

VARIABILIDADE ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR COM USO DE TRANSECTOS MÓVEIS EM JUNDIAÍ/SP

DORIGON, Larissa Piffer – laridorigon@hotmail.com
Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho /UNESP – Presidente Prudente

AMORIM, Margarete Cristiane Trindade de Costa – margarete.amorim@unesp.br
Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho /UNESP – Presidente Prudente

Submetido em: 27/04/2020

Aceito para publicação em: 26/07/2020

Publicado em: 11/08/2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.73202>

RESUMO: Cada técnica de mensuração para estimativa de ilha de calor possui vantagens e desvantagens e a escolha do(s) método(s) depende da finalidade e dos recursos da investigação. Os transectos móveis podem ter grandes vantagens para áreas com pouca informação climatológica histórica ou para áreas com redes esparsas e/ou estações meteorológicas mal posicionadas. Neste sentido, este artigo apresenta os resultados obtidos através de medidas itinerantes, realizadas durante as pesquisas de campo em Jundiaí/SP. O objetivo principal foi analisar espacialmente o campo térmico em Jundiaí/SP e relacionar as intensidades de ilhas de calor com as características de superfície. Os registros ocorreram em 10 episódios, entre os meses de agosto e setembro de 2017. 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 registrados pelos transectos móveis (medidas itinerantes) constataram a existência de um padrão térmico de distribuição espacial, uma vez que as variações de temperatura do ar 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 do ar (ART) ao longo dos dois percursos. As ICU foram registradas, majoritariamente, em áreas com alto grau de adensamento construtivo, ao passo que as ART estiveram relacionadas à presença de vegetação, água e aos fundos de vale.

PALAVRAS-CHAVE: Ilhas de calor. Transectos móveis. Zonas Climáticas Locais. Jundiaí-SP

SPATIAL VARIABILITY OF AIR TEMPERATURE USING MOBILE TRANSECTS IN JUNDIAÍ / SP

ABSTRACT: Each measurement technique for heat island estimation has advantages and disadvantages and the choice of methods depend on the use and the research resources. Mobile transects can have great advantages for areas with little historical climatological information or for areas with sparse networks and/or poorly positioned meteorological stations. In this sense, this article presents the results obtained through itinerant measures, carried out during the field research in Jundiaí/SP. The main objective is to spatially analyze the thermal field in Jundiaí/SP and relate the heat island intensities with the surface characteristics. The records occurred in 10 episodes in the months of August and September 2017. It is noteworthy that, every day, the synoptic conditions were ideal for the development of urban heat islands, that is, clear skies and low wind speed. Measurements were made every 100 m, resulting in 400 records each day. The data recorded by mobile transects (itinerant measurements) verified the existence of thermal pattern of spatial distribution since temperature variations occurred in a similar way in most of the recorded episodes. Through these data, areas where the most intense urban heat islands (UHI) and areas considered as temperature reducers (TRA) along the two paths were identified and delimited. UHI were mostly registered in areas with a high degree of constructive density, while TRA were related to the presence of vegetation, water and valley bottoms.

PALAVRAS-CHAVE: Heat islands. Mobile transects. Local Climate Zones. Jundiaí-SP

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE CON USO DE TRANSECTOS MÓVILES EN JUNDIAÍ / SP

RESUMEN: Cada técnica de medición para la estimación de la isla de calor tiene ventajas y desventajas y la elección de los métodos depende del propósito y los recursos de la investigación. Los transectos móviles pueden tener grandes ventajas para áreas con poca información climatológica histórica o para áreas con redes dispersas y/o estaciones meteorológicas mal posicionadas. En este sentido, este artículo presenta los resultados obtenidos a través de medidas itinerantes, realizadas durante la investigación de campo en Jundiaí/SP. El objetivo principal es analizar espacialmente el campo térmico en Jundiaí / SP y relacionar las intensidades de la isla de calor con las características de la superficie. Los registros ocurrieron en 10 episodios en los meses de agosto y septiembre de 2017. Es de destacar que, todos los

días, las condiciones sinópticas eran ideales para el desarrollo de islas de calor urbanas, es decir, cielos abiertos y baja velocidad del viento. Las mediciones se realizaron cada 100 m, lo que resultó en 400 registros cada día. Los datos registrados por transectos móviles (mediciones itinerantes) verificaron la existencia de un patrón térmico de distribución espacial, ya que las variaciones de temperatura ocurrieron de manera similