todos de tamanho regularizado e maiores quando comparadas ao ponto 7 e, os telhados do ponto 8 são, majoritariamente, de cerâmica, enquanto no ponto 7 a presença de coberturas de fibrocimento é grande.

Estas foram as LCZs e as características detectadas nos pontos fixos de registro da temperatura. Na sequência apresenta-se o detalhamento dos caminhos percorridos nos transectos móveis.

5.2 As LCZs dos transectos móveis

O registro de dados através de transectos móveis foi realizado em dois percursos (o primeiro partindo de leste em direção a oeste e o segundo de sul para norte) dentro da área urbana e rural próximo de Jundiaí.

O percurso Leste-Oeste partiu do bairro do Igoturucaia, na divisa com o município de Várzea Paulista e percorreu a área urbana de Jundiaí até o Jardim Novo Horizonte. Ao total foram realizadas 74 medições (Figura 38).

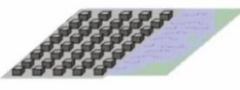
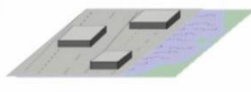
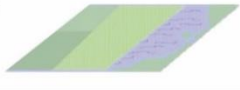
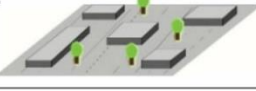
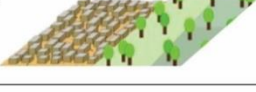
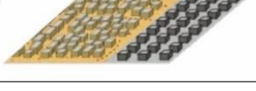
Figura 38 - Percurso Leste-Oeste



A figura 39 destaca as LCZs detectadas neste percurso. De acordo com interpretação visual foram identificadas 14 LCZs. Inicialmente o percurso passou por usos e ocupações características de áreas afastadas da área urbana consolidada, sendo, portanto, identificadas

LCZs relacionadas a área rural, 6D e B. A partir do ponto 7 até o ponto 24 ocorreu o predomínio residencial, classificada como LCZ 3.

Figura 39 - LCZs identificadas no percurso Leste-Oeste em Jundiá.

PONTOS e LCZ	REPRESENTAÇÃO	REALIDADE
1 a 3 6D (Construções espaçadas de baixa elevação com vegetação rasteira)	6D 	
4 a 6 B (Vegetação arbórea espaçada)	B 	
7 a 24 3 (Compacta de baixa elevação)	3 	
25 e 26 8G (Grandes construções de baixa elevação com água)	8G 	
27 a 29 3G (Compacta de baixa elevação com água)	3G 	
30 a 32 8G (Grandes construções de baixa elevação com água)	8G 	
33 a 35 DG (Vegetação rasteira com água)	DG 	
36 a 48 8 (Grandes construções de baixa elevação)	8B 	
49 A (Vegetação arbórea densa)	A 	
50 a 55 8B (Grandes construções de baixa elevação com vegetação arbórea espaçada)	8B 	
56 A (Vegetação arbórea densa)	A 	
57 a 63 8A (Grandes construções de baixa elevação com vegetação arbórea densa)	8A 	
64 a 71 7B (Compacta pouco consolidada de baixa elevação com vegetação arbórea espaçada)	7B 	
72 a 74 73 (Compacta pouco consolidada e consolidada de baixa elevação)	73 	

Dos pontos 25 ao 35, adentrou-se uma área nas margens do Rio Jundiaí, por isso inseriu-se a LCZ G em todas as outras identificadas. Os pontos 25 e 26, LCZ 8_G, referem-se a grandes lojas de departamento; do 27 ao 29 o predomínio foi residencial, com a LCZ 3_G; nos pontos 30 ao 32 retornou-se a LCZ 8_G devido a presença de um *shopping center* e, dos pontos 33 a 35 foram identificados terrenos baldios (LCZ D_G).

Entre os pontos 36 e 48 predominou o uso comercial, com lojas de grande extensão e baixa elevação, além da presença esparsa de árvores nas calçadas (LCZ 8).

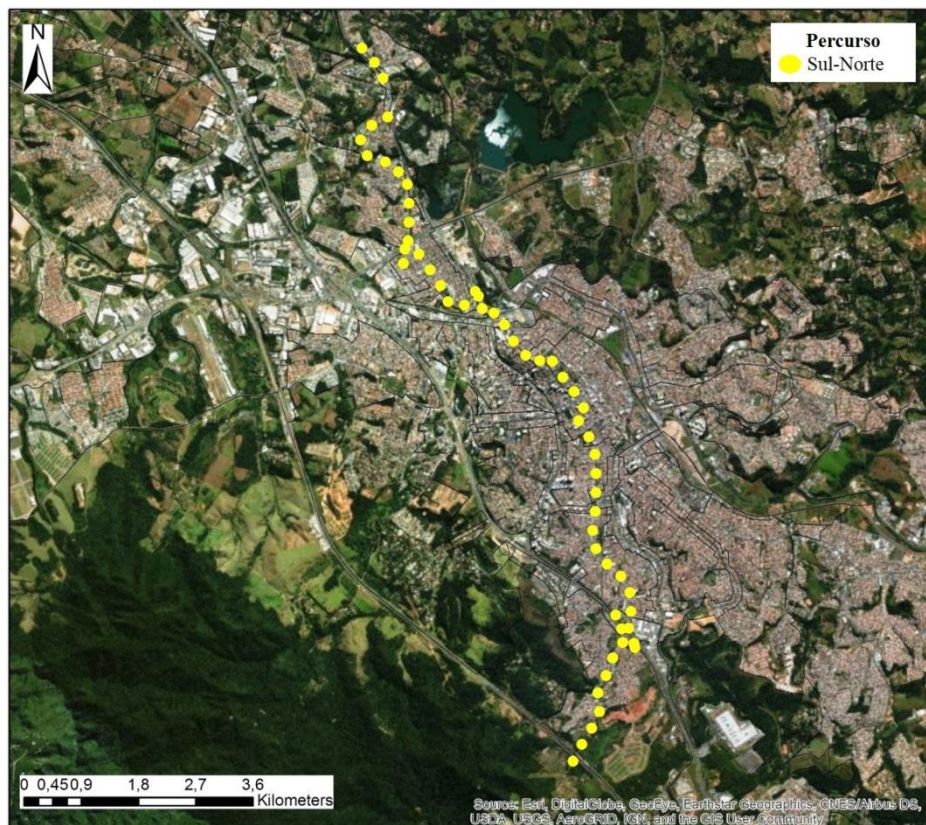
Os pontos 49 a 63 foram medidos no Distrito Industrial de Jundiaí, nas proximidades do ponto fixo 4. Como citado anteriormente, Jundiaí não possui característica de produção primária, mas sim de estocagem e distribuição. Este espaço conta com grande concentração de vegetação arbórea, além de terrenos baldios com vegetação rasteira. Sendo assim, foram identificadas as classes A - Vegetação arbórea densa; 8_B - Grandes construções de baixa elevação com vegetação arbórea espaçada e 8_A - Grandes construções de baixa elevação com vegetação arbórea densa.

Por fim, os últimos registros de temperaturas deste percurso ocorreram entre os pontos 64 e 74, no Jardim Novo Horizonte I e II, nas proximidades do ponto 2 de coleta com sensor fixo. Este é um local com construções pouco consolidadas, loteamentos pequenos e irregulares e telhados de fibrocimento. O uso residencial é feito de um lado do arruamento, enquanto que o outro apresenta cobertura rasteira e árvores esparsas e em uma pequena parte, nos últimos pontos de registros, encontra-se um novo loteamento popular. Neste sentido, foram detectadas as LCZs 7_B - Compacta pouco consolidada de baixa elevação com vegetação arbórea espaçada e LCZ 7₃ - Compacta pouco consolidada e consolidada de baixa elevação.

Já o percurso Sul-Norte partiu do bairro Santa Clara, na borda da Reserva Biológica da Serra do Japi e terminou no Jardim Centenário, na divisa com o município de Louveira. Ao total foram realizados 57 registros (Figura 40) e identificadas 17 LCZs ao longo do percurso.

A figura 41 apresenta as LCZs identificadas e as representações de cada uma delas. No início do percurso, devido à proximidade com a Serra do Japi detectou-se a LCZ A – Vegetação arbórea densa. Entre os pontos 3 e 5 encontram-se o início das edificações, porém ainda de forma espaçada (LCZ 6).

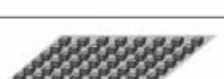
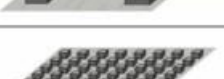
Figura 40 - Percurso Sul-Norte



A partir do ponto 6 adentrou-se a área urbana consolidada de uso residencial. Até o ponto 24 foi identificada a LCZ 3, exceto de 9 a 12 nos quais foi percorrido a Rodovia Anhanguera, sendo estes classificados como LCZ E. Os pontos de 25 a 28 foram medidos no centro da cidade, nas proximidades do ponto 5 dos sensores fixos. Esta área possui a maior rugosidade de Jundiaí, por isso foi classificada como LCZ 3₄ – Compacta de baixa e alta elevação.

Entre os pontos 29 e 32, ainda no centro da cidade, foi identificada a LCZ 3 devido a continuidade do adensamento de construções de uso comercial. Já os pontos 33 e 34 corresponderam a LCZ E devido a cobertura asfáltica do local. Nos pontos 35 a 38 retornou-se a LCZ 3_B, em um bairro residencial que conta com árvores nas calçadas e nos quintais das residências.

Figura 41 - LCZs identificadas no percurso Sul-Norte em Jundiaí.

PONTOS e LCZ	REPRESENTAÇÃO	REALIDADE
1 e 2 A (Vegetação arbórea densa)	A 	
3 a 5 6 (Construções espaçadas de baixa elevação)	6 	
6 a 8 3 (Compacta de baixa elevação)	3 	
9 a 12 E (Pavimentação)	E 	
13 a 24 3 (Compacta de baixa elevação)	3 	
25 a 28 34 (Compacta de baixa e alta elevação)	34 	
29 a 32 3 (Compacta de baixa elevação)	3 	
33 e 34 E (Pavimentação)	E 	
35 a 38 3B (Compacta de baixa elevação com vegetação arbórea espaçada)	3B 	
39 a 43 3 (Compacta de baixa elevação)	3 	
44 E (Pavimentação)	E 	
45 a 47 3A (Compacta de baixa elevação com vegetação arbórea densa)	3A 	
48 a 50 3 (Compacta de baixa elevação)	3 	
51 e 52 6 (Construções espaçadas de baixa elevação)	6 	
53 e 54 3 (Compacta de baixa elevação)	3 	
55 8 (Grandes construções de baixa elevação)	8 	
56 e 57 3 (Compacta de baixa elevação)	3 	

Entre os pontos 39 e 43, o uso residencial ainda foi predominante com alto grau de adensamento construtivo. Entretanto, a presença de vegetação diminuiu consideravelmente, por isso identificou-se a LCZ 3. O ponto 44 foi registrado na rodovia, resultando na LCZ E.

A partir do ponto 45 até o 50 o uso residencial de forma adensada foi majoritário (LCZ 3). Entretanto, do ponto 45 ao 47, do lado direito da rua, encontrou-se vegetação densa, justificando a inserção da LCZ A junto da 3. Os dois próximos pontos, 51 e 52, foram medidos nas proximidades de um condomínio fechado com características parecidas ao ponto 6 dos sensores fixos. Devido ao espaçamento das construções e a presença de vegetação arbórea e rasteira, identificou-se a LCZ 6.

Os últimos pontos, 53 a 57, exceto o 55 que se refere a garagem dos ônibus urbanos de Jundiaí (LCZ 8), foram identificados como LCZ 3, devido ao uso residencial de forma adensada. Contudo, as características de construção foram diferenciadas. Os pontos 53 e 54 apresentaram lotes regulares e maiores com telhados de cerâmica, enquanto que nos pontos 56 e 57 predominou lotes pequenos, irregulares e telhados diversificados, com muitas residências com cobertura de fibrocimento.

Sendo assim, reconhecendo as diferenciações de construções e estruturação urbana foi possível tecer considerações sobre as distintas temperaturas medidas no intraurbano de Jundiaí.

6 AS ILHAS DE CALOR EM JUNDIAÍ ATRAVÉS DOS PONTOS FIXOS

A identificação mais simples das ilhas de calor urbanas se refere ao cálculo de sua intensidade considerando-se a diferença entre a temperatura da área urbana e da área rural. Para essa comparação foram calculadas as diferenças das temperaturas médias horárias, considerando-se os dados registrados em um sensor urbano (LCZ 3₄ com as maiores intensidades) e outro rural (LCZ 9, com os menores valores) (ΔT_{u-r}).

A tabela 5 possibilita a análise da evolução horária e mensal das ilhas de calor no período em que foram feitos os registros de campo com sensor fixo.

Tabela 5 - Intensidade horária média da ilha de calor em Jundiaí - abril a dezembro de 2017

2017									
HORA	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
00h	3,1	3,2	3,6	5,1	3,6	5,1	2,9	2,0	1,8
01h	3,1	3,2	3,7	5,0	3,8	5,3	2,9	2,1	1,7
02h	2,9	3,1	3,8	5,0	3,9	5,2	2,8	2,2	1,8
03h	2,9	2,9	3,9	5,0	3,8	5,2	2,7	2,1	2,0
04h	2,8	2,8	4,0	4,9	3,6	5,2	2,7	2,3	2,1
05h	2,8	2,8	4,0	4,8	3,6	5,2	2,7	2,3	2,2
06h	2,7	2,6	4,0	4,8	3,7	5,1	2,0	2,3	2,2
07h	2,4	2,6	4,0	4,6	3,3	4,1	1,0	2,8	2,8
08h	1,7	2,0	3,4	4,0	2,4	1,7	0,5	3,5	3,7
09h	1,2	1,6	2,3	2,8	1,6	0,4	0,5	3,8	3,9
10h	0,7	0,9	1,2	1,6	0,6	0,4	1,0	4,4	4,2
11h	0,9	0,6	0,6	1,0	0,6	1,0	1,5	4,0	3,7
12h	1,4	0,8	0,7	0,9	0,9	2,0	1,4	3,4	2,9
13h	1,7	1,1	0,8	1,3	1,5	2,1	1,2	2,6	2,1
14h	1,5	1,0	1,4	1,6	1,4	1,5	0,5	1,7	1,4
15h	0,8	0,5	0,5	0,7	0,3	0,4	0,2	0,8	0,5
16h	1,2	1,5	1,5	1,6	0,9	0,8	0,8	-0,1	0,1
17h	2,3	2,7	3,2	4,0	2,5	3,2	2,0	-0,8	-0,3
18h	2,9	3,2	3,5	4,8	3,3	4,3	2,9	-0,9	-0,4
19h	2,9	3,2	3,6	4,8	3,5	4,6	3,1	-0,8	-0,3
20h	2,9	3,2	3,6	4,9	3,4	4,6	3,1	-0,3	-0,2
21h	2,8	3,2	3,6	5,0	3,6	4,5	3,0	0,7	0,8
22h	2,9	3,2	3,5	5,0	3,5	4,8	3,0	1,4	1,6
23h	3,0	3,2	3,6	5,1	3,4	5,0	3,1	1,8	1,8
Precipitação	85,1	185,2	110,7	1,0	39,4	59,2	76,2	110,7	148,3

Assim como detectado em Presidente Prudente (AMORIM E DUBREUIL, 2017), através do emprego da mesma metodologia (tabela dinâmica), as maiores intensidades das ilhas de calor em Jundiaí foram registradas, predominantemente, nos meses com os menores totais de precipitações (junho, julho, agosto e setembro). Ainda nestes meses, as maiores intensidades foram noturnas, devido a capacidade térmica dos materiais urbanos em reter energia durante o dia e liberar a noite.

Já nos meses com os maiores totais de precipitação e com as maiores temperaturas, as intensidades das ilhas de calor diurnas foram maiores do que as noturnas.

As menores intensidades das ilhas de calor no período noturno nos meses chuvosos resultam do aumento da umidade atmosférica e desenvolvimento da vegetação no rural, responsáveis por segurar o calor mais próximo da superfície devido a presença da água no solo e no ar, atuando como equalizador térmico. Deste modo, o ambiente rural demora mais para perder o calor, quando se compara com o período menos chuvoso.

A partir deste primeiro exercício de aproximação às ilhas de calor em Jundiaí, serão detalhadas as intensidades medidas em todos os pontos de registros, a fim de tecer considerações sobre a distribuição deste fenômeno de acordo como as características físicas e urbanas do local.

6.1 Intensidades das ilhas de calor a partir dos pontos fixos

As ilhas de calor são bolsões de ar quente que se formam nos ambientes urbanos e para analisar sua intensidade a partir de pontos fixos foram instalados 9 sensores de temperatura em meio a malha urbana de Jundiaí e em seu entorno rural próximo. Os sensores foram programados para fazer o registro da temperatura a cada 10 minutos e no final de cada hora armazenar a temperatura média, máxima e mínima do horário.

Nesta pesquisa foram considerados os valores médios horários e para a análise aprofundada, optou-se pelos seguintes horários: 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h do período compreendido entre abril e dezembro de 2017.

Conforme apresentado nos procedimentos metodológicos, elegeu-se um ponto localizado na área rural, a leste da malha urbana (ponto 9 – LCZ 9), que apresenta características próximas ao ambiente natural, para ser considerado o ponto “0” de referência e, a partir dele, procedeu-se o cálculo da intensidade da temperatura do ar dos outros pontos, subtraindo-se o valor medido em cada um (ΔT_{u-r}).

A coleta de dados de temperatura realizou-se nas 4 estações do ano, e mesmo tendo um curto tempo de registro no verão, eles ocorreram durante a atuação de diferentes sistemas atmosféricos que proporcionam maior ou menor estabilidade no tempo. Por isso, junto a representação dos painéis espaços-temporais foi adicionado uma parte dos gráficos de análise rítmica, na qual encontram-se os dados de precipitação e os sistemas atmosféricos identificados.

Nas figuras 43 a 51 estão apresentados os painéis dos horários acima citados, os dados de análise rítmica de cada mês, além das representações das LCZs identificadas nos locais de coleta. Assim, é possível compreender a interferência das características atmosféricas e urbanas na intensidade das ilhas de calor.

Ao analisar o caráter temporal das ilhas de calor, verificou-se que, na variação diária, as maiores intensidades foram registradas no período noturno, entre 18h e 6h, enquanto no período diurno, as intensidades foram menores, chegando a formação de ilhas de frescor. Destaca-se que as ilhas de frescor (MENDONÇA, 1994; STEINECK, 1999; AMORIM, 2000 e 2017; ANDRADE e ALCOFORADO, 2008) são identificadas quando as temperaturas urbanas são menores do que a rural considerada como ponto “0”. As ilhas de frescor foram frequentes entre 9h e 15h e atingiram máximas mensais que variaram entre -2,5°C a -5,5°C.

Já o padrão de distribuição sazonal das intensidades de ilhas de calor em Jundiaí ocorreu de duas maneiras diferentes: uma referente ao período chuvoso (abril, maio, outubro, novembro e dezembro) e outra para os meses com os menores totais pluviométricos (junho, julho, agosto e setembro).

Como dito anteriormente, a elevada quantidade de água na atmosfera reduz a intensidade das ilhas de calor, uma vez que aumenta o efeito estufa, mantendo o calor, tanto das áreas urbanas quanto das áreas rurais, próximo à superfície, atuando como equalizador térmico. Sendo assim, durante o período chuvoso o desenvolvimento das ilhas de calor não foi tão elevado quanto no período seco, tendo a intensidade máxima de 8°C em momentos de estabilidade atmosférica, porém a média foi de intensidades entre 1°C e 3°C.

Já no período seco ocorreram as máximas intensidades, variando de 9°C a 11°C, sendo que estes valores ocorreram durante a noite, seguindo o padrão detectado na tabela 4. Destaque para o mês de junho, que apesar de apresentar totais pluviométricos mais elevados que abril, teve essa chuva concentrada apenas entre os dias 5 e 8 devido a uma forte Frente Fria, e manteve a estabilidade no restante do mês.

Quanto às condições atmosféricas, nos dias de atuação de sistemas instáveis – Frente Polar Atlântica (FPA), FE (Frente Estacionária), ZCOU (Zona de Convergência de umidade) e

Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) - com vento acima de 1,5m/s, nebulosidade e/ou precipitação, as intensidades foram menores ou se registraram ilhas de frescor (com intensidades abaixo de 0°C).

Já sob a atuação de sistemas estáveis, as ilhas de calor tiveram seu maior desenvolvimento, resultando nas intensidades mais elevadas da pesquisa. Amorim (2017) esclarece que estes sistemas são provenientes do anticiclone do Atlântico e do anticiclone migratório polar. O primeiro origina a massa Tropical Atlântica (Ta) e sua derivação, a massa de ar Tropical Atlântica Continentalizada (Tac), uma vez que ao se deslocar em direção ao interior absorve características continentais e perde parte de sua umidade, chegando em Jundiaí com menor quantidade de água. No segundo, em seu ramo Atlântico, ocorre a formação da Massa Polar Atlântica (Pa) e, assim como a Tac, também absorve características superficiais e se aquece, originando a massa Polar Tropicalizada (Pt).

Além das características naturais dos tipos de tempo, também os atributos encontrados na superfície, especialmente as formas de uso e ocupação da terra, condicionaram diferenças térmicas intra-urbanas e revelaram a distribuição espacial das ilhas de calor. Como pode ser notado nas figuras 40 a 48, as menores intensidades noturnas foram diagnosticadas no ponto 1, a oeste da malha urbana de Jundiaí. Este sensor foi instalado na área rural e identificado como LCZ 9 (construções pequenas e médias espaçadas). As menores intensidades ocorreram devido a presença de vegetação arbórea e rasteira e ao espaçamento entre as construções.

O ponto 6 – LCZ 6, inserido na malha urbana, porém em um condomínio fechado, também apresentou intensidades baixas, graças as características de vegetação e construção similares aos pontos da área rural. Todavia, as edificações neste ponto estavam presentes em maior número quando comparado a LCZ 9. Nota-se pelos dados de permeabilidade da cobertura da terra apresentados nas folhas sínteses de cada LCZ, enquanto a LCZ 9 tinha cobertura impermeável de 13%, na LCZ 6 o valor foi de 43%. Este fato resultou em intensidades maiores do que a da área rural, porém foi o local com menores intensidades entre os registros urbanos.

Entre as intensidades urbanas consideradas medianas nesta pesquisa (entre 2°C e 4°C) registradas durante a noite, destacam-se dois pontos que apresentaram resultados diferentes do esperado inicialmente, sendo eles: o ponto 2 (LCZ 7_G) e 4 (LCZ 8_B).

O ponto 2 (LCZ 7_G), devido a densidade e ao material das edificações - principalmente os telhados de fibrocimento – a forma irregular e reduzida dos lotes, além da pouca presença de vegetação, era considerado um dos mais propensos a apresentar fortes ilhas de calor. Entretanto, a presença de água da estação de tratamento de esgoto (ETE), possivelmente

auxiliou na redução da temperatura local, visto que muitas pesquisas comprovam a capacidade de resfriamento proveniente de corpos hídricos (THEEUWES et al., 2012; ROBITU et. al., 2004 e SAARONI et al., 2003).

O artigo publicado por Robitu et al. (2004) realizou um estudo em Bucharest, Romênia e identificou que corpos hídricos são mais eficazes termicamente quando apresentam uma superfície grande, por exemplo, o efeito de resfriamento de uma superfície de 4m por 4m foi de 1°C, sendo sentido em até 30 metros, devido a dispersão do calor pelo efeito de advecção. Em Jundiaí, a ETE possui um espelho d'água de 31000 metros quadrados, ou seja, uma grande superfície que pode auxiliar na redução de temperatura por evaporação, além de ocupar um grande espaço sem rugosidades, possibilitando a circulação livre de vento. No entanto, apesar dessa possível melhoria térmica causada pelas lagoas de tratamento, o visual e o mal cheiro ali presentes geram imenso desconforto para a população local.

O ponto 4 (LCZ 8_B) também apresentou intensidades intermediárias, devido, essencialmente, a presença de vegetação no local. Este ponto foi instalado nos fundos de uma empresa do Distrito Industrial de Jundiaí, local onde as construções são, majoritariamente, galpões com telhados metálicos ou de cimento. Entretanto, uma parcela de vegetação arbórea foi mantida no local, além da vegetação rasteira nos terrenos que ainda não foram edificadas. Por isso, mesmo sendo este um local no qual eram esperadas grandes intensidades, a vegetação minimizou os efeitos dos materiais construtivos.

Com relação à distribuição espacial das maiores intensidades no período noturno, as LCZs 3 foram as que apresentaram os maiores valores, tendo a intensidade máxima de 11°C ocorrida às 21 horas do dia 8 de setembro sob atuação da massa Polar Tropicalizada (Pt). Destaca-se que entre os dias 3 e 16 de setembro foi possível notar o padrão espacial das ilhas de calor, uma vez que foram detectadas as maiores intensidades, devido a estabilidade atmosférica mantida pela Pt.

As LCZs 3, 3_B e 3₄ são caracterizadas pela compactação e adensamento construtivo, sendo que o 3 apresenta vegetação arbórea e o 4, construções elevadas, ou seja, a compactação foi um fator relevante para o desenvolvimento das ilhas de calor em Jundiaí. Cabe destacar que a LCZ 3 foi detectada em 2 pontos de registros, o 7 e o 8, porém, algumas de suas características foram diferenciadas: o ponto 7 é marcado por terrenos pequenos e irregulares, telhados mistos, com prevalência de fibrocimento e está completamente inserido na malha urbana de Jundiaí. Já o 8 possui lotes maiores e regulares, telhados predominantemente de cerâmica, e está afastado da malha urbana, possibilitando maior circulação de vento, devido à ausência de rugosidade na

proximidade (Figura 42). Esses aspectos fizeram com que o ponto 7 fosse, na maior parte do tempo, entre 1,5°C e 2,5°C mais quente quando comparado ao 8.

Figura 42 - Localização do ponto 8 na malha urbana de Jundiaí



Quanto ao período diurno é interessante destacar que, além das LCZs 9 (ponto rural) que sistematicamente apresentou ilhas de frescor, o ponto 8 (LCZ 3), em alguns momentos, teve temperaturas menores do que as áreas rurais. Este fato pode ser explicado pela possibilidade de livre circulação do vento, como dito anteriormente.

Portanto, notou-se que a configuração e intensidade das ilhas de calor em Jundiaí seguem padrões de acordo com os tipos de tempo (atributo temporal) e com as características de superfície, especialmente o uso e ocupação da terra (atributo espacial), chegando a atingir intensidades máximas entre 10°C e 11°C no inverno em dias de tempo estável.

As intensidades elevadas das ilhas de calor podem provocar muito desconforto e várias outras consequências para a saúde das pessoas, por isso a importância de se conhecer ao máximo as características de intensidade e espacialização das diferenças de temperatura. A título de exemplo, os dias que apresentaram intensidades elevadas das ilhas de calor, alguns valores absolutos das temperaturas chegaram a 29°C, com diferença de 7°C a 8°C em relação aos pontos 1 e 9. Sendo assim, é interessante notar a frequência com que essas intensidades aparecem em cada um dos locais de registros.

Figura 43 - Variação espaço-temporal das intensidades da temperatura em Jundiaí em relação ao ponto 0 - Abril de 2017

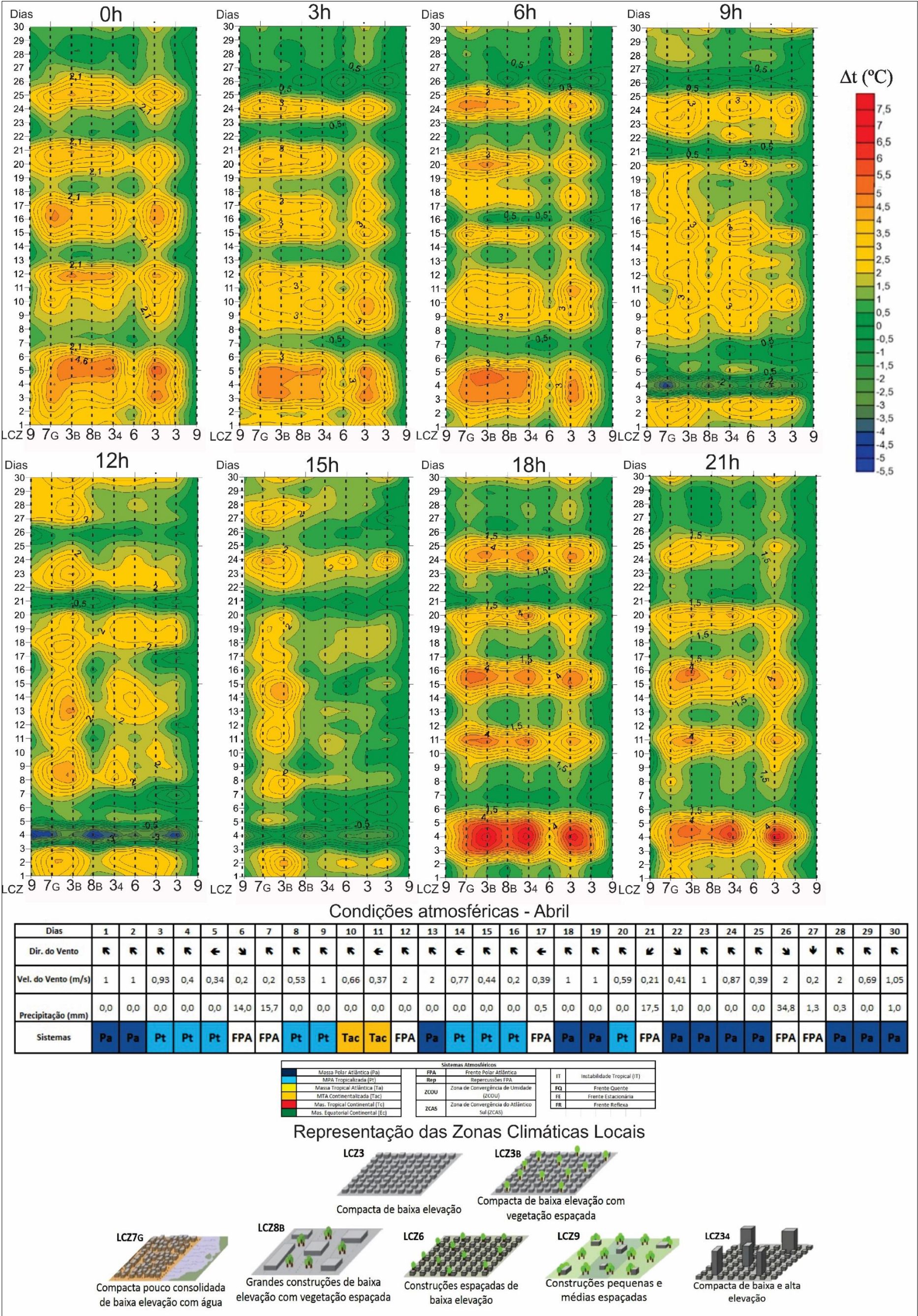


Figura 44 - Variação espaço-temporal das intensidades da temperatura em Jundiaí em relação ao ponto 0 - Maio de 2017

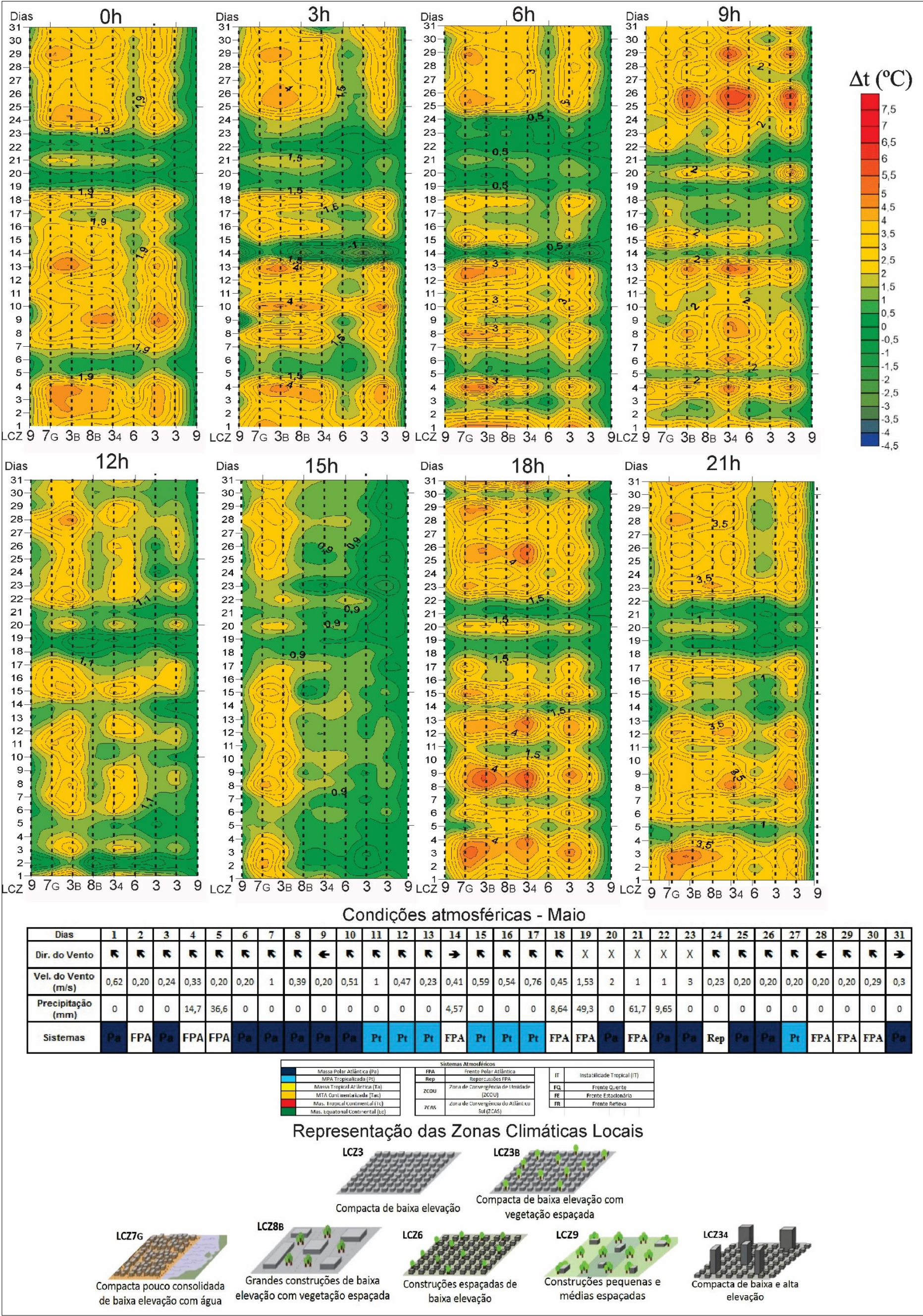
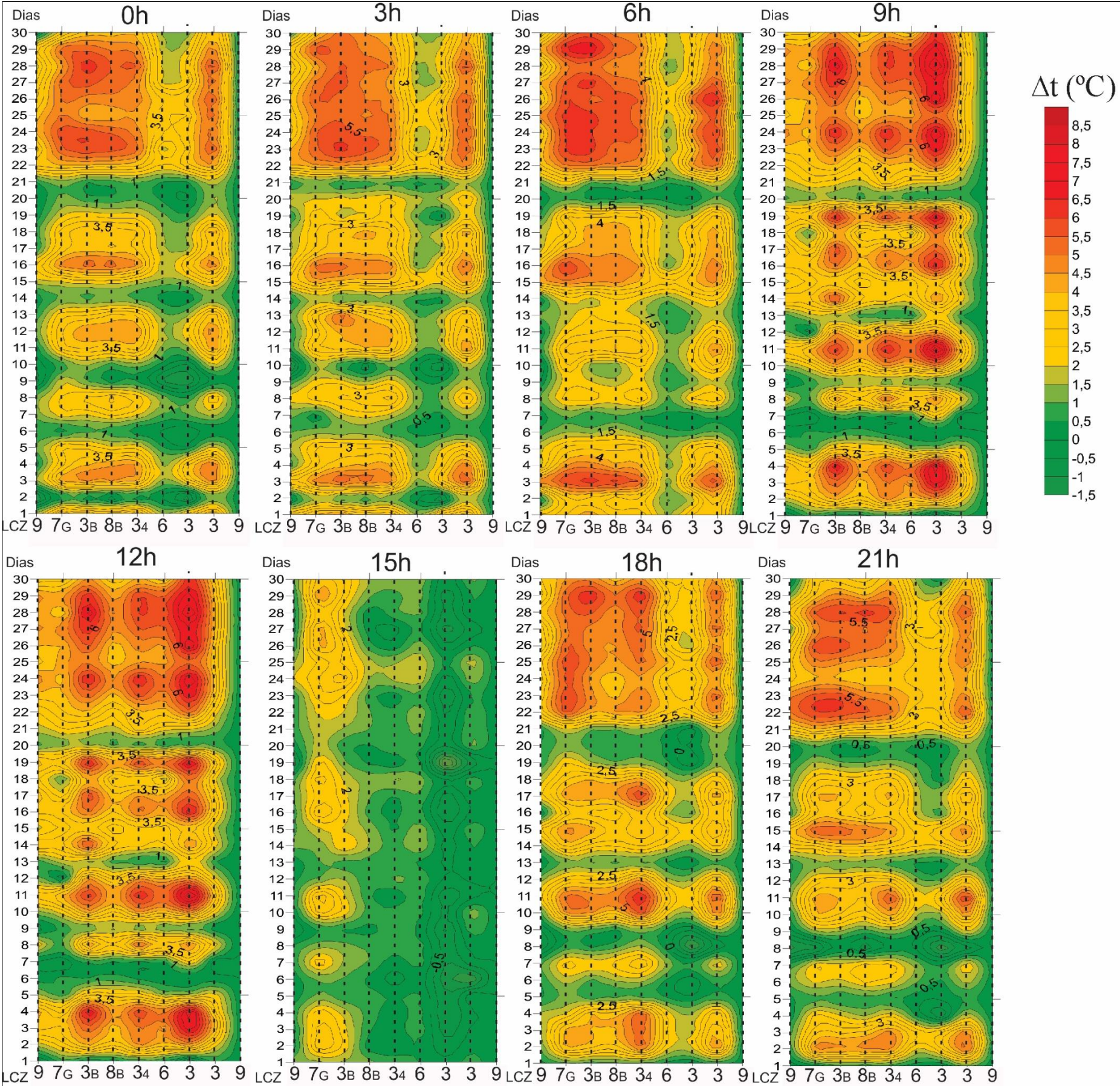


Figura 45 - Variação espaço-temporal das intensidades da temperatura em Jundiaí em relação ao ponto 0 - Junho de 2017



Condições atmosféricas - Junho

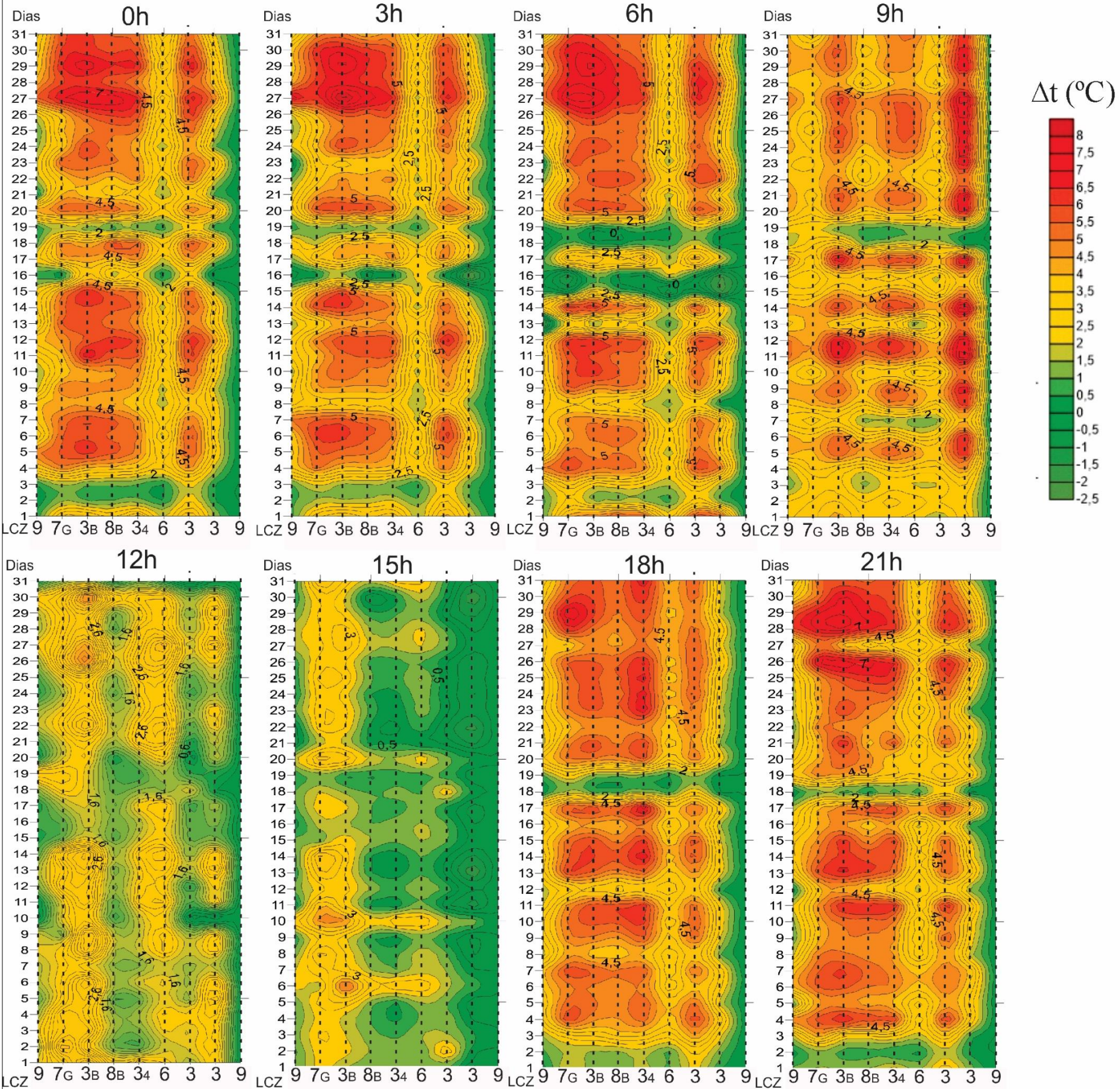
Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Dir. do Vento	↘	↘	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↘	↘	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	
Vel. do Vento (m/s)	0,64	0,2	0,4	0,21	0,21	0,45	0,22	0,22	0,22	0,22	0,3	0,2	1,2	2,2	0,63	0,22	0,22	0,22	0,22	1	1	0,32	0,44	0,31	0,44	1,44	0,2	1,2	2,2	3,2	
Precipitação (mm)	1,78	0,25	0	0,25	45,2	27,4	20,1	0	2,79	0	0	0	12,2	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0,25	0	0	0	
Sistemas	Pa	Pa	Pa	Pa	FPA	FPA	FPA	Pa	FPA	Pa	Pa	Pa	FPA	Pa	Pa	Pt	Pt	Pt	Pt	FPA	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pt	Pt	Pt	Pt

Sistemas Atmosféricos					
	Massa Polar Atlântica (Pa)	FPA	Frente Polar Atlântica	IT	Instabilidade Tropical (IT)
	MPA Tropicalizada (Pt)	Rep	Repercussões FPA	FQ	
	Massa Tropical Atlântica (Ta)	ZCOU	Zona de Convergência de Umidade (ZCOU)	FE	Frente Quente
	MTA Continentalizada (Tac)			FR	Frente Estacionária
	Mas. Tropical Continental (Tc)	ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)		Frente Reflexa
	Mas. Equatorial Continental (Ec)				

Representação das Zonas Climáticas Locais



Figura 46 - Variação espaço-temporal das intensidades da temperatura em Jundiaí em relação ao ponto 0 - Julho de 2017



Condições atmosféricas - Julho

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Dir. do Vento	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖
Vel. do Vento (m/s)	0,3	1,3	0,6	0,2	1,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	1,8	0,2	2,1	1,6	0,3	0,2	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,6	0,5
Precipitação (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0,25	0
Sistemas	FPA	FPA	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	FPA	FE	Pa	Pa	Pa	Pa	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt

Sistemas Atmosféricos					
	Massa Polar Atlântica (Pa)	FPA	Frente Polar Atlântica	IT	Instabilidade Tropical (IT)
	MPA Tropicalizada (Pt)	Rep	Repercussões FPA		
	Massa Tropical Atlântica (Ta)	ZCOU	Zona de Convergência de Umidade (ZCOU)	FQ	Frente Quente
	MTA Continentalizada (Tc)			IE	Frente Estacionária
	Mas. Tropical Continental (Tc)	ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	FR	Frente Reflexa
	Mas. Equatorial Continental (Ec)				

Representação das Zonas Climáticas Locais

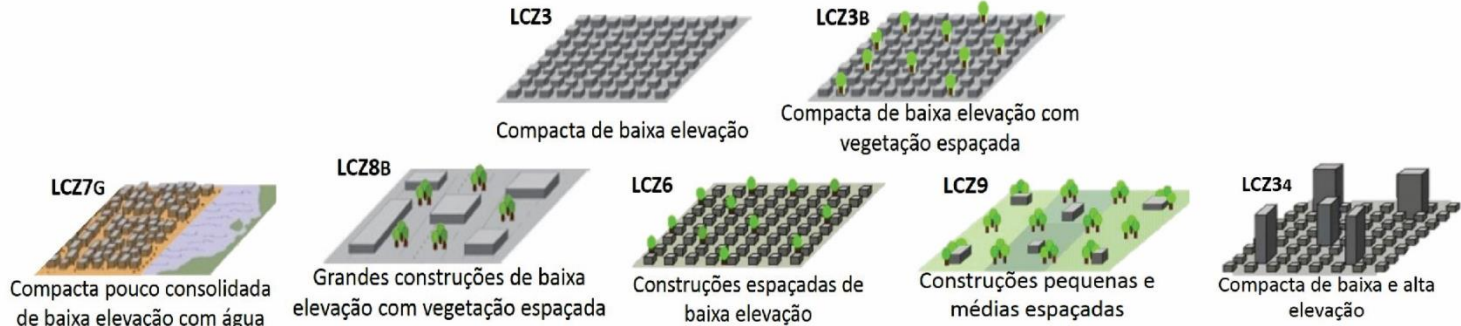


Figura 47 - Variação espaço-temporal das intensidades da temperatura em Jundiá em relação ao ponto 0 - Agosto de 2017

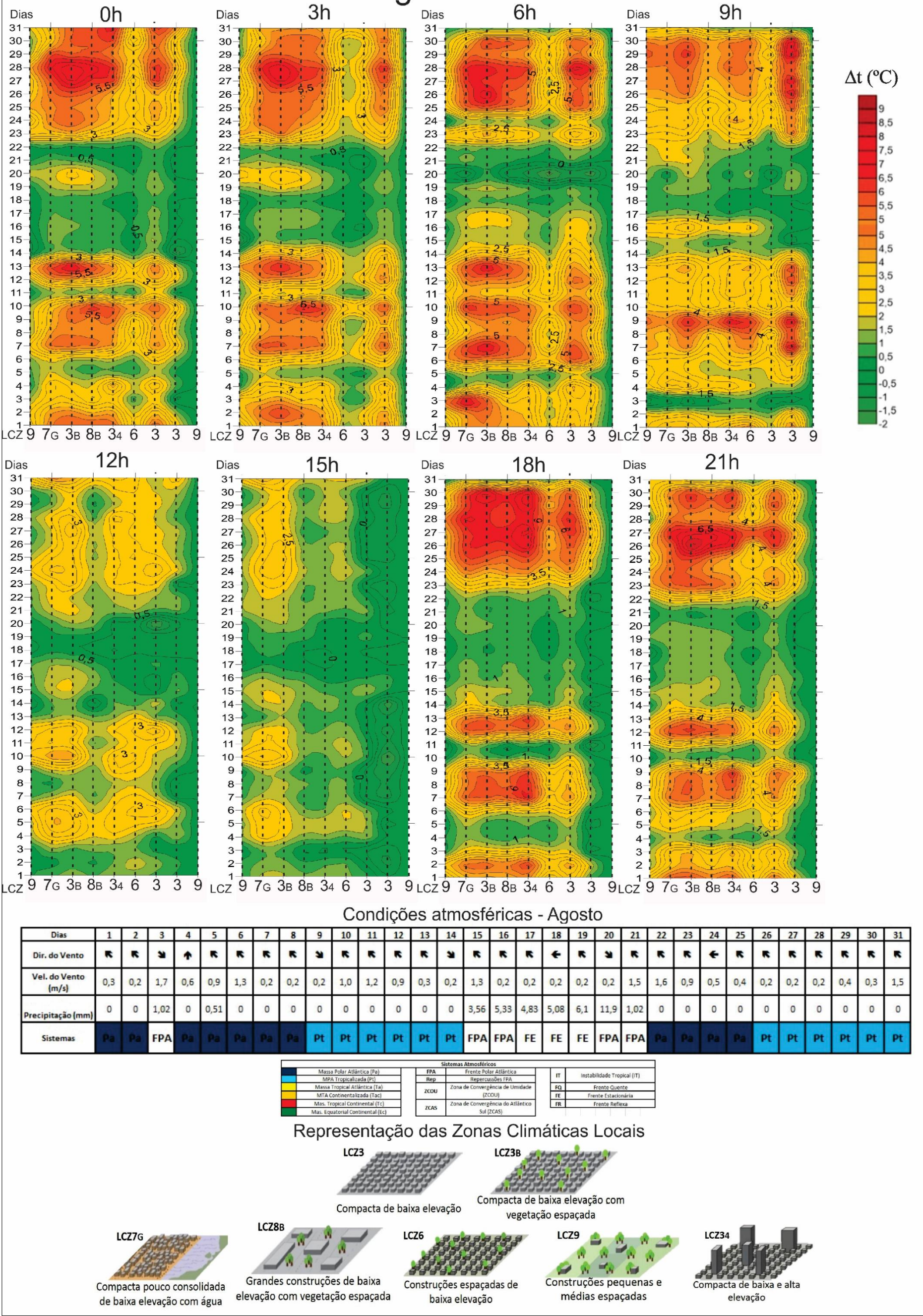
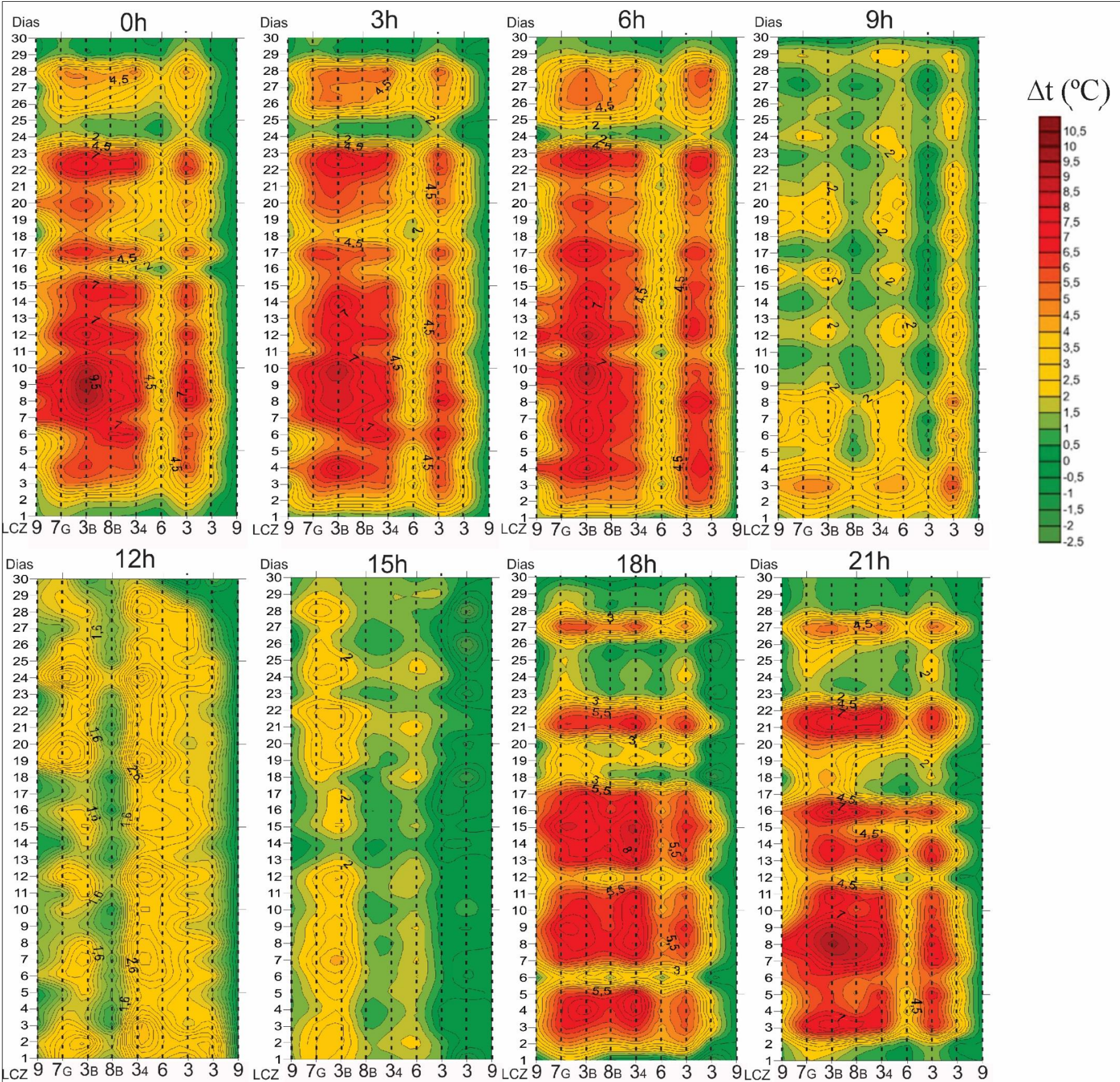


Figura 48 - Variação espaço-temporal das intensidades da temperatura em Jundiá em relação ao ponto 0 - Setembro de 2017



Condições atmosféricas - Setembro

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Dir. do Vento	↖	←	←	←	↖	↖	↖	←	↖	←	←	←	↖	←	↖	↖	←	↖	↖	←	↖	←	←	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↓
Vel. do Vento (m/s)	2	0,74	0,2	0,7	0,2	0,92	0,57	0,2	0,2	0,55	0,67	0,63	0,2	0,79	0,57	0,85	0,53	0,77	0,77	0,97	0,33	0,52	0,31	2	1,24	0,77	0,2	0,43	2	0,87
Precipitação (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,4	49,8	
Sistemas	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	FPA	FPA

Sistemas Atmosféricos			IT	
Pa	Massa Polar Atlântica (Pa)	FPA	IT	Instabilidade Tropical (IT)
Pt	MPA Tropicalizada (Pt)	Rep	FQ	Frente Quente
Ta	Massa Tropical Atlântica (Ta)	ZCOU	FE	Frente Estacionária
Tac	MTA Continentalizada (Tac)	ZCAS	FR	Frente Reflexa
Tc	Mas. Tropical Continental (Tc)			
Ec	Mas. Equatorial Continental (Ec)			

Representação das Zonas Climáticas Locais

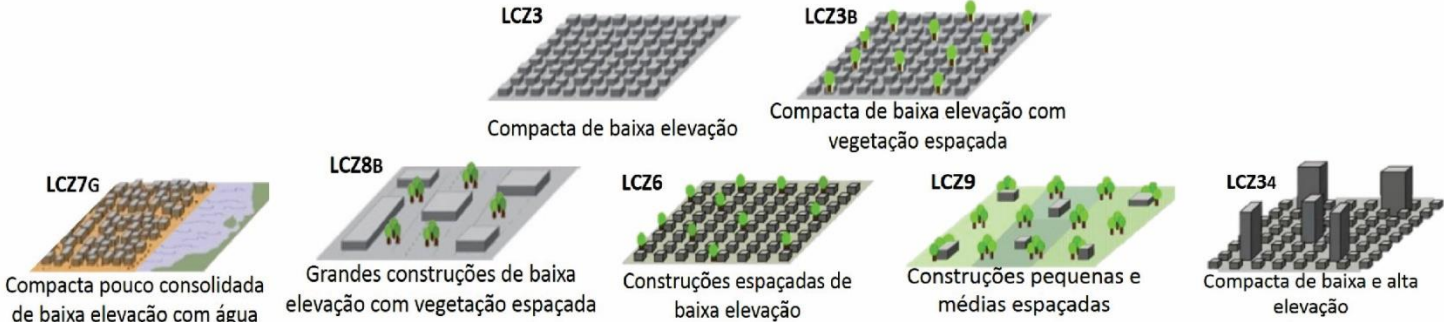
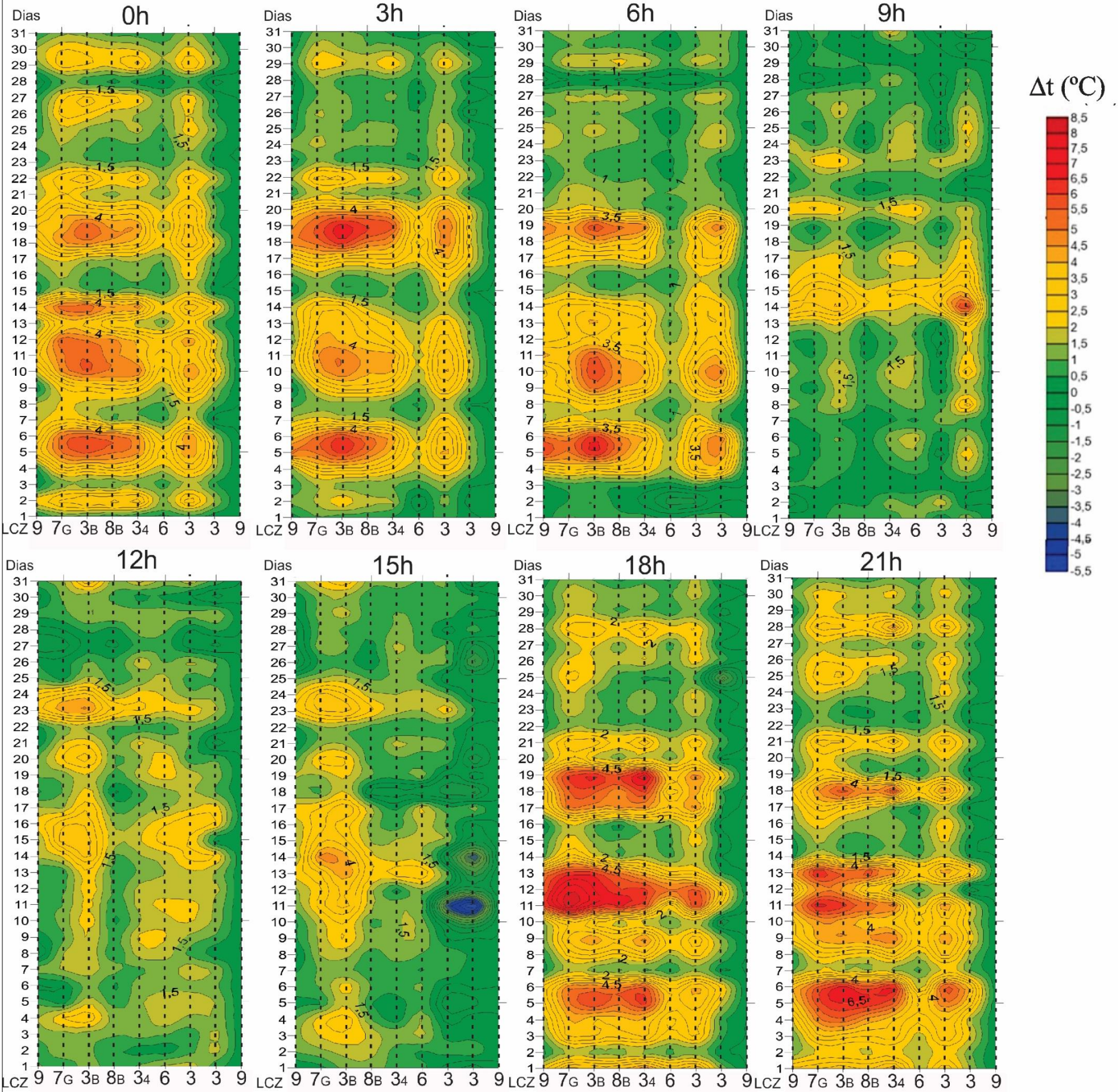


Figura 49 - Variação espaço-temporal das intensidades da temperatura em Jundiá em relação ao ponto 0 - Outubro de 2017



Condições atmosféricas - Outubro

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Dir. do Vento	↘	↘	↘	↗	←	↙	↗	↗	↙	↗	↗	←	↗	←	↗	↗	↗	←	↙	↗	↗	↗	↗	↗	↗	←	↗	↘	←	↗	↘
Vel. do Vento (m/s)	0,89	1	0,58	0,69	0,9	0,96	0,2	0,43	0,2	0,56	0,38	0,38	0,95	0,52	2	2	1	0,78	0,78	1,86	0,2	0,2	2	1	0,45	0,2	0,2	2	0,2	0,2	0,2
Precipitação (mm)	0	16,8	1,52	0	0	0	6,1	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,89	0,25	0	0	26,2	4,57	0	0	2,79	8,89
Sistemas	Pt	FPA	FPA	FPA	Pa	Pt	FPA	FPA	FPA	Pt	Ta	Ta	Ta	Ta	Ta	Ta	Ta	Ta	Tac	FPA	zcou	zcou	zcou	Pa	Pa	FPA	FPA	FPA	ZCOUZ	ZCOUZ	ZCOUZ

Sistemas Atmosféricos				IT	
Pa	Massa Polar Atlântica (Pa)	FPA	Frente Polar Atlântica	IT	Instabilidade Tropical (IT)
Rep	MPA Tropicalizada (PT)	Rep	Repercussões FPA	FQ	Frente Quente
Ta	Massa Tropical Atlântica (Ta)	ZCOU	Zona de Convergência de Umidade (ZCOU)	FE	Frente Estacionária
Tac	MTA Continentalizada (Tac)	ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	FR	Frente Reflexa
Tc	Mas. Tropical Continental (Tc)				
Ec	Mas. Equatorial Continental (Ec)				

Representação das Zonas Climáticas Locais

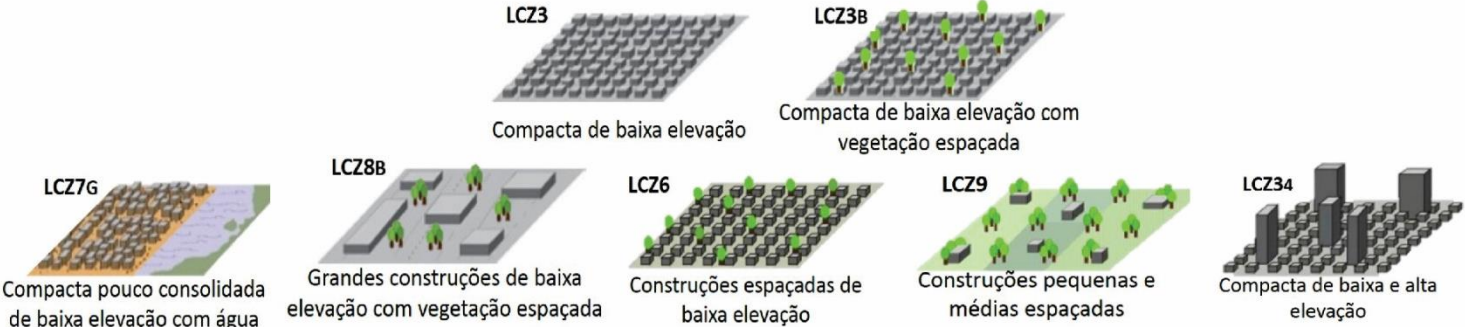
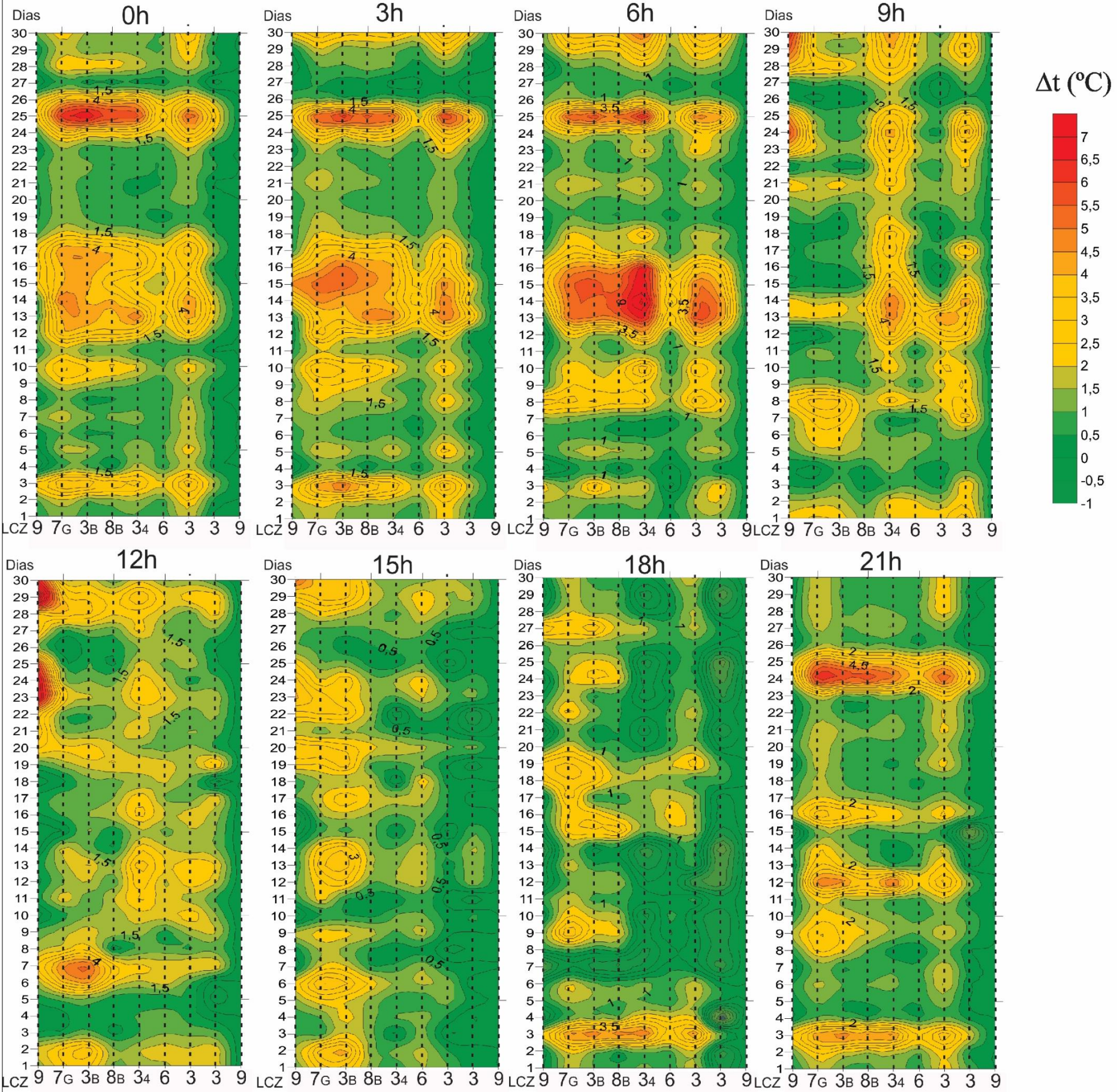


Figura 50 - Variação espaço-temporal das intensidades da temperatura em Jundiá em relação ao ponto 0 - Novembro de 2017



Condições atmosféricas - Novembro

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Dir. do Vento	↖	↖	↙	↘	↖	↖	↖	↖	↖	↙	↙	↘	↖	↖	↖	↖	↙	↙	↘	↘	↖	↗	↖	↖	↖	↘	↘	↖	↖	↖
Vel. do Vento (m-s)	1,9	1,29	0,73	1,29	0,2	0,62	0,68	0,6	0,24	0,97	0,2	0,2	1,29	0,96	0,33	0,61	0,2	0,57	0,2	0,44	0,2	0,2	1,01	0,2	1,05	0,83	0,25	0,48	1,43	0,93
Precipitação (mm)	0	0	0	23,6	0,25	0	0	0	0	9,91	3,3	0	0	0	0	0	13,7	17	2,29	0	3,56	2,29	0	0	0	16,5	18,3	0	0	0
Sistemas	Pa	Pt	Pt	FPA	Pa	Pa	Pa	Pa	FPA	FPA	FPA	Pa	Pa	Pt	Pt	Pt	FPA	FPA	ZCAS	ZCAS	ZCAS	ZCAS	Pt	Pt	Pt	FPA	FPA	Pt	Pt	FPA

Sistemas Atmosféricos					
MPA	Massa Polar Atlântica (Pa)	FPA	Fronte Polar Atlântica	IT	Instabilidade Tropical (IT)
Rep	Massa Tropical Atlântica (Ta)	Rep	Repercussões FPA	FQ	Fronte Quente
ZCOU	MTA Continentalizada (Tac)	ZCOU	Zona de Convergência de Umidade (ZCOU)	FE	Fronte Estacionária
ZCAS	Mas. Tropical Continental (Tc)	ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	FR	Fronte Reflexa
	Mas. Equatorial Continental (Ec)				

Representação das Zonas Climáticas Locais

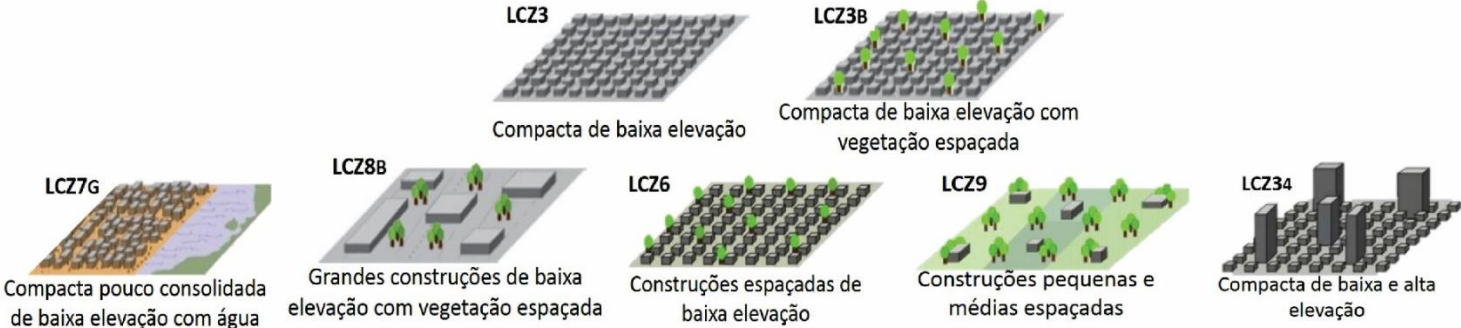
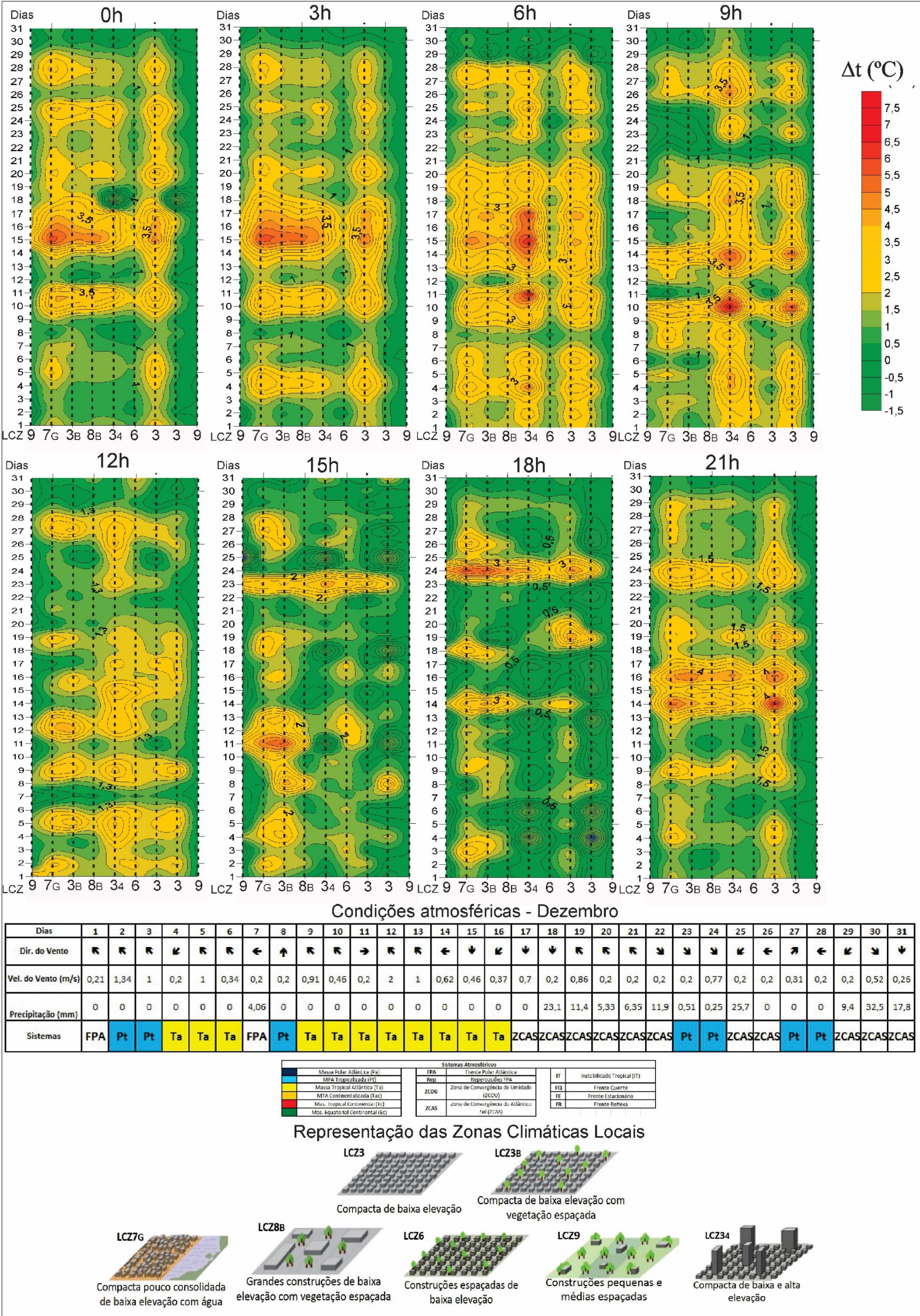


Figura 51 - Variação espaço-temporal das intensidades da temperatura em Jundiá em relação ao ponto 0 - Dezembro de 2017



6.2 Frequência das intensidades das ilhas de calor

A análise das frequências das intensidades das ilhas de calor foi feita em dias estáveis, sem presença de chuva. Para isso, foram excluídos 72 dias do total de 275 (de abril a dezembro de 2017) em que ocorreram os registros. A seleção foi baseada nos gráficos de análise rítmica elaborados com os dados da estação meteorológica de Jundiaí. Foram excluídos todos os horários dos dias em que ocorreu precipitação. A opção de retirada destes dias se deve ao fato de que as ilhas de calor não são bem definidas sob condições atmosféricas instáveis e poderiam gerar dificuldades de interpretação sobre o maior ou menor aquecimento em determinados locais.

Sendo assim, 203 dias serviram de base para a elaboração dos gráficos de intensidades das ilhas de calor em Jundiaí. A figura 53 apresenta as frequências dessas intensidades detectadas nos diferentes pontos de coleta de dados nos horários das 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h.

Confirmando as informações apresentadas na tabela 4 e nos painéis espaçotemporais (Figuras 40 a 48), o período noturno (0h, 3h, 18h e 21h) apresentou as maiores frequências de intensidades altas, enquanto durante o dia, especialmente as 9h, 12h e 15h, as frequências mais relevantes foram de intensidades baixas.

Ao analisar o período diurno, 9h, 12h e 15h, nota-se a predominância de frequências com intensidades baixas, entre 2°C e 4°C. A frequência desta intensidade foi de, em média, 40% às 9h, 54% às 12h e 65% às 15h, não apresentando grandes diferenças entre todos os pontos medidos. Às 9h foram apresentadas intensidades de 8°C a 10°C, porém com frequências muito baixas: 9% nas LCZs 3_B e 7_G; 4% na LCZ 3₄ e 16% na LCZ 3. Entende-se isto pela lenta liberação de calor dos materiais construtivos, uma vez que esses locais são caracterizados por construções adensadas e pouca presença de vegetação, que retém grandes quantidades de calor.

Às 12h e 15h, apesar das maiores frequências serem de intensidades baixas, também intensidades entre 4°C e 6°C foram detectadas. As menores intensidades se apresentaram na LCZ 9 (rural), LCZ 8_B (Distrito Industrial com grande quantia de vegetação arbórea e rasteira e lotes amplos) e LCZ 6 (loteamento de alto padrão construtivo com lotes ainda vazios e presença de vegetação arbórea e rasteira). Já as intensidades médias, entre 4°C e 6°C, foram detectadas com maior frequência na LCZ 7_G e LCZ 3_B, em consequência da alta densidade construtiva dos dois locais, além dos materiais empregados, principalmente telhados de fibrocimentos, da LCZ 7_G.

Sendo assim, percebe-se que, nestes horários (9h, 12h e 15h), a cidade pouco interfere no aumento de temperatura local, uma vez que o ponto rural (LCZ 9) e os urbanos tiveram características semelhantes por estarem igualmente suscetíveis à incidência dos raios solares.

A partir das 18h as intensidades mais elevadas começaram a ser mais frequentes. No entanto, ainda as intensidades médias, entre 4°C e 6°C, foram as que prevaleceram. Neste horário, nas LCZs 7_G, 3_B, 3 e 3₄ foram registradas intensidades entre 8°C e 10°C, sendo a maior frequência de 20% na LCZ 3₄ localizada no centro de Jundiaí com grande densidade construtiva de prédios baixos e altos e pouco ou nenhuma presença de vegetação. Vale destacar que a LCZ 3 apontada neste horário, diz respeito a primeira apresentada nos gráficos da figura 53.

Quanto ao período noturno, às 21h foram detectados os picos das maiores intensidades das ilhas de calor, com grandes frequências nos valores entre 6°C a 8°C e 8°C a 10°C, especialmente nas LCZs 3₄, 3_B e 3 que são áreas densamente construídas, com lotes completamente impermeabilizados e com pequena quantidade de vegetação. Mesmo na LCZ 3_B que possui árvores nas calçadas, as intensidades foram altas, uma vez que a quantidade de vegetação não foi suficiente para amenizar o calor retido pelas construções ao longo do dia. Ressalta-se que, assim como no horário das 18h, a LCZ 3 citada se refere a primeira apresentada dos gráficos.

Somando-se as intensidades entre 6°C a 8°C e 8°C a 10°C, essas três LCZs (3₄, 3_B e 3) atingiram, respectivamente, 43%, 40% e 60% dos dias analisados (Figura 53 - 21h). Também os pontos das LCZs 7_G e 8_B tiveram 40% dos dias ou mais com altas intensidades. Vale destacar os pontos das LCZs 3_B e 8_B, nos quais foram detectados 8% de frequência em que as intensidades das ilhas de calor ficaram entre 8°C e 10°C.

As menores frequências dessas intensidades foram registradas nos pontos representativos das LCZs 6 e 9, referentes ao loteamento fechado (2%) e a área rural (14%), respectivamente.

Cabe destacar alguns aspectos importantes na análise dos pontos de LCZ 3. Sabe-se que dois pontos foram identificados como sendo LCZ 3 em consequência de suas altas densidades de construções. No entanto, estes locais apresentam características diferentes, principalmente no que se refere ao material utilizado nas construções e nos telhados. Este fator refletiu em distintas temperaturas nos dois locais e, apesar de já ter sido destacado nas análises dos painéis espaços-temporais, os gráficos de frequências das 21h revelaram claramente essa diferenciação.

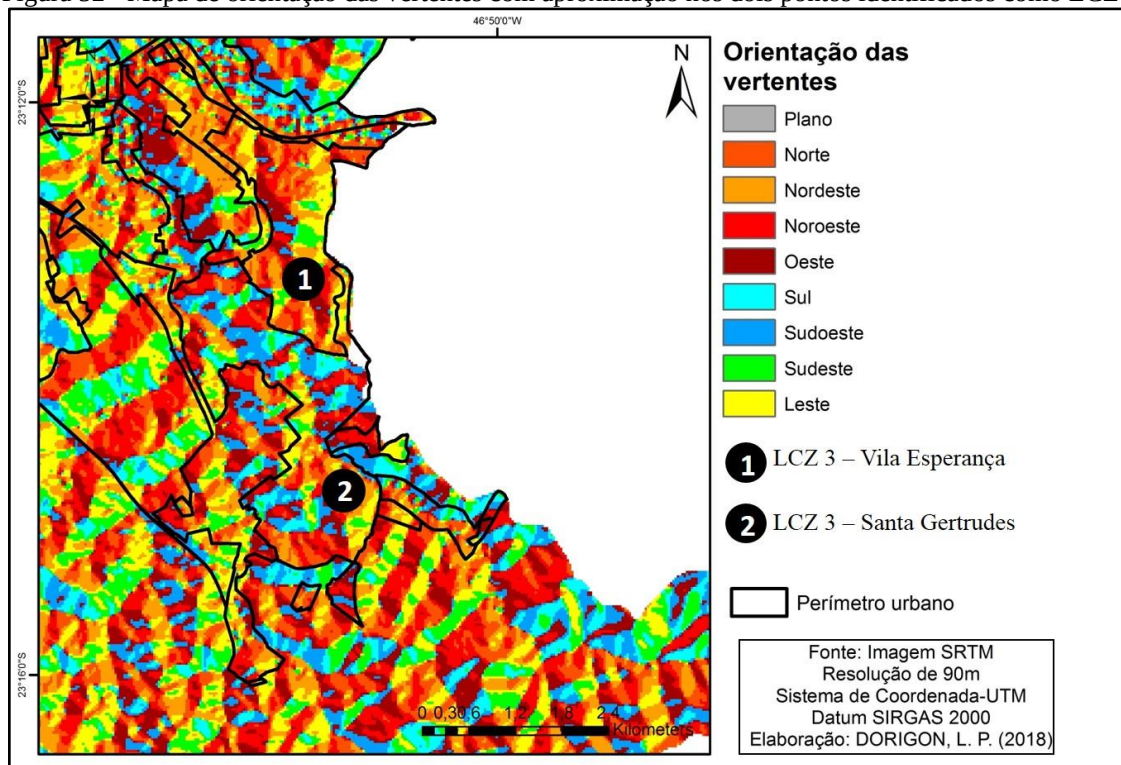
A primeira LCZ 3 apresentada no gráfico é referente ao ponto 7 de medição, bairro Vila Esperança e, como dito na caracterização das LCZs, esta é uma área densamente construída, com lotes pequenos e irregulares e cobertura de telhados predominantemente de fibrocimento,

enquanto que a segunda LCZ 3 (último dado do eixo x do gráfico) localizada no bairro Santa Gertrudes, apresenta lotes maiores, telhados majoritariamente de cerâmica e pouca vegetação rasteira nos fundos dos terrenos.

Ademais, a segunda LCZ 3, como já citado, encontra-se distante da área adensada da cidade e por isso, recebe os ventos sem grandes obstruções, fator que pode proporcionar redução da temperatura.

Outra característica importante é a posição desses locais em relação a orientação das vertentes. Como pode ser observado na figura 52, a primeira LZC 3 (Vila Esperança) está posicionada com orientações noroeste e oeste, enquanto que a segunda (LCZ 3- Santa Gertrudes) tem predominância de vertentes norte e sul. Sendo assim, a primeira LCZ 3, com vertentes orientadas para o quadrante norte e oeste, recebe maior incidência solar durante o dia, fato que também pode influenciar nas altas intensidades ali detectadas.

Figura 52 - Mapa de orientação das vertentes com aproximação nos dois pontos identificados como LCZ 3



Nos demais horários noturnos (0h e 3h), e no início da manhã (6h), as maiores frequências de altas intensidades de ilhas de calor se mantiveram nas áreas densamente construídas (LCZs 3_A, 3_B e 3) seguindo o mesmo padrão apresentado às 21h.

Para finalizar, o ponto da LCZ 6 apresentou intensidades praticamente constante em todos os horários de medição, não havendo grandes diferenças entre o período diurno e noturno.

Majoritariamente, este ponto teve grandes frequências nas intensidades entre 2°C e 4°C. Dentre todos os horários analisados, somente às 12h e às 18h a frequência desta intensidade não foi superior a 50%, dando destaque para os horários das 3h, 6h e 15h com frequências acima de 80%, 83%, 89% e 82%, respectivamente.

Deste modo, nota-se que as características da superfície, uso e ocupação da terra e orientação das vertentes, além dos tipos de tempo, contribuem para que as temperaturas sejam maiores ou menores em diferentes locais da cidade de Jundiaí. A seguir, apresentam-se os resultados obtidos através dos transectos móveis e, a partir deles será feita uma complementação das considerações realizadas até o momento, a fim de agregar informações sobre as intensidades e espacialização das ilhas de calor em Jundiaí.

Figura 53 - Frequência da intensidade da temperatura do ar às 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h



7 AS DIFERENÇAS TÉRMICAS A PARTIR DAS MEDIDAS ITINERANTES

As medições itinerantes da temperatura do ar através dos transectos móveis é uma técnica já reconhecida e bastante aplicada em climatologia urbana (OKE, 1978, 2006; BRAZEL e JOHNSON, 1980, MONTEIRO, 1990; BRANDÃO, 1996; AMORIM, 2005; JAMEI e OSSEN, 2012; DORIGON, 2015). O objetivo da realização de transectos é a aquisição de dados de temperatura e umidade do ar nas vias de fluxo livre, possibilitando correlacionar as informações com os dados coletados através dos pontos fixos, uma vez que existe correspondência entre os dois procedimentos (UGEDA JUNIOR, 2010).

Esta metodologia é relativamente de baixo custo e pode fornecer seções espaciais contínuas de toda a cidade (ou parte representativa dessa), e também gerar informações quantitativas/qualitativas das temperaturas medidas em relação aos usos da terra e as formas de relevo (OKE, 1982; AMORIM, et al., 2016).

Sendo assim, para este trabalho optou-se por realizar os registros a cada 100 metros nos caminhos pré-definidos, o que totalizou 230 pontos medidos no percurso Leste-Oeste e 170 no sentido Norte-Sul. No entanto, no momento de especializar estes dados, esse montante total dificultou a clara visualização, por isso foi feito um filtro e calculou-se a média do valor obtido a cada 300 metros, reduzindo para 74 pontos no percurso Leste-Oeste e 57 no Norte-Sul.

Ao total foram realizados 10 transectos entre o final de agosto e início setembro de 2017, todos em dias sem precipitação e com ventos fracos, sob atuação de massas de ar estáveis (Tabela 6).

Tabela 6 - Datas das realizações dos transectos móveis e sistemas atuantes

Episódio	Data - 2017	Sistema atmosférico
1	27/08	Polar Tropicalizada (Pt)
2	29/08	Polar Tropicalizada (Pt)
3	01/09	Polar Atlântica (Pa)
4	03/09	Polar Atlântica (Pa)
5	05/09	Polar Atlântica (Pa)
6	07/09	Polar Tropicalizada (Pt)
7	10/09	Polar Tropicalizada (Pt)
8	13/09	Polar Tropicalizada (Pt)
9	14/09	Polar Tropicalizada (Pt)
10	15/09	Polar Tropicalizada (Pt)

Como pode ser observado na tabela 7, a maior diferença entre o ponto com a maior e a menor temperatura foi de 9°C obtida no episódio 6, sendo que os episódios 4, 5, 6, 7, 8 e 9 foram os que apresentaram as maiores diferenças, graças, especialmente, a manutenção de estabilidade atmosférica nestes dias (3, 5, 7, 10, 13, 14 de setembro). Desde o dia 22 de agosto não havia sido registrada precipitação em Jundiaí. No entanto, ocorreram alguns dias com alta umidade relativa, como, por exemplo, no dia 01/09 (episódio 3) que teve umidade máxima de 86% e a intensidade foi de somente 2,2°C.

Nos episódios com as maiores diferenças térmicas, as umidades relativas máximas não ultrapassaram 68%, com destaque para o episódio 7 que teve uma das maiores diferenças e a menor umidade, 52%.

Tabela 7 - Diferenças térmicas máximas e mínimas dos 10 episódios de transecto móveis

Episódio	Temp. Máxima	Temp. Mínima	Diferença térmica (Intensidade)
1	19,5	15,1	4,4
2	19,4	15,9	3,5
3	17,4	15,5	2,2
4	20,8	15,4	5,4
5	20,9	13,2	7,7
6	23,8	14,8	9
7	23,5	15,5	8
8	24,5	16	8,5
9	24,8	17,1	7,7
10	25,2	22,3	2,9

A figura 54 apresenta as espacializações dos dados coletados e possibilita correlacionar estas informações com as umidades relativas das 21 horas registradas na estação meteorológica de Jundiaí. Sendo assim, confirma-se as maiores diferenças detectadas nos episódios 6, 7, 8, 9 com umidades relativas menores, enquanto que nos episódios 2, 3 e 10 detectou-se as menores diferenças térmicas e as maiores umidades relativas.

Também a velocidade do vento foi um fator importante para o desenvolvimento das maiores ou menores diferenças térmicas. Assim como ocorreu com a umidade relativa, foi possível traçar relações entre a velocidade dos ventos e as diferenças térmicas. A figura 54 apresenta os dados de ventos e fica claro que nos episódios em que as velocidades foram menores, as diferenças térmicas foram maiores, enquanto que nos episódios com ventos mais rápidos, as diferenças foram baixas, uma vez que em condições de calmaria propiciam a

ocorrência de movimentos convectivos do ar, enquanto que ventos mais rápidos geram movimentos horizontais que auxiliam na dispersão do calor.

Além dos tipos de tempos e das condições climáticas, também a geometria urbana, o uso e ocupação da terra, a densidade de construções/vegetação e a topografia local são responsáveis por intensificarem ou atenuarem as diferenças térmicas no interior das cidades. Neste sentido, os transectos móveis possibilitam essa análise, uma vez que são percorridos diferentes espaços intraurbanos.

A Figura 55 apresenta as temperaturas detectadas nos episódios mais significativos de medição (4, 5, 6, 7, 8 e 9) em forma de gráfico, além de mostrar o perfil topográfico de cada caminho percorrido e as LCZs identificadas. Como pode ser observado, existe um padrão na distribuição das temperaturas de acordo com as características urbanas e de relevo.

O primeiro gráfico evidencia as diferenças térmicas identificadas no percurso Leste-Oeste. Este caminho passou por 13 LCZs e o gradiente altimétrico foi de aproximadamente, 140 metros. Os 3 primeiros pontos foram medidos na LCZ 6_D e mantiveram diferenças térmicas em torno de 7°C.

As diferenças identificadas nos pontos 4 ao 27 revelaram a influência do relevo nas temperaturas da cidade. A diminuição da temperatura foi em torno de 4°C em 70 metros. Nos pontos 4 e 5 foi identificada LCZ B, vegetação esparsa, o que contribuiu para a queda na temperatura. No entanto, do ponto 6 ao 27 ocorreu a predominância de LCZ 3, compacta de baixa elevação, e as menores diferenças térmicas em todos os episódios foram medidas no ponto 8, justamente o de menor altitude do percurso. Ou seja, as grandes diferenças esperadas para as LCZ 3 não ocorreram devido a diferença de altitude, sendo o fundo de vale a principal variável que influenciou nas temperaturas do local.

A partir do ponto 9 as diferenças se elevaram até o 13, no qual o relevo apresentou um leve declínio, evidenciando mais uma vez a importância da altimetria na temperatura local. Do ponto 14 até o ponto 35 as diferenças se mantiveram estáveis, entre 7,5°C e 8°C, passando por LCZs características de áreas urbanas, com alta densidade construtiva, impermeabilização quase completa e pouca ou nenhuma presença de vegetação. Nem mesmo a presença de água do Rio Jundiaí, responsável pelo G das LCZs 8_G, 3_G e D_G fez com que as diferenças térmicas diminuíssem.

Dos pontos 36 a 63 as temperaturas foram medidas no Distrito Industrial de Jundiaí, e como dito na caracterização das LCZs, esse local apesar de contar com grandes galpões industriais, possui vegetação arbórea e rasteira bastante presentes. Sendo assim, as diferenças decaíram, corroborando com o detectado nas medições fixas, visto que os dados coletados pelo

sensor instalado neste local também não apresentaram grandes intensidades de ilhas de calor nos painéis espaço-temporais.

Por fim, nos últimos 10 pontos deste percurso, do 64 ao 74, foram identificadas duas LCZs: 7_B e 7₃ e as diferenças térmicas tiveram um pequeno crescimento, em torno de 0,4°C. Diferentemente do detectado no ponto fixo 2, referente a LCZ 7_G, estes apresentaram temperaturas mais elevadas devido as características locais: lotes pequenos e irregulares, telhados de fibrocimento e pouca presença de vegetação.

Quando comparadas as diferenças de temperatura entre o ponto fixo instalado nesse bairro (Jardim Novo Horizonte) e as medições realizadas pelos transectos, fica evidente a influência exercida pela água da estação de tratamento de esgoto de Jundiaí. As medidas itinerantes percorreram a principal avenida do bairro, porém não atingiram as proximidades da ETE e puderam medir as temperaturas sem essa interferência, ficando claro que as características locais proporcionaram diferenças térmicas mais elevadas.

O percurso Sul-Norte percorreu 8 LCZs distintas e o gradiente altimétrico foi de 80 metros, consideravelmente menor quando comparado ao Leste-Oeste. Este percurso se iniciou na área rural de Jundiaí, bastante próximo a área de amortecimento da Reserva Biológica da Serra do Japi, por isso a identificação de LCZ A (vegetação densa) e diferenças térmicas baixas nos pontos 1 e 2. Ademais o ponto 2 está num fundo de vale e juntando a baixa altimetria e a vegetação densa, esse local apresentou as diferenças mais baixas deste percurso, em média de 0,5°C.

Entre os pontos 3 e 5 notou-se o aumento das edificações, porém ainda dispersas e por isso a identificação da LCZ 6 e a elevação gradual das diferenças térmicas. Do ponto 6 ao 8 a densidade construtiva se elevou (LCZ 3). No entanto, as diferenças de temperaturas só aumentaram significativamente nos pontos 7 e 8, uma vez que no 6 a altimetria se reduziu, apontando novamente a relação direta entre a menor altitude e a redução de temperatura local.

A partir de então, até o ponto 34, as diferenças térmicas se elevaram, chegando a atingir a diferença máxima do percurso, em torno de 8,5°C no ponto 31 graças ao adensamento construtivo encontrado no centro de Jundiaí e suas proximidades. As LCZs desses locais foram essencialmente urbanas (LCZ 3, 3₄, 3 e E), em sua maioria com elevada densidade de construção, ou seja, consideradas compactas no sistema de classificação de Stewart (2011) e com predomínio de pavimentação impermeável.

Ressalta-se que os pontos medidos na LCZ 3₄ é equivalente a localização do ponto fixo número 5, de mesma LCZ. As diferenças de temperaturas itinerantes foram significativamente altas, assim como as intensidades do sensor fixo.

Do ponto 35 ao 38 foi identificado a LCZ 3_B devido a presença de vegetação arbórea nas calçadas, no entanto também a altitude teve um decréscimo médio de 30 metros e as diferenças térmicas se reduziram, em torno de 1,5°C.

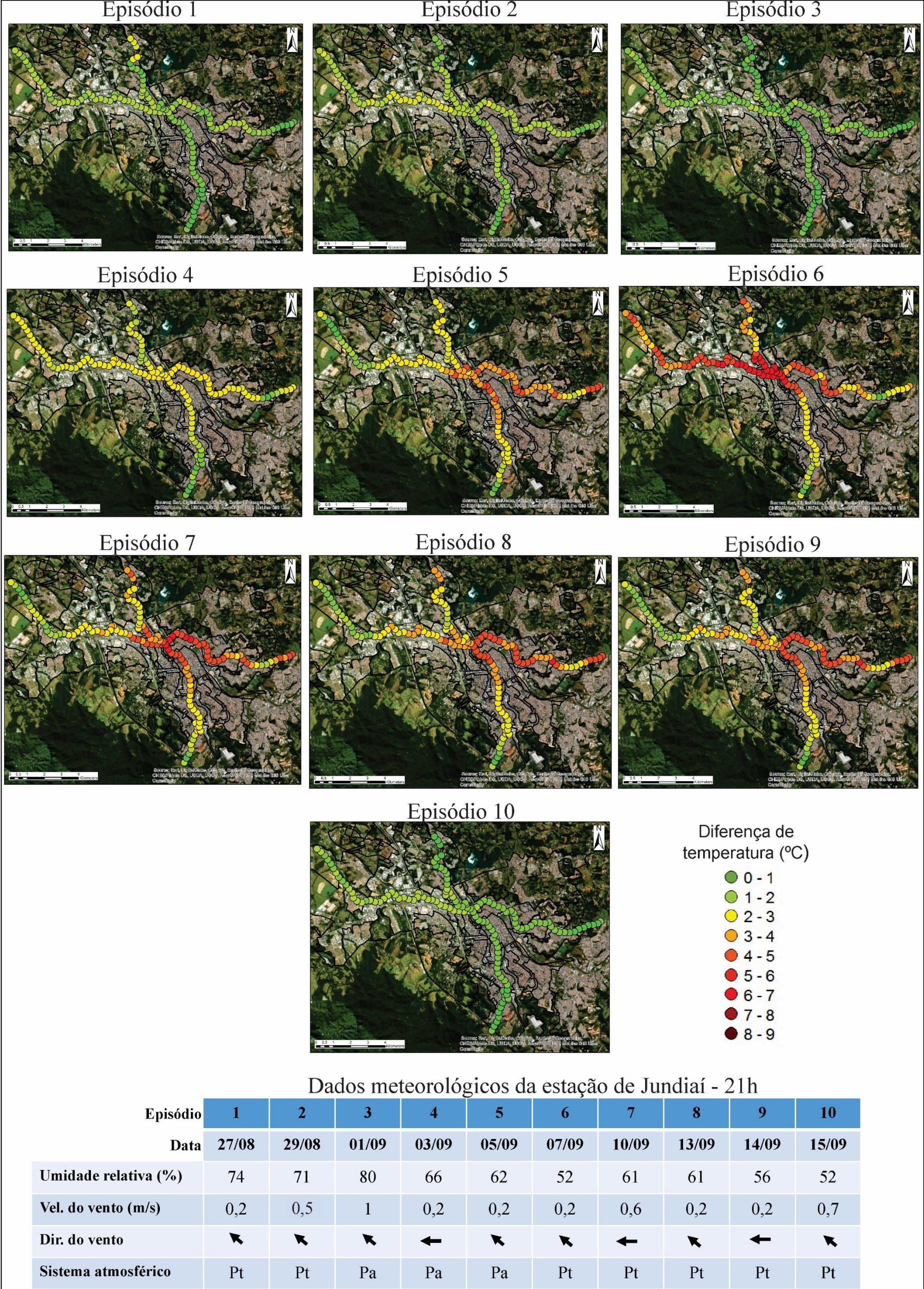
Até o ponto 43 foi identificada a LCZ 3, no entanto entre os pontos 40 e 42 a altimetria diminuiu 15 metros, por isso também as diferenças de temperatura não foram tão elevadas quanto se espera para áreas densamente construídas como as de LCZ 3. A queda de altitude se manteve até o ponto 48 e, somando isso as LCZs 3_A e 6 identificadas no local, as diferenças térmicas se mantiveram baixas.

Do ponto 49 ao 52 as altitudes se elevaram e a densidade de construção também aumentou (LCZ 3), resultando em maiores diferenças de temperatura. Por fim, até o ponto 57 as diferenças térmicas se elevaram, passando pelas LCZs 3 e 8, com um pequeno declínio, em média 0,8°C, nos pontos 53 e 54 devido a diminuição de 10 metros de altitude.

Sendo assim, os dados das medidas itinerantes corroboraram com as averiguações das análises dos sensores fixos e demonstraram que Jundiaí possui características físicas (especialmente a altitude do terreno) e de uso e ocupação da terra que modificam as temperaturas internas da cidade.

A seguir, discorre-se sobre a média desses registros, a fim de sintetizar as informações e identificar locais que apresentaram características específicas e geraram ilhas de calor ou áreas com potenciais de redução de temperatura.

Figura 54 - Espacialização das temperaturas medidas nos transectos móveis em Jundiaí (agosto e setembro de 2017 às 21h)



Dados meteorológicos da estação de Jundiaí - 21h

Episódio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Data	27/08	29/08	01/09	03/09	05/09	07/09	10/09	13/09	14/09	15/09
Umidade relativa (%)	74	71	80	66	62	52	61	61	56	52
Vel. do vento (m/s)	0,2	0,5	1	0,2	0,2	0,2	0,6	0,2	0,2	0,7
Dir. do vento	↖	↖	↖	←	↖	↖	←	↖	←	↖
Sistema atmosférico	Pt	Pt	Pa	Pa	Pa	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt

7.1 Identificação das Ilhas de Calor Urbanas e das Áreas Redutoras de Temperatura através das medidas itinerantes

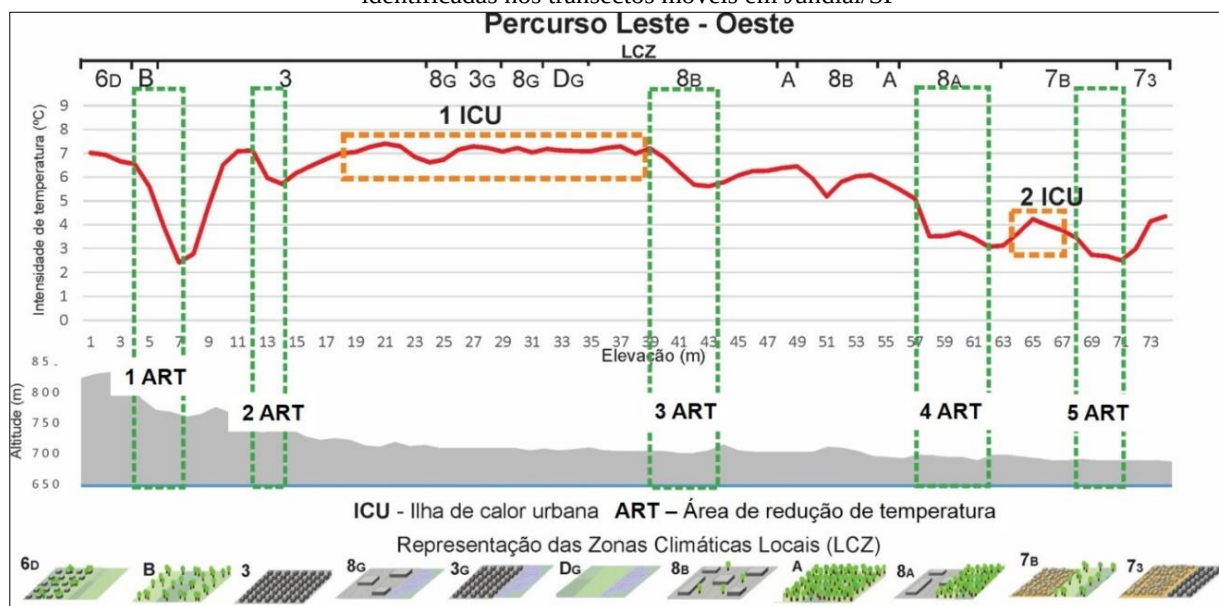
Como dito anteriormente, os dados de temperatura registrados durante os transectos móveis possibilitaram a identificação de um padrão de diferenças térmicas de acordo com as características encontradas em Jundiaí.

Sendo assim, através do cálculo das médias das diferenças identificadas nos episódios representativos (4, 5, 6, 7, 8 e 9) foi possível delimitar áreas em que as diferenças térmicas foram altas e formaram ilhas de calor de maiores intensidades e áreas em que as diferenças foram menores e deram origem a áreas redutoras de temperatura (ilhas de calor de menores magnitudes), uma vez que com os dados dos transecto não é possível identificar ilhas de frescor, que se configuram quando as áreas rurais estão mais quentes do que as urbanas.

Teobaldo Neto (2019) utilizou a denominação de áreas redutoras de temperatura (ART) para paisagens urbanas que implicaram em redução da intensidade das ilhas de calor de pelo menos 3°C em uma distância inferior a 1 quilômetro. Para esta pesquisa foi adaptada essa denominação e utilizou-se para áreas em que a redução de temperatura (menor intensidade das ilhas de calor) foi de ao menos 2,5°C em distâncias inferiores a 1500 metros, equivalente a 5 pontos de registros.

Sendo assim, nos dois percursos realizados foram identificadas 5 ilhas de calor urbanas (ICU) e 9 áreas redutoras de temperatura (ART). O gráfico da figura 56 apresenta a localização desses dois fenômenos que foram identificados no percurso Leste-Oeste.

Figura 56 - Identificação das Ilhas de Calor Urbanas e Áreas Redutoras de Temperatura (Percurso Leste-Oeste) identificadas nos transectos móveis em Jundiaí/SP



Como pode ser visto, neste percurso foram identificados 5 áreas redutoras de temperaturas (ART) e dois locais de formação de ilhas de calor (ICU). A tabela 8 sintetiza as informações de intensidades médias de temperatura, LCZs, diminuição ou elevação de altitude, e a localização dentro da cidade.

Tabela 8 - Síntese das informações de ICUs e ATRs identificadas no percurso Leste-Oeste

Fenômeno	Intensidade média (°C)	LCZs	Diferença média de altitude (m)	Localização
1 ART	2,6	3	64	Rua Atibaia (Cidade Nova)
2 ART	5,8	3	41	Início da Rua Dr. Antenor Soares Gandra
1 ICU	7,1	3, 8 _G , 3 _G , D _G , 8 _B	+35	Av. Antônio Frederico Ozanan e Av. Prefeito Luiz Latorre
3 ART	5,7	8 _B	4	Av. Antonieta Piva Barranqueiros
4 ART	3,1	8 _A	8	Av. Prefeito Luiz Latorre (Distrito Industrial)
2 ICU	4,2	7 _B	+2	Av. Carmine Todaro
5 ART	2,5	7 _B e 7 ₃	5	Av. Carmine Todaro

O primeiro fenômeno identificado foi uma ART, localizada no início da Rua Atibaia, no bairro Cidade Nova. Neste local notou-se a diminuição de 64 metros de altitude e a menor diferença de temperatura foi de 2,6°C, exatamente no fundo do vale. Antes do início da vertente, a diferença de temperatura era de, em média 6,5°C, ou seja, numa distância de 1200 metros com diferença de 64 metros de altitude, a diferença de temperatura caiu 3,9°C. Interessante destacar que a LCZ detectada no local foi LCZ 3 (compacta de baixa elevação) que, normalmente, resulta em grandes diferenças de temperatura, no entanto este fato não ocorreu devido a diminuição da altitude.

Na sequência, entre os pontos 12 e 14, a segunda ART do percurso foi detectada, tendo as mesmas características da anterior, porém em menores proporções. A LCZ 3 se manteve, a altitude diminuiu 41 metros e a média das intensidades foi de 5,8°C, sendo que quando comparada a diferença térmica do ponto 11 (7,1°C) teve queda de 1,9°C.

O terceiro fenômeno identificado foi a ilha de calor urbana com intensidade mais elevada do percurso (1 ICU). Esta foi detectada entre os pontos 18 e 38 (Início da Rua Dr. Antenor Soares Gandra no bairro da Colônia), durante 3 quilômetros, com intensidades média de 7,1°C e máxima de 7,4°C. O relevo se elevou em 35 metros quando comparado a segunda ATR, porém manteve-se praticamente estável dentro do local de ilha de calor. As LCZs identificadas foram 3, 8_G, 3_G, D_G, 8_B, todas características de área urbana, com alta densidade de construções e/ou grandes galpões comerciais, pavimentos impermeáveis e sem nenhuma ou pouca vegetação.

Logo após essa ICU mais intensa, o percurso passou novamente por um vale, e durante a diminuição de 4 metros, notou-se redução de 1,4°C, resultando na terceira ART detectada. Soma-se a isso a vegetação detectada nessa área e as construções esparsas (LCZ 8_B), fatores que possibilitam a redução das temperaturas.

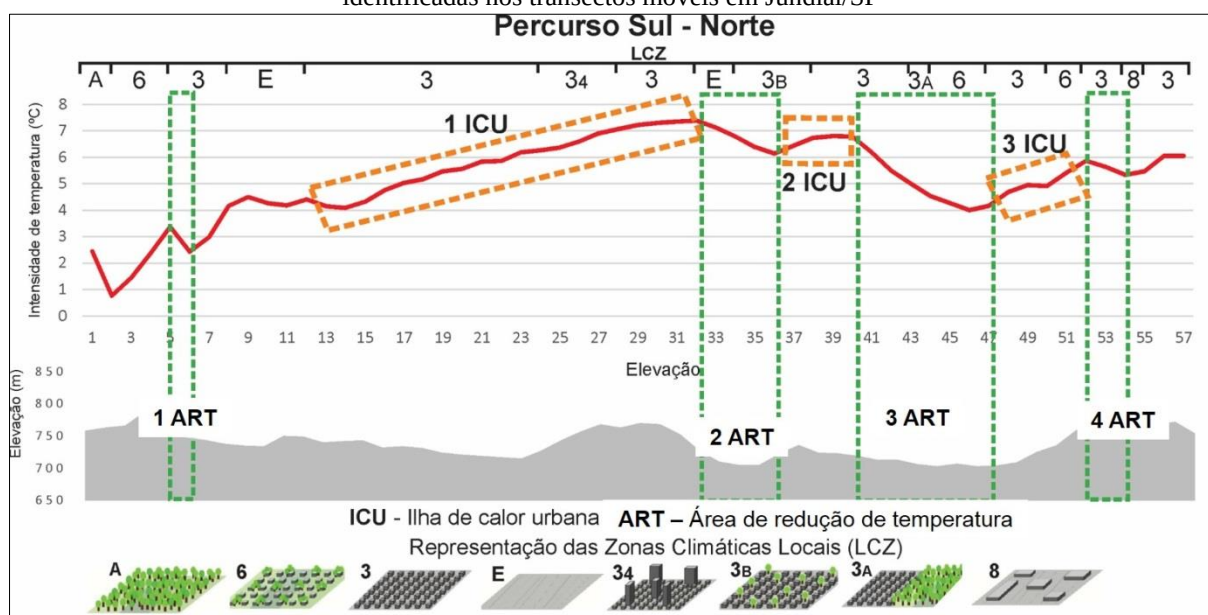
A quarta ART foi observada entre os pontos 57 e 62 (Av. Prefeito Luiz Latorre no Distrito Industrial). As intensidades diminuíram para, em média, 3,1°C e a altitude passou de 698m para 689m, ou seja, redução de 2,6°C em 8 metros. A LCZ 8 manteve-se neste trecho, contudo a vegetação passou de esparsa (8_B) para densa (8_A).

Do ponto 63 ao 67 notou-se a elevação das diferenças térmicas, tendo intensidade média de 4,2°C, enquanto a altimetria teve uma pequena elevação de 2 metros. Consta-se que o uso e ocupação da terra, com a LCZ 7_B (Compacta pouco consolidada de baixa elevação com vegetação espaçada) foi o fator mais relevante para a formação dessa ilha de calor (2 ICU).

Por fim, nos pontos 68 a 70, registrados na Avenida Carmine Todaro, foi identificada a última ART do percurso, que apesar de manter características de uso e ocupação muito próximas a 2 ICU (LCZ 7_B e 7₃), a altimetria reduziu 5 metros, fato que proporcionou redução de 1,7°C nas intensidades, deixando a intensidade máxima em 2,5°C.

A figura 57 apresenta o gráfico com as médias das diferenças de temperaturas e a definições das ICUs e ARTs para o percurso Sul-Norte. Neste caminho foi possível identificar 3 ICUs e 4 ARTs.

Figura 57 - Identificação das Ilhas de Calor Urbanas e Áreas Redutoras de Temperatura (Percurso Sul-Norte) identificadas nos transectos móveis em Jundiaí/SP



Como pode ser observado na tabela 9, a diminuição de temperatura da primeira ART foi bastante significativa em uma pequena distância. A diferença de altitude foi de 12 metros entre os pontos 6 e 7 (distância de 300 metros). Referente às diferenças térmicas, o ponto 6 apresentou intensidade 3,4°C, enquanto no 7 foi de 2,4°C, ou seja, ocorreu a diminuição 1°C em 12 metros de diminuição do relevo.

Tabela 9 - Síntese das informações de ICUs e ATRs identificadas no percurso Sul-Norte

Fenômeno	Intensidade média (°C)	LCZs	Diferença média de altitude (m)	Localização
1 ART	2,4	3	12	Início da Av. Clemente Rosa
1 ICU	7,4	3, 3 ₄	17 / +55	Rua 23 de Maio, Rua Senador da Fonseca e Rua São Vicente de Paulo
2 ART	6,1	E, 3 _B	22	Av. Antonio Segre
2 ICU	6,8	3 _B e 3	+10	Rua Itirapina
3 ART	4	3, 3 _A , 6	16	Rua José Firmino Timóteo
3 ICU	5,9	3, 6	+49	Av. Professor Pedro Clarismundo Fornari
4 ART	5,3	3	10	Rua Vicente Preteroti

A partir de então, nota-se que as diferenças de temperatura começaram a se elevar, atingindo a intensidade máxima de 7,4°C no ponto 31, ou seja, aumento de 5°C, formulando a primeira ilha de calor mais intensa deste percurso. A altitude neste trecho teve variações positivas (aumento) e negativas (diminuição), como pode ser observado na tabela 8. No entanto o predomínio das LCZs 3 e LCZ 3₄ foi o fator principal para o aumento das intensidades. Esta ilha de calor se formou no centro de Jundiaí, na rua 23 de Maio, rua Senador da Fonseca e rua São Vicente de Paulo, caracterizadas por alta densidade construtiva e pouca ou nenhuma vegetação.

Na sequência, na Av. Antônio Segre foi detectada a segunda área de redução de temperatura do percurso (2 ART). A avenida está localizada na vertente oeste do Rio Jundiaí e tem queda de altitude de 22 metros. Junto a isto, é notável a vegetação arbórea existente nas calçadas, por isso, o acréscimo do B na LCZ 3. Esse conjunto de fatores fez com que as diferenças térmicas reduzissem 1,3°C, atingindo a intensidade de 6,1°C no ponto 36, no fundo de vale por onde passa o rio.

Tanto a ICU 2 quanto a 3 estiveram relacionadas com o uso e ocupação da terra, LCZs 3 e 3_B e a elevação da altitude. A segunda ICU mais intensa foi identificada no bairro da Vila Hortolândia, ao longo da rua Itirapina, de uso residencial e comercial. O local é caracterizado por alta densidade construtiva e altitudes estáveis, quando comparado as das ART, por isso a intensidade máxima foi de 6,8°C, 0,7°C a mais do que na ART anterior.

No meio dessas duas ICUs foi identificada a terceira ART do percurso, com queda de 16 metros e diminuição de 2,8°C de diferença térmica. Além disso, nos últimos pontos desse trecho as LCZs identificadas foram 3_A, que contava com vegetação densa e LCZ 6, com construções esparsas e presença de vegetação rasteira, responsáveis, portanto, pelas menores intensidades.

A terceira ICU, teve predominância de LCZ 3, apresentou intensidade máxima de 5,9°C, 1,9°C a mais do que a ART anterior. Essa ilha de calor foi identificada na Av. Professor Pedro Clarismundo Fornari e o relevo teve elevação de 50 metros.

Por fim, o último fenômeno detectado foi a 4 ART e teve sua ocorrência relacionada diretamente ao relevo, uma vez que se manteve a LCZ 3 (compacta) e a altitude diminuiu 10 metros, resultando na diminuição de 0,6°C na intensidade local.

Em síntese, os dados dos transectos móveis deixaram claro a influência das diferenças de altitude no interior das cidades, uma vez que a maior parte das menores intensidades das ilhas de calor (aqui denominadas de ART) ocorreram quando o relevo diminuiu, geralmente nos fundos de vale de Jundiaí. Também vale destacar que nos locais em que as altitudes não tiveram grandes diferenças, as intensidades estiveram sempre relacionadas ao uso e ocupação da terra, ou seja, quanto maior a densidade construtiva e menor presença de vegetação (LCZs 3 e suas variações), mais elevadas foram as intensidades das ilhas de calor.

8 O ZONEAMENTO TÉRMICO EM JUNDIAÍ

Segundo Dubreuil et al. (2010), o diagnóstico das ilhas de calor urbanas é um importante instrumento para a gestão do espaço urbano, uma vez que pode oferecer subsídios para amenizar a magnitude deste fenômeno e reduzir a interferência na vida dos habitantes locais. No Brasil a maioria dos resultados das pesquisas sobre clima urbano ainda não são devidamente absorvidos e utilizados pelo poder público, ou seja, não são integrados ao planejamento.

Amorim et al. (2015), afirma que um dos possíveis motivos é a espacialização dos dados obtidos, à medida que as temperaturas intraurbanas não são apropriadamente representadas, sobretudo em detalhamento e/ou em correlação com as características do uso e ocupação da terra e do relevo, ou seja, o conhecimento real do clima local ainda requer novas formas de representação.

Especialmente após o advento das ferramentas de geotecnologia, muitos autores têm desenvolvido e proposto metodologias que se utilizam do SIG (Sistema de Informação Geográfica) e sensoriamento remoto para interpolar as temperaturas do ar através da incorporação de dados como a altura dos edifícios, superfícies impermeáveis e vegetação (OKE, 2004; STEWART e OKE, 2009; FOISSARD *et al.* 2013; FOISSARD, 2015; TEIXEIRA, 2015; AMORIM *et al.* 2015).

No Brasil, as pesquisas que abordam diretamente a modelagem de climas urbanos são recentes, sendo que muitas vêm sendo desenvolvidas por arquitetos e urbanistas, como os estudos de Assis (1990) e de Duarte (2002), o primeiro correlacionando dados de temperaturas do ar máxima e mínima da cidade de Belo Horizonte-MG, com densidade de ocupação do solo, cobertura vegetal arbórea e tipologia de edifícios, e o segundo conectando dados de temperatura do ar de Cuiabá-MT com variáveis presentes na legislação urbana, tais como a taxa de ocupação, presença de vegetação e água e o coeficiente de aproveitamento.

Amorim et al. (2015, p. 30), apresentou um conjunto de procedimentos para a modelagem das ilhas de calor urbanas, com o propósito de “estimar a temperatura do ar no ambiente urbano e rural próximo, considerando-se os detalhes das características da superfície (uso da terra, vegetação, relevo)”. Esta metodologia realiza a espacialização dos dados pontuais de temperaturas por meio da modelagem, considerando-se a densidade de construções, vegetação, relevo, entre outros aspectos de superfície.

Com os resultados da modelagem espacial da ilha de calor urbana em Jundiaí foi possível elaborar um mapa térmico síntese, no qual foram determinadas áreas que apresentam diferentes condições térmicas. Como expõe Archela e Théry (2008), os mapas servem de

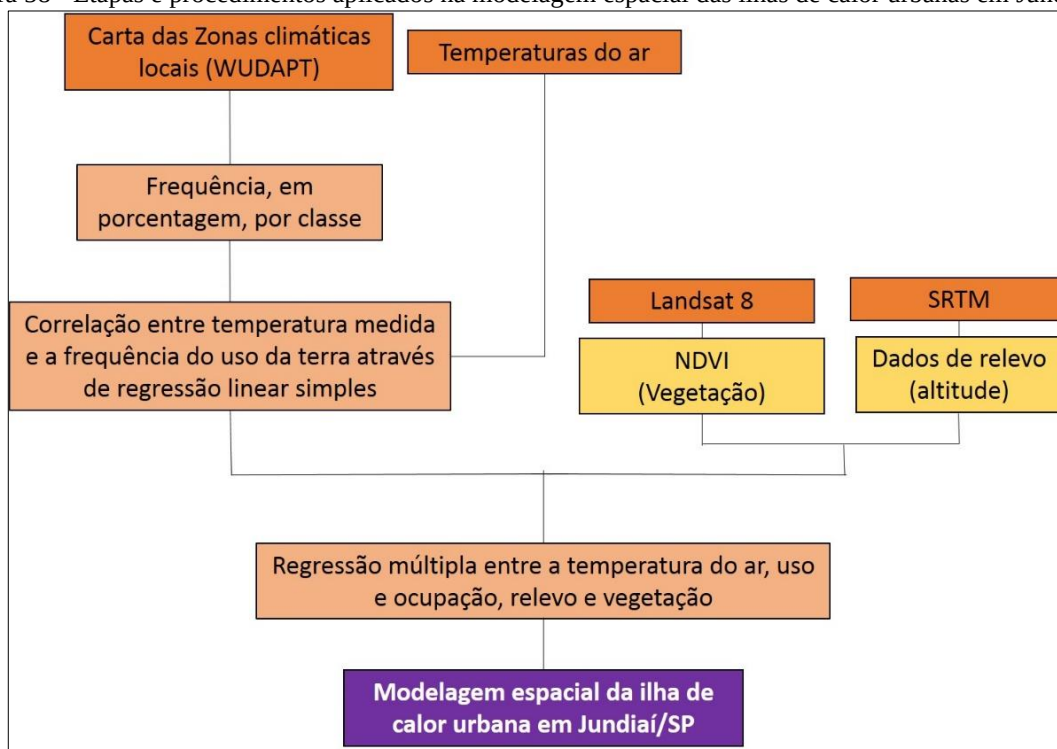
orientação e de base para o planejamento e conhecimento do território. A sociedade acaba sendo consumidora dessas representações cartográficas que são um meio de comunicação, ou seja, a elaboração deste mapa síntese facilitou a percepção das informações de forma integrada.

A seguir detalha-se o procedimento da modelagem e seus resultados e, após, discorre-se sobre a elaboração do mapa térmico síntese.

8.1 A modelagem espacial das ilhas de calor em Jundiaí/SP

De forma sucinta, a figura 58 apresenta os princípios da modelagem espacial das ilhas de calor¹⁸. O procedimento utilizou-se da carta de LCZs (Zonas Climáticas Locais) obtidas através do WUDAPT na qual estavam discriminadas as classes de uso e ocupação consideradas e, a partir dela, foi possível identificar a frequência, em porcentagem, das diferentes classes em cada ponto de medida de temperatura. Por meio de estatística de regressão linear simples buscaram-se as maiores correlações entre a temperatura medida e a frequência do uso da terra em janelas.

Figura 58 - Etapas e procedimentos aplicados na modelagem espacial das ilhas de calor urbanas em Jundiaí/SP



Fonte: Adaptado de Gomes, 2017

¹⁸ As etapas estão detalhadas nos Procedimentos metodológicos e técnicas da pesquisa.

Por fim, realizam-se os procedimentos da regressão linear múltipla a fim de identificar a correlação entre a variável dependente, temperatura do ar, e o uso e ocupação da terra, como variável independente. Destaca-se que além do uso e ocupação, é possível acrescentar outras variáveis, como o relevo, a distância do centro e a temperatura de superfície. Nesta pesquisa, como já destacado, optou-se por trabalhar com uso e ocupação (LCZ), distância do centro, relevo (obtido de imagens SRTM) e NDVI (obtida do canal termal do satélite Landsat 8).

A regressão múltipla indicou as melhores correlações a serem utilizadas, ou seja, a fórmula discriminada a seguir:

$$Ta: 25.4109 - 0.0351*LZCA + 0.0189*LCZ3 - 0.2279*DC - 0.0067*R + 3.2192*NDVI \quad (4)$$

Onde:

Ta é a temperatura do ar estimada (C°);

LZCA é a porcentagem da LCZ A (vegetação arbórea densa) no uso da terra dentro da janela 41x41;

LCZ 3 é a porcentagem da LCZ 3 (compacta de baixa elevação) no uso da terra dentro da janela 7x7;

DC é a distância do centro (km);

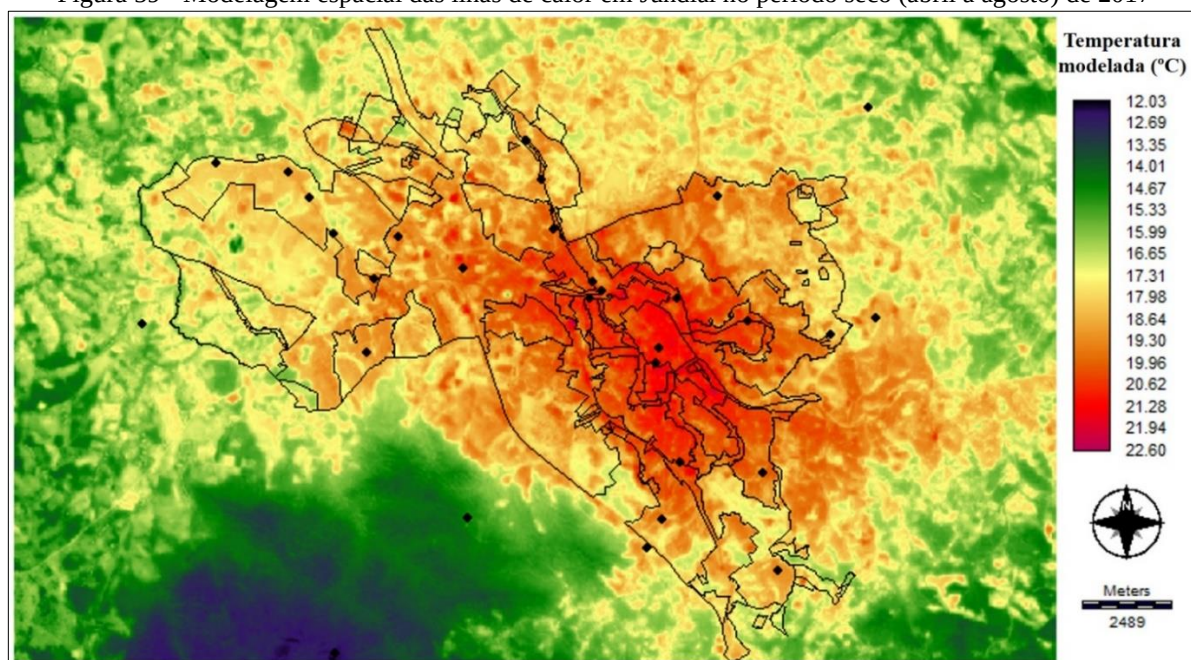
R é o relevo (altitude) (m);

NDVI é a presença ou não de vegetação

Por meio da fórmula (2) foi gerada uma imagem com o campo térmico de Jundiaí, estimado a partir das características da superfície. O coeficiente de correlação (*R*) global foi de 0,75, o que mostra uma relação linear positiva significativa entre as variações na temperatura do ar e as características da superfície. Já o coeficiente de determinação (*R*²) global foi de 0,55, o que significa que o modelo foi capaz de explicar 55% das variações da temperatura do ar.

A figura 59 apresenta a intensidade das ilhas de calor obtidas através dos resultados da modelagem espacial para Jundiaí. Com base nos resultados, verificou-se a existência de uma grande correlação entre as características da superfície e a modelagem da ilha de calor urbana. Entretanto, é importante analisar alguns aspectos que auxiliam na confirmação de representatividade do produto obtido.

Figura 59 - Modelagem espacial das ilhas de calor em Jundiaí no período seco (abril a agosto) de 2017

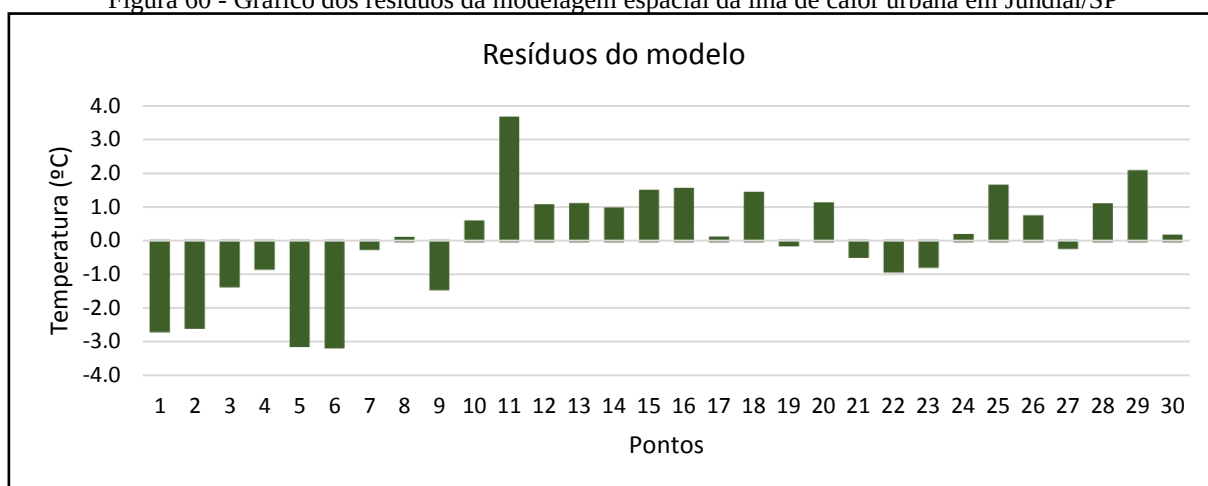


Um primeiro parâmetro de observação é a escala de temperatura gerada. Na modelagem elaborada para Jundiaí identificou-se que, tanto a temperatura mínima quanto a máxima, estiveram muito próximas das temperaturas registradas em campo. A mínima registrada pelos sensores foi de 12,3°C e o modelo gerou 12,03°C, enquanto a máxima registrada foi 22°C e na modelagem foi 22,6°C.

O segundo aspecto e o mais significativo a ser analisado são os resíduos da modelagem. Estes resíduos são calculados a partir da equação: *temperatura medida – temperatura estimada* e resultam em valores positivos e negativos, indicando subestimação (+) e superestimação (-) das temperaturas pelo modelo.

O gráfico da figura 60 apresenta os valores dos resíduos para cada ponto. Em geral, os resíduos estiveram concentrados entre -1°C e 1°C, tendo o maior valor positivo de 3,6°C no ponto 11 e o menor de -3,2°C no ponto 6.

Figura 60 - Gráfico dos resíduos da modelagem espacial da ilha de calor urbana em Jundiaí/SP



Como pode ser observado na tabela 10 os resíduos demonstraram que em torno de 46% dos registros de temperaturas medidas em campo distanciaram-se das estimadas na ordem de -1 e 1°C, correspondendo a faixa de valores considerada mais próxima da realidade, ou seja, a qual o modelo se igualou ou se aproximou da medida real. Já em 20% dos registros, o modelo subestimou os valores coletados em campo e as temperaturas modeladas foram de -1°C a -3,2°C abaixo das temperaturas medidas, enquanto que 33% dos dados coletados foram superestimados, com as temperaturas geradas tendo entre 1 e 3,6°C a mais do que as registradas em campo.

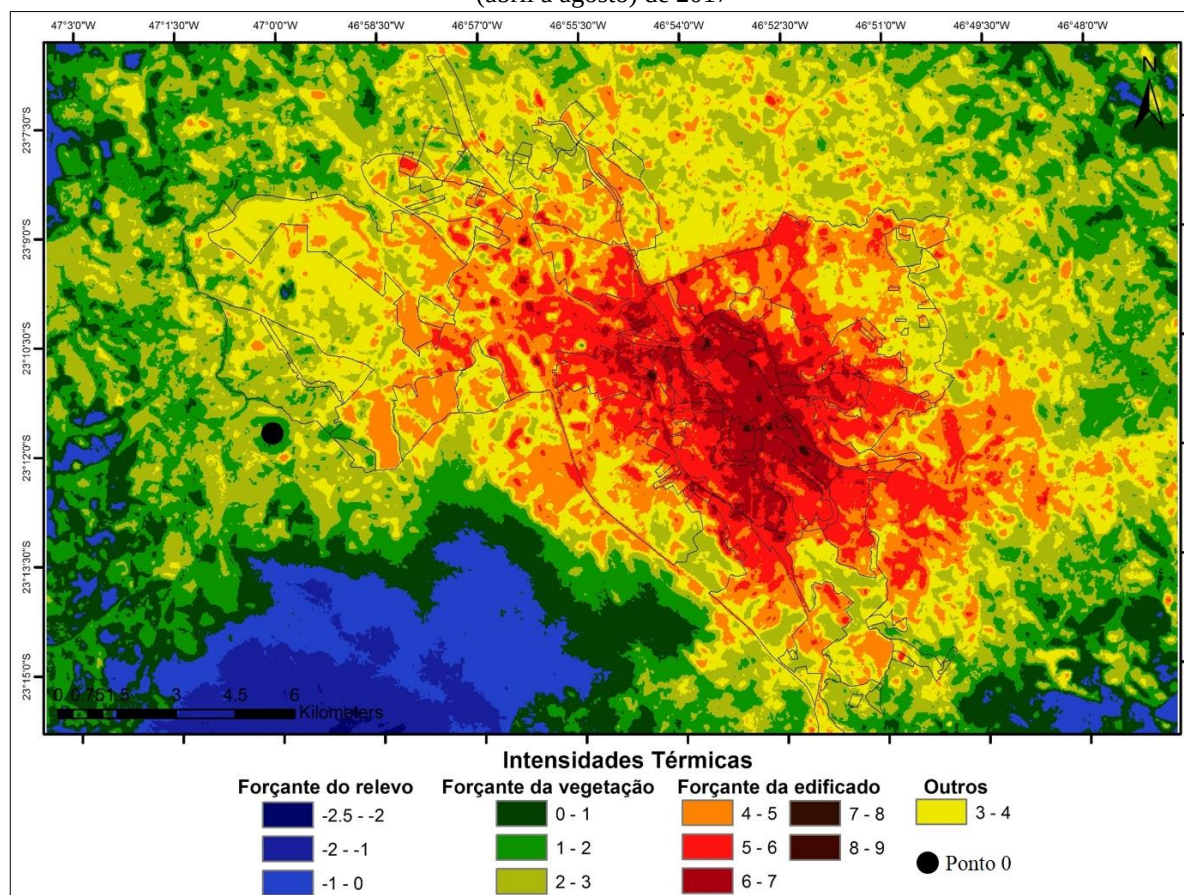
Tabela 10 - Resultados obtidos nas análises dos resíduos da modelagem espacial das ilhas de calor urbanas em Jundiaí/SP para o período seco de 2017

RESULTADO DO MODELO	QT. DE PONTOS	PORCENTAGEM DOS PONTOS	CONCLUSÕES DO MODELO
<i>De 3 a 4°C abaixo do real</i>	2	6	Subestimou (20%)
<i>De 3 a 2°C abaixo do real</i>	2	6	
<i>De 2 a 1°C abaixo do real</i>	2	6	
<i>Entre -1 e +1°C diferente do real</i>	14	46	Igualou ou aproximou (46%)
<i>De 1 a 2°C acima do real</i>	8	26	Superestimou (33%)
<i>De 2 a 3°C acima do real</i>	1	3	
<i>De 3 a 4°C acima do real</i>	1	3	

A partir destes resultados optou-se por realizar o mesmo procedimento das análises anteriores (pontos fixos e transectos): calcular as intensidades, a fim de comparar diferentes locais da cidade. Essas intensidades foram extraídas com a subtração de temperatura de um pixel vegetado próximo a área urbana de Jundiaí, representado pelo ponto preto na figura 61. O ponto apresentou valor de NDVI muito próximo ao da Serra do Japi, o que revela densidade

similar de vegetação, porém encontra-se em altitudes próximas à área urbana, diminuindo a intervenção de uma única variável na análise, o relevo (Figura 61).

Figura 61 - Intensidade das ilhas de calor obtidas através da modelagem espacial em Jundiá no período seco (abril a agosto) de 2017



A intensidade máxima de temperatura foi de 9°C e, de modo geral, identificou-se 4 padrões: 1- as intensidades negativas, ou seja, as menores temperaturas desse recorte estiveram relacionados a altas altitudes, acima de 800 metros e a presença de vegetação arbórea densa ou espaçada, revelando a forçante do relevo nas temperaturas mais baixas; 2- as maiores intensidades (4°C a 9°C) relacionadas a densidade de edificações e a menor presença de vegetação, ou seja, a forçante do edificado como fator de aquecimento; 3- a vegetação como forçante das menores intensidades (0°C a 3°C), nas áreas rurais mais distantes do urbano e com menores altitudes e, 4- área rural mista na qual a heterogeneidade de usos e ocupações reflete em intensidades médias entre 3°C e 4°C. Nestes locais encontram-se condomínios residenciais e industriais, além de pequenas propriedades rurais utilizadas para o turismo rural ou ecoturismo.

A identificação destes padrões de distribuição de intensidade possibilitou compreender a relação existente entre as características da superfície de Jundiaí e as temperaturas locais de forma homogênea em determinadas áreas, sendo possível a classificação térmica local para esta cidade. A seguir apresenta-se o mapa elaborado e seus resultados.

8.2 Síntese do zoneamento térmico de Jundiaí-SP

As discussões sobre adaptação e mitigação dos ambientes em relação ao clima ainda estão relacionadas, sobretudo, a escala global e regional. No entanto, ao longo das análises realizadas nesta tese, foi provado que Jundiaí possui diferentes temperaturas em seu espaço intraurbano e, somente uma análise aplicada à escala local poderá resultar em ações que, de fato, auxiliarão no planejamento da cidade.

Assim como expõe Monteiro et al. (2018), “compreender os mosaicos climáticos locais e procurar (re)formatá-los para que a maioria dos "alvos fique menos vulnerável é possível, desejável e urgente.” Sendo assim, como possibilidade de compreender o cenário térmico de Jundiaí, elaborou-se um mapa síntese das intensidades detectadas através da modelagem espacial das ilhas de calor urbanas (Figura 62).

Este mapa é uma representação sintetizada das intensidades detectadas ao longo da pesquisa e revela áreas mais ou menos aquecidas de acordo com as variáveis inseridas no modelo: LCZs (uso e ocupação da terra), relevo, distância do centro, NDVI (vegetação) e temperatura do ar.

Foram delineadas 8 classes: Área mais fria, Área fria, Ponto 0, Área moderada, Área aquecida, Área mais aquecida, Área sobreaquecida e Área superaquecida. Foi evidente o padrão de aquecimento centro-periferia. Quanto mais distante do centro histórico e comercial, menores foram as intensidades, ou seja, se analisada a escala da cidade e com a resolução espacial de 30 metros das imagens Landsat, os resultados muito se aproximaram do perfil clássico de ilhas de calor de Oke (1976). Contudo, a tendência de resfriamento em direção a periferia não foi confirmada em todas as direções. Assim como registrado e analisado nos painéis espaço temporais, devido a particularidades encontradas em diferentes regiões da cidade, algumas áreas específicas foram mais aquecidas.

A tabela 11 descreve de forma sistematizada as características das distintas classes, a fim de facilitar a análise.

Figura 62 - Mapa térmico síntese de Jundiaí/SP

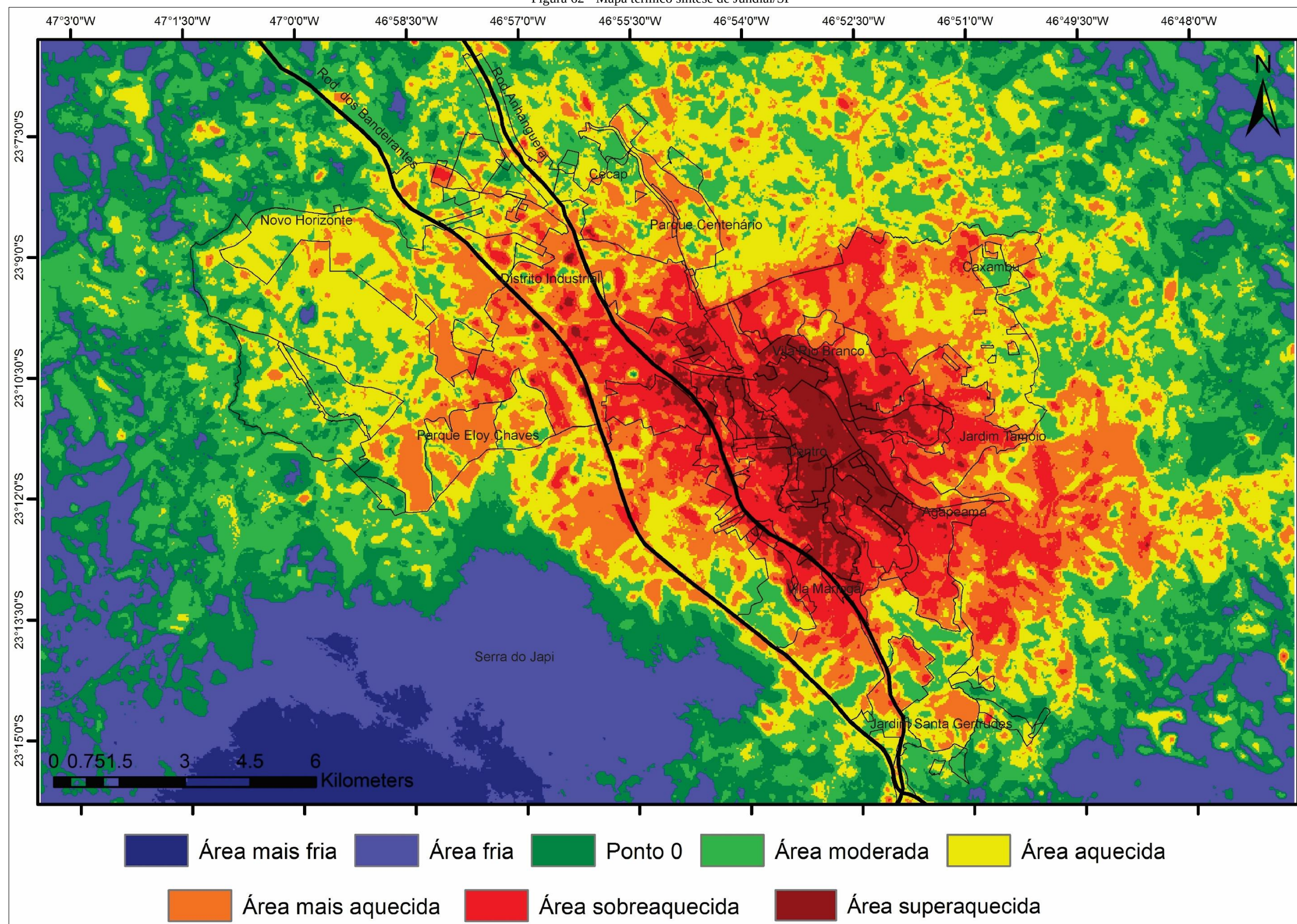


Tabela 11 - Descrição das áreas delimitadas no mapa térmico síntese de Jundiaí/SP

INTENSIDADES (°C)	LCZs predominantes	ALTITUDE (M)	DIST. DO CENTRO (KM)	NDVI
ÁREA MAIS FRIA – Referente as maiores elevações da Serra do Japi				
- 2,5 a -1	LCZ A – Vegetação densa	1300 - 1100	13 - 9	0,40 - 0,36
ÁREA FRIA – Encontrada na Serra do Japi e nas áreas rurais mais distantes com maiores elevações				
-1 a 0	LCZ A – Vegetação densa	1100 - 800	6 - 18	0,40 - 0,36
PONTO 0 – Encontrada nas áreas rurais mais distantes do urbano				
0 a 1	LCZ A – Vegetação densa LCZ D – Vegetação rasteira LCZ B - Vegetação espaçada	800 - 760	6 - 12	0,36 - 0,28
ÁREA MODERADA – Encontrada nas áreas rurais mais próximas do urbano				
1 a 3	LCZ D – Vegetação rasteira LCZ B - Vegetação espaçada LCZ F – Solo exposto LCZ 9 – Construções médias e pequenas espaçadas	760 - 630	12 - 4	0,32 - 0,28
ÁREA AQUECIDA – Encontrada nos limites do perímetro urbano, referente ao início do adensamento construtivo				
3 a 4	LCZ D – Vegetação rasteira LCZ B - Vegetação espaçada LCZ 6 - Construções espaçadas de baixa elevação LCZ 9 – Construções médias e pequenas espaçadas	760 - 630	11 - 03	0,28 – 0,14
ÁREA MAIS AQUECIDA – Encontrada, majoritariamente, na periferia da cidade (distante do centro)				
4 a 5	LCZ 3 – Compacta de baixa elevação LCZ 6 – Construções espaçadas de baixa elevação LCZ 7 - Compacta pouco consolidada de baixa elevação LCZ 8 – Grandes construções de baixa elevação LCZ 9 – Construções médias e pequenas espaçadas	760 - 680	5 - 0	0,23 – 0,05
ÁREA SOBREAQUECIDA – Encontrada nas áreas com maior grau de adensamento urbano				
5 a 7	LCZ 3 – Compacta de baixa elevação	760 - 680	5 - 0	0,09 - 0,05
ÁREA SUPERAQUECIDA – Encontrada no centro histórico e comercial				
7 a 9	LCZ 3 – Compacta de baixa elevação LCZ 3 ₄ Compacta de baixa e alta elevação	760 - 680	2 - 0	0 – -0,02

Tanto a Área mais fria quanto a Área fria possuem o relevo como variável forçante das intensidades negativas, entre 1300 e 800 metros, em torno de 540m a mais do que a média da área urbana. A vegetação densa (LCZ A) também foi importante na diminuição das temperaturas, no entanto, não é o principal elemento, visto que outros locais da cidade apresentaram o mesmo valor de NDVI e intensidades mais elevadas.

A classe Ponto 0 apresentou intensidades entre 0°C e 1°C, temperaturas modeladas entre 14,5°C e 15,5°C. Esta classe englobou o local utilizado como referência para o cálculo das intensidades e foi encontrada na área rural mais distante do perímetro urbano. A altitude desta classe ficou entre 800m e 760m, os valores de NDVI muito parecidos com os das classes anteriores (Área mais fria e Área fria) e as LCZs predominantes apresentaram vegetação: LCZ A – Vegetação densa, LCZ D – Vegetação rasteira, LCZ B - Vegetação espaçada.

No rural mais próximo ao urbano, a Área moderada apresentou usos e ocupações do solo mistos, com características rurais e urbanas, LCZs D – Vegetação rasteira, B - Vegetação espaçada, F – Solo exposto e 9 – Construções médias e pequenas espaçadas. As altitudes variaram entre 760m e 630m, a mesma encontrada na maior parte da área urbana. Os valores de NDVI foram menores se comparados aos anteriores e a distância do centro foi reduzida. Nesta classe, a heterogeneidade entre coberturas naturais (vegetação rasteira e vegetação espaçada) e artificiais (solo exposto e materiais construtivos) resultaram em intensidade médias, entre 1°C e 3°C.

Ao adentrar a área urbana e a proximidade do centro, fez com que as intensidades se elevassem, o NDVI reduziu, passando a apresentar valores relacionados a falta ou pouca presença de vegetação e as classes detectadas foram: Área aquecida, Área mais aquecida, Área sobreaquecida e Área superaquecida, revelando o edificado como a forçante mais relevante de explicação da elevação das intensidades.

A primeira, Área aquecida, teve intensidades entre 3°C e 4°C, foi encontrada nas bordas do perímetro urbano e agregou LCZs urbanas, como LCZ 3 – Compacta de baixa elevação, LCZ 6 – Construções espaçadas de baixa elevação, LCZ 7 - Compacta pouco consolidada de baixa elevação, LCZ 8 – Grandes construções de baixa elevação, LCZ 9 – Construções médias e pequenas espaçadas.

Já a Área mais aquecida foi encontrada, majoritariamente, na periferia da cidade, com intensidades entre 4°C e 5°C, e foi a classe de maior representatividade dentro da área urbana. As LCZs detectadas foram: LCZ 3 – Compacta de baixa elevação, LCZ 6 – Construções espaçadas de baixa elevação, LCZ 7 - Compacta pouco consolidada de baixa elevação, LCZ 8 – Grandes construções de baixa elevação, LCZ 9 – Construções médias e pequenas espaçadas.

A Área sobreaquecida, encontrada nos locais com maior grau de adensamento urbano de Jundiaí, teve intensidades de 5°C a 7°C e predominância de LCZ 3 – Compacta de baixa elevação. Por fim, a Área superaquecida, encontrada no centro histórico e comercial de Jundiaí, local utilizado como referência para o cálculo da distância do centro teve predomínio de LCZ 3 – Compacta de baixa elevação e LCZ 34 - Compacta de baixa e alta elevação e apresentou as maiores intensidade, de 7°C a 9°C.

Sendo assim, através da análise das intensidades das temperaturas detectadas em Jundiaí foi possível realizar uma compartimentação urbana e criar classes termais relevantes para investigação sobre o conforto térmico urbano e suas consequências para o planejamento da cidade. Apesar de ser ainda uma abordagem descritivo-analítica do clima urbano, essa aproximação através de um modelo empírico auxiliou no entendimento das relações básicas entre as temperaturas locais e as variáveis condicionantes/determinantes de sua elevação ou diminuição.

Tendo conhecimento desta síntese termal local é possível elaborar políticas e projetos futuros, visto que Jundiaí é um município com contínua taxa de urbanização. Considerando a tendência de crescimento, esse conhecimento pode ser aproveitado no âmbito da legislação urbanística, através, por exemplo, da atuação antecipada em relação às áreas de expansão urbana ou regiões com tendência à verticalização. Esta informação ainda pode auxiliar no zoneamento urbano, levando em consideração os materiais e tipos de construções adequadas para cada ambiente bioclimático e, ainda fornecer subsídios ao planejamento ambiental, com vistas a elaboração de planos de reconstituição da paisagem e da arborização urbana.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil, em sua maior parte, está inserido em climas tropicais caracterizados por temperaturas elevadas, fator que, naturalmente, é capaz de gerar desconforto térmico. Somado a isso, encontra-se o modelo de produção dos espaços, que sem muitas preocupações e/ou responsabilidade ambiental, formulam ocupações capazes de elevar a temperatura local, gerando as ilhas de calor urbanas.

Esta pesquisa partiu do entendimento de que é preciso ter conhecimento sobre os diferentes climas das cidades para que se possa pensar em planos de ação, buscando minimizar o efeito urbano na atmosfera local ou até mesmo equilibrar a relação entre o modo de sobrevivência humano que, necessariamente, produz calor antropogênico, e a natureza climática de cada ambiente.

O desenvolvimento deste estudo possibilitou duas vertentes de conclusões, uma relacionada aos resultados e análises dos dados coletados e outra a avaliação e considerações das técnicas aplicadas.

Quanto aos dados coletados, análises de campo e caracterização física e urbana de Jundiaí foi possível, não somente evidenciar a existência de um clima diferenciado na cidade, mas também identificar a distribuição espacial das diferenças térmicas de acordo com as distintas formas e elementos presentes na estruturação urbana local. No final, através da relação entre as temperaturas coletadas e os elementos da superfície, elaborou-se uma representação dos climas locais com suas características específicas.

A partir da análise dos dados coletados pelos sensores fixos e através dos transectos móveis foi possível alcançar os dois primeiros objetivos específicos da tese: 1) analisar a influência dos elementos físicos e urbanos, que formam as diferentes paisagens da cidade, em relação as ilhas de calor e, 2) compreender o padrão de intensidade e espacialização das ilhas de calor em Jundiaí/SP.

Especificamente os dados fixos possibilitaram identificar os padrões espaciais e temporais das ilhas de calor em Jundiaí. A primeira evidência é que a maior expressão das ilhas de calor esteve conectada com uma sequência de estabilidade atmosférica. Sob a atuação de sistemas estáveis - Tropical Atlântica (Ta), Tropical Atlântica Continentalizada (Tac), Massa Polar Atlântica (Pa) e Polar Tropicalizada (Pt) - as ilhas de calor tiveram seu maior desenvolvimento, resultando nas intensidades mais elevadas da pesquisa.

Já em dias em que ocorreram sistemas instáveis – Frente Polar Atlântica (FPA), FE (Frente Estacionária), ZCOU (Zona de Convergência de umidade) e Zona de Convergência do

Atlântico Sul - (ZCAS), com vento acima de 1,5m/s, nebulosidade e/ou precipitação, as intensidades foram menores ou se registraram ilhas de frescor (com intensidades abaixo de 0°C).

Quanto à sazonalidade, as maiores intensidades foram registradas, predominantemente, nos meses com as menores precipitações totais (junho, julho, agosto e setembro). Enquanto no ciclo diário, identificou-se que as maiores intensidades foram noturnas, devido a capacidade térmica dos materiais urbanos em reter energia durante o dia e liberar a noite.

No que se refere ao caráter espacial das ilhas de calor em Jundiaí, notou-se que, predominantemente, as maiores intensidades estiveram relacionadas com LCZs características de áreas urbanas, LCZ 3, LCZ 3_B, LCZ 3₄ e LCZ 7, todas compactas e com pouca ou nenhuma presença de vegetação. Já as menores intensidades foram detectadas nas LCZ 9, relativa a área rural e LCZ 6, com construções espaçadas e vegetação arbórea e rasteira.

Os dados registrados com a metodologia dos transecto móveis (medidas itinerantes) corroboraram com as informações levantadas nos sensores fixos. Ressalta-se a constatação da existência de um padrão térmico nos dados dos transectos, uma vez que as variações de temperatura ocorreram de forma parecida na maioria dos episódios registrados. Através desses dados foram identificadas e delimitadas áreas em que ocorreram as ilhas de calor urbanas (ICU) mais intensas e áreas consideradas como redutoras de temperatura (ART) ao longo dos dois percursos percorridos. As ICUs foram registradas, majoritariamente, em áreas com alto grau de adensamento construtivo, ao passo que as ARTs estiveram relacionadas à presença de vegetação e água e declividade de relevo.

O último passo da pesquisa foi a elaboração da análise síntese através da modelagem espacial das ilhas de calor urbanas em Jundiaí, correspondendo ao objetivo específico de integrar as informações obtidas através da correlação entre as LCZs e as temperaturas medidas, a fim de propor um mapa síntese para futuro planejamento.

Esta modelagem possibilitou a correlação com os elementos geográficos da superfície e confirmou a influência do edificado no aumento da temperatura e o da vegetação na diminuição das intensidades. Com base nesses resultados obteve-se o produto final, mapa síntese e a análise da classificação térmica local de Jundiaí, determinando áreas específicas de maiores ou menos intensidades de temperaturas.

Este mapeamento reforçou o padrão diagnosticado nas análises dos painéis espaço-temporais e dos perfis de transectos (ICUs e ARTs), no qual as maiores intensidades estiveram relacionadas com LCZs características de áreas urbana, LCZ 3, LCZ 3_B, LCZ 3₄ e LCZ 7,

enquanto as menores foram detectadas em LCZs rurais ou com menor grau de edificação, tais como: LCZ 9, LCZ 6, LCZ B e LCZ D.

A respeito das técnicas aplicadas, inicia-se com as considerações sobre a metodologia das LCZs. Cabe aqui fazer uma reflexão sobre sua utilização para a representação das características de uso e ocupação da terra, respondendo ao terceiro objetivo específico da tese: contribuir para a discussão sobre a classificação climática urbana, em especial a metodologia das Zonas Climáticas Locais. Sabe-se que esta metodologia é empregada em muitas pesquisas em climatologia urbana, especialmente sobre ilhas de calor, e que se busca a padronização de nomenclatura, a fim de facilitar o intercâmbio dos resultados obtidos.

No entanto, apesar de ser compreendida a preocupação de Stewart (2011) em englobar todas as possibilidades de ocupações urbanas, as suas aplicações na fase de desenvolvimento não contemplaram ambientes tropicais e por isso, a definição das LCZs pode ser bastante subjetiva, como ocorreu para Jundiaí. Coube a pesquisadora comparar a classificação com a realidade da cidade e definir a melhor LCZ, ou seja, muitas vezes a metodologia teve que ser adaptada para se enquadrar à realidade de Jundiaí.

Durante o período de estágio na Universidade do Porto, entre as discussões com a Prof. Ana Monteiro também foi relatada a dificuldade em tecer nomenclaturas para os sítios de acordo com as definições das LCZs, principalmente em relação ao WUDAPT, que apesar de ser uma ferramenta internacional buscando criar um banco de dados mundial, ainda não detalha suficientemente as características locais para que sejam relacionadas com as temperaturas coletadas.

Quanto a modelagem espacial das ilhas de calor, os resultados alcançados nesta pesquisa, assim como nas pesquisas desenvolvidas por Amorim (2015; 2017), Dorigon (2015), Cardoso (2015), Teixeira (2015), Gomes (2017) e Teobaldo Neto (2019) apontaram que a metodologia se configura como um avanço nas espacializações de dados climáticos na escala do local, facilitando o entendimento do clima como um fenômeno contínuo e não pontual.

Por fim, a elaboração do mapa síntese foi inspirado no documento concebido por Monteiro et al. (2018) a respeito dos climas de Vila Nova de Gaia, Portugal. Segundo os autores, essa abordagem é feita no âmbito do planejamento e gestão urbana orientados para o bem-estar da população, além de ter a vertente da aplicabilidade da investigação científica e a contribuição para o reconhecimento da utilidade social da Geografia.

Neste sentido, mesmo sendo uma abordagem descritivo-analítica do clima urbano, especialmente as ilhas de calor urbanas, esse modelo empírico resultou em um documento síntese das temperaturas intraurbanas de Jundiaí e possibilitou atingir o objetivo principal desta

pesquisa que foi diagnosticar o campo térmico da cidade de Jundiaí/SP e elaborar uma análise síntese, apresentando as intensidades de ilhas de calor em relação as características de superfície.

A partir deste documento deixa-se a seguinte questão para pesquisas futuras: quais seriam as melhores ações de planejamento que poderiam mitigar as ilhas de calor de Jundiaí e torná-la um local mais adequado para o modo de vida urbano? Portanto, deixam-se aqui planos para futuras pesquisas que poderão buscar responder questionamentos na escala microclimática, uma vez que o reconhecimento térmico na escala da cidade já está elaborado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCOFORADO, M. J.; ANDRADE, H. Global Warming and the Urban Heat Island. En Marzluff, J. & al. (eds.): **Urban Ecology**. Springer. USA. P. 249-262, 2008.

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

AMORIM, M. C. C.T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP. **Geosul**, v. 20, n. 39, p. 65-82, 2005.

AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator**, número especial, p. 71-90, 2010.

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**, Curitiba, v. 16, p. 29-45, 2015.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; SANT'ANNA, J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins [Online]**, v. 7. p. 1-16, 2009. Disponível em: <<http://confins.revues.org/index6070.html>>. Acesso em: 06 set. 2015.

AMORIM, M. C. C. T.; DORIGON, L. P.; CARDOSO, R. S. Métodos e técnicas em climatologia urbana: abordagens para o estudo do campo térmico das cidades. In: **Ambiente construído e sustentabilidade**. 1 ed. Tupã: ANAP, p. 65-87, 2016.

AMORIM, M.C.C.T. **Teoria e método para o estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. Tese (Tese de Livre-Docência) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.

AMORIM, M.; DUBREUIL, V. Intensity of Urban Heat Islands in Tropical and Temperate Climates. **Climate**, v. 5, p. 91-104, 2017.

ANJOS, M. W. B. **Orientações climáticas para o planejamento urbano numa cidade costeira do nordeste do Brasil: Aracaju-SE**. (Doutoramento em Geografia) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2017.

ARCHELA, R. S.; THÉRY, H. Orientação metodológica para construção e leitura de mapas temáticos. **Confins**, n. 3, p. 2-21, 2008

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, v. 23, n. 01, p. 1-26, 2003.

ASSIS, E. S. **Mecanismos de desenho urbano apropriados à atenuação da ilha de calor urbana**: análise de desempenho de áreas verdes em clima tropical. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

- ASSIS, D. C.; FERREIRA, C. C. M. . Zoneamento térmico e suas correlações associadas aos padrões de uso e ocupação da terra da região urbana, Centro em Juiz de Fora-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 554-573, 2018.
- AUER, A. H. Correlation of Land Use and Cover with Meteorological Anomalies. **Journal Applied Climatology**, v. 17, p. 636–643, 1978.
- BARBIRATO, G. M. **Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: EDUFAL, 2007.
- BECHTEL, B.; ALEXANDER, P.J.; BÖHNER, J.; CHING, J.; CONRAD, O.; FEDDEMA, J.; MILLS, G.; SEE, L.; STEWART, I. Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 4, p. 199-219, 2015.
- BECHTEL, B. Multitemporal Landsat data for urban heat island assessment and classification of local climate zones. **Urban Remote Sensing Event (JURSE) IEEE**, p. 129–132, 2011.
- BERNARDINI, A. C. **Estudo Urbanístico da Região Oeste de Jundiaí-SP**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.
- BÖHNER, J.; MCCLOY, K.R.; STROBL, J. SAGA—Analysis and Modelling Applications. **Göttinger Geographische Abhandlungen**, p. 130, 2006.
- BRANDÃO, A. M. de P. M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- BRANDÃO, A. M. P. M.; TARIFA, J. R. O campo térmico na cidade do Rio de Janeiro. In: **VI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 1995, Goiânia. VI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Goiânia: UFG, v. 2. p. 45-49, 1995.
- BRAZEL A. J.; JOHNSON, D. M. Land use effects on temperature and humidity in the Salt River Valley, Arizona. **Jornal of the Arizona-Nevada Academy of Science**, Arizona, v. 15, p. 54–61, 1980.
- CAI, M., REN, C., XU, Y., LAU, K.K.L., WANG, R. Investigating the relationship between local climate zone and land surface temperature using an improved WUDAPT methodology – A case study of Yangtze River Delta, China. **Urban Climate**, 24, 485-502, 2018.
- CARDOSO, R. S. **Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente-SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.
- CARVALHO, M. M. **Clima Urbano e vegetação: Estudo analítico e prospectivo do Parque das Dunas em Natal**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.

COLLISCHONN, E.; MATTOS, G. P. Classificação de ambientes termicamente homogêneos para estudos de clima na camada do dossel urbano - metodologia e aplicação à cidade de Pelotas/RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 9, p. 56-67, 2011.

CHANDLER, T. J. **The climate of London**. Hutchinson: London, 1965. Disponível em: <http://urban-climate.org/documents/TonyChandler_TheClimateOfLondon.pdf>. Acesso em: 23 out. 2014.

CHEN, X. L.; ZHAO, H. M.; LI, P. X.; YIN, Z. Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, 104, p. 133-146, 2006.

CHEN, Y.; WONG, N. H. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, 38, p. 105–120, 2006.

CUI, L.; SHI, J. Urbanization and its environmental effects in Shanghai, China. **Urban Climate**, v. 2, p. 1-15, 2012.

DIXON, P. G.; MOTE, T. L. Patterns and Causes of Atlanta's Urban Heat Island–Initiated Precipitation. **Journal of Applied Meteorology**, v. 42, p. 1273–1284, 2003.

DORIGON, L. P. **Clima urbano em Paranavaí/PR: análise do espaço intraurbano**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.

DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; FOISSARD, X.; PLANCHON, O. Climatologie urbaine et îlot de chaleur urbain à Rennes, in P.Clergeau (dir.) **Ville et biodiversité: les enseignements d'une recherche pluridisciplinaire**. Presses Universitaires de Rennes, pp.105-122, 2010.

DUBREUIL, V.; KARIME, P. F.; OLIVIER, P.; SANT'ANNA NETO, J. P. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins [Online]**, n. 37, 2018. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/15738>. Acesso em: 06 jan. 2019.

DUMKE, E. M. S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba (AU_RMC)**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ELIASSON, I. Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. **Atmospheric Environment**, v. 30, p. 379-392, 1996.

ELIASSON, I. Intra-urban nocturnal temperature differences: multivariate approach. **Climate Research**, v. 7, p. 21-30, 1996.

ELLEFSSEN, R. Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary layer in ten US cities. **Energy and Buildings**, v. 15-16, p. 1025-49, 1990/91.

ESCOURROU, G. Climate and pollution in Paris. **Energy and Buildings**, v. 15-16, p. 673-676, 1991.

FERREIRA, F. L.; PRADO, R. T. A. **Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil**. São Paulo: EPUSP, 2003.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na zona da mata mineira**. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FIALHO, E. S. Estudos climáticos em sítios urbanos e rurais. In: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S. (Org). **Concepções e Ensaios da Climatologia Geográfica**. Dourados.: Editorada UFGD, p. 83-114, 2012.

FIALHO, E. S. Unidades climáticas urbanas: o caso da Ilha do Governador-RJ. **Revista de C. Humanas**, v. 10, n 1, p. 26-46, 2010. Disponível em: <http://www.cch.ufv.br/revista/pdfs/artigo2vol10-1.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2016.

FILIPPINI, E. **À sombra dos Cafezais: Sitiantes e Chacareiros em Jundiá 1890-1920**. Tese (Doutorado em História) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

FOISSARD, X. **L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique: application à l'agglomération rennaise**. These (Docteur) - Université de Rennes II, Rennes, 2015.

FOISSARD, X.; QUENOL, H.; DUBREUIL, V. **Analyse et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain dans l'agglomération rennaise**. Actes du XXVIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie. Cotonou: Bénin, 2013.

GARCÍA, M. C. M. **La Cartografía del Fenómeno de la “Isla de Calor”**. NOTES DE GEOGRAFIA FÍSICA, Barcelona, v. 19, p. 73 – 81, 1990

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

GELETIČ, J.; LEHNERT, M.; DOBROVOLNÝ, P. Land Surface Temperature Differences within Local Climate Zones, Based on Two Central European Cities. **Remote Sensing**, v. 8, p. 788, 2016

GRIMMOND, S. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. **Geographical Journal**, v. 173, p. 83-88, 2007.

GÓMEZ, A. L.; GARCÍA, F. F.; ILERA, F. A. **Teledetección y clima urbano**. Variaciones nocturnas y diurnas de la isla de calor en Madrid. Instituto de Economía y Geografía. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, 1995.

GOMES, Washington Paulo. **Características da Temperatura na Zona Costeira: análise do clima urbano em Ubatuba-SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, 2017.

GOULART, J. O.; BENTO, P. C. Enclaves fortificados e segregação urbana: o caso de Jundiá. **Sociedade e Cultura**, v. 14, n. 1, p. 181-193, 2011.

HACK, L. P. O Clima Urbano de Petrópolis – RJ: análise dos impactos ambientais das chuvas de verão nas áreas de riscos e nas inundações. In: SANT'ANNA NETO, J. L (Org). **O clima das cidades brasileiras**. Presidente Prudente: Editora Edunesp, p. 89-114, 2002.

HARTMANN, F.L. et al. Observations: Atmosphere and Surface. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press, 2013.

HOUET, T.; PIGEON, G. Mapping urban climate zones and quantifying climate behaviours – An application on Toulouse urban area (France). **Environmental Pollution**, v. 159, n. 8-9, p. 2180-2192, 2011.

HOWARD, L. **The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis**. 1 ed. Londres: W. Phillips, George Yard, Lombard Street, 1818, v.1. Disponível em: http://www.urbanclimate.org/documents/LukeHoward_Climate-of-London-V1.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2013.

HU, L; BRUNSELL, N. A. The impact of temporal aggregation of land surface temperature data for surface urban heat island (SUHI) monitoring. **Remote Sensing of Environment**, v. 134, p. 162-174, 2013

JAMEI, E.; OSSEN, D. R. Intra urban air temperature distributions in historic urban center. **American Journal of Environmental Science**, v. 8, n. 5, p. 503-509, 2012.

JARDIM, C. H. **Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas**. Dissertação (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências da Unicamp, Campinas, 2007.

JOHNSON, D. B. Urban modification of diurnal temperature cycles in Birmingham, U. K. **Journal of climatology**. v. 5, p. 221-225, 1985.

KANDA, M. Progress in the scale modeling of urban climate: Review. **Theoretical Applied Climatology**, v. 84, p. 23–33, 2006.

KOTHARKAR, R.; BAGADE, A. Evaluating urban heat island in the critical local climate zones of an Indian city. **Landscape and Urban Planning**, v. 1698, p. 92-104, 2018.

LIN, X.C.; YU, S.Q. Interdecadal changes of temperature in the Beijing region and its heat island effect. **Chinese Journal of Geophysics**, v. 48, n. 1, p. 47-54, 2005.

LISSETTE, K.; SANDER, Z.; HENK V.; ELENA, M. The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 64, p. 23–29, 2012.

LANDSBERG, M. E. **The urban climate**. New York: Academia Press, 1981. 276p.

LANGENBUCH, J. R. **A Estruturação da Grande São Paulo**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1971.

LEHNERT, M.; GELETIČ, J.; HUSÁK, J. Urban field classification by “local climate zones” in a medium-sized Central European city: the case of Olomouc (Czech Republic).

Theoretical Applied Climatology, v. 122, p. 531-541, 2015.

LIMA, A. P. **Análise de impactos associados à precipitação na cidade de São Carlos-SP.**

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente-SP, 2012.

LIMA, G. N. **Características do clima urbano de Nova Andradina-MS.** Dissertação

(Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2011.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo.** São Paulo:

Hucitec, 244p, 1985.

MACHADO, L. A. ASSIS, W. L. Proposta metodológica de mapeamento de unidades

topoclimáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 186-204, 2017.

MADUREIRA, H.; MONTEIRO A.; VELHO S.; GONÇALVES, P. Identificação de ‘Local

Climate Zones’ (LCZ’s) no concelho do Porto. Em: **XI Congresso da Geografia**

Portuguesa, Porto, p. 453-456, 2017.

MARQUES, J. R. **Jundiaí, um impasse regional – O papel do município de Jundiaí entre duas regiões metropolitanas: Campinas e São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Geografia)

- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e**

pequeno: proposição metodológica para estudo e aplicação à cidade de Londrina, PR.

Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. Clima e Planejamento urbano em Londrina – proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo térmico. *In*: MONTEIRO, C. A. F.;

MENDONÇA, F. (Org) **Clima urbano.** São Paulo: Contexto, 2003.

MENDONÇA F.; DUBREUIL V. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC

(Região Metropolitana de Curitiba - PR). **Revista RA'E GA - O espaço geográfico em análise**, n. 9, p. 25-35, 2005.

MENDONÇA, V. M. **Clima urbano de Londrina/PR.** Dissertação (Mestrado em Geografia)

- Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.

MIDDEL, A.; HÄB, K.; BRAZEL, A. J. MARTIN, C. A.; GUHATHAKURTA, S. Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones.

Landscape and Urban Planning, v. 122, p. 16–28, 2014.

MINAKI, C. **O clima urbano como indicador de qualidade ambiental: estudo de caso da paisagem urbana de Araçatuba/SP.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade

Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2014.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 181p. (Série Teses e Monografias, 25), 1976.

MONTEIRO, C. A. F. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil. **Geosul**, Florianópolis: Edufsc, n. 9, ano V, p. 7-19, 1990.

MONTEIRO, A.; MADUREIRA, H.; FONSECA, L.; GONÇALVES, P. **O(s) clima(s) de Gaia**. Câmara Municipal de Gaia. 59p, 2018.

MOREIRA, J. L. **O clima urbano em Penápolis/SP: análise da temperatura e umidade intraurbana**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2016.

MORALES, W.F. **Índios e Africanos na Jundiaí Colonial**. Jundiaí: Secretaria de Planejamento e Meio ambiente, 2002.

NORONHA, E. A.; HESPANHOL, R. A. M. O espaço periurbano no município de Jundiaí-SP: Características e tendências atuais. **Revista Formação (Online)**, v.1, p. 85-96, 2008.

NG, Y. A Study of Urban Heat Island using “Local Climate Zones” – The Case of Singapore. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 5, n. 2, p. 116-133, 2015.

OKE, T. R. Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. **IOM Report 81, WMO/TD**. No. 1250. World Meteorological Organization, Geneva, 2006. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/-UrbanMetObs.pdf>. Acesso em: ago. 2016.

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

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 372p., 1978.

OKE, T.R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, p. 1-24, 1982.

OLIVEIRA, N. P. Produção de habitação e desigualdades socioespaciais: perspectiva crítica da urbanização Jardim Novo Horizonte, Jundiaí-SP. In: **XI Encontro Nacional da ANPEGE**, 2015, Presidente Prudente. XI Encontro Nacional da ANPEGE, 2015.

ONU-HABITAT: Relatório ‘Estado das Cidades da América Latina e Caribe’. Produzido pelo **Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos**. Disponível em: http://www.onuhabitat.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=362&Itemid=18. Acesso em: 14 set. 2016.

PERERA, N.G.R., EMMANUEL, R., MAHANAMA, P.K.S. Mapping “Local Climate Zones” and Relative Warming Effects in Colombo, Sri Lanka. **Paper Presented at the 8th International Conference on Urban Climate**, Dublin, Ireland, 2012.

PITTON, S. E. C. **As cidades como indicadores de alterações térmicas**. São Paulo, Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

POLIZEL, J. L. **Geotecnologias e clima urbano: aplicação dos recursos de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na cidade de Piracicaba, SP**. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PORANGABA, G. F. O. **O clima urbano das cidades do interior do estado de São Paulo: uma análise do campo térmico de Assis, Cândido Mota, Maracá e Tarumã**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.

RAMPAZZO, C. R. **Clima e Produção do espaço urbano: contribuição ao estudo da geografia do clima no contexto das cidades de São Carlos e Marília (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.

REN, G.Y.; CHU, Z.Y.; CHEN, Z.H. Implications of temporal change in urban heat island intensity observed at Beijing and Wuhan stations. **Geophysical Research Letters**. v. 34, p. 1-5, 2007. <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL027927>.

REN, G., ZHOU, Y. Urbanization effect on trends of extreme temperature indices of national stations over mainland China, 1961 e 2008. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 2340-2360, 2014.

ROBITU, M.; INARD, C.; MUSY, M; GROLEAU, D. Energy balance of water ponds and its influence on building energy consumption. **Eight International IBPSA Conference**. Holanda. 2004.

SAARONI, H., ZIV, B., EDELSON, J. AND ALPERT, P. Long-term variation in summer temperatures over the eastern Mediterranean. **Geophysical Research Letters**, v. 30, p. 1-8, 2003.

SANT'ANNA NETO, J. L. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista Brasileira de Climatologia [Online]**, v. 8, p. 45-60, 2011.

SANT'ANNA NETO, J. L. Escalas geográficas do clima: mudança, variabilidade e ritmo. In: Margarete C. de Costa Trindade Amorim; João Lima Sant'Anna Neto; Ana Monteiro. (Org.). **Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso**. 1ed. São Paulo: Outras Expressões, v. 1, p. 75-91, 2013.

SANTAMOURIS, M.; PARAPONIARIS, K.; MIHALAKAKOU, G. Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece. **Climatic Change**, v. 80, n. 3-4, p. 265-276, 2007.

SANTOS, M. **Técnica, espaço, tempo: globalização e meio técnicocientífico informacional**. São Paulo: HUCITEC, 190 p., 1993.

SHEPHERD, J. M. A review of current investigations of urban-induced rainfall and recommendations for the future. **Earth Interactions**, v. 9, p. 1–27, 2005.

STEINECKE, K. Urban climatological studies in the Reykjavik subarctic environment, Iceland: **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 24, p. 4157–4162, 1999.

STEVAN, S.; MILOŠEVIĆ, D.; LAZIĆ, L.; MARKOVIĆ V.; ARSENOVIĆ D.; PAVIĆ, D. Classifying Urban Meteorological Stations Sites by “Local Climate Zones”: Preliminary Results for the City of Novi Sad (Serbia), **Geographica Pannonica**, v. 17, p. 60–68, 2013.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Newly developed “thermal climate zones” for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer. Preprints, **T. R. Oke Symposium & Eighth Symposium on Urban Environment**, January 11–15, Phoenix, AZ, 2009.

STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island**. Thesis (Doctor of Philosophy). The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia. Vancouver, 2011.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n.12, p.1879–1900, 2012. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>. Acesso em: ags. 2015.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Classifying climate field sites by “local climate zones”: the case of Nagano, Japan. **The Seventh International Conference on Urban Climate**, 29 June – 3 July 2009b, Yokohama, Japan. Disponível em: http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/385055-1090515165722002.pdf. Acesso em: 24 mai. 2016.

STEWART I. D. Developing a field guide to identify ‘local climate zones’ in cities. **10th International Conference on Urban Climate & 14th Symposium on the Urban Environment**, New York City, USA. 2018.

TAHA, H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 99–103, 1997.

TARIFA, J. R.; ARMANI, G. As Unidades Climáticas Urbanas da Cidade de São paulo: os climas e a (re) produção do espaço nas metrópoles. In: **8º Encontro de geógrafos de América Latina**. Anais do 8º Encontro. Santiago: USC, 2001.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano de Rancharia - SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.

TEOBALDO NETO, A. **A geografia do risco e da vulnerabilidade ao calor em espaços urbanos da zona tropical: o caso Cuiabá/MT**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2019.

THEEUWES, N.; SOLCEROVÁ, A.; STEENEVELD, G. Modeling the influence of open water surfaces on the summertime temperature and thermal comfort in the city. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 11, n.16, p. 8881–8896, 2013.

UGEDA JÚNIOR, J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2012.

UNFPA. FUNDO DE POPULAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS. **Caderno de Populações**. Disponível em: < <http://www.unfpa.org.br/novo/index.php/populacao>>. Acesso em: 15 agos. 2015.

VOOGT, J. Urban heat island. **Encyclopedia of global environmental change**. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 2002

VOOGT, J.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, p. 370-384, 2003.

WANG, R.; RENA, C.; XU, Y.; LAU, K., K.; SHIA, Y. Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods: A case study of Hong Kong. **Urban Climate**, v. 24, p. 567-576, 2018.

WANNER H.; FILLIGER P. Orographic influence on urban climate. **Weather and Climate**, v. 9, p. 22–8, 1989.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing of urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, p. 335-344, 2003.

XU, Y., MA, F., MENG, D., REN, C. AND LEUNG, Y. A cotraining approach to the classification of local climate zones with multi-source data. *In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, IEEE International, p. 1209–1212, 2017.

ZAVATTINI, J. A. A pesquisa em Climatologia Geográfica. *In: ZAVATTINI, J. A. (Org.); BOIN, M. N. Climatologia Geográfica: teoria e prática de pesquisa*. Campinas: Editora Alínea, p. 13-28, 2013.

ZHONGLI, L.; HANQIU, X. A study of Urban heat island intensity based on “local climate zones”: A case study in Fuzhou, China. *In Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA)*, p. 250–254, 2016.

ZHOU, D.; ZHAO, S.; LIU, S.; ZHANG, L.; ZHU, C. Surface urban heat island in China's 32 major cities: Spatial patterns and drivers. **Remote Sensing of Environment**, v. 152, p. 51-61, 2014.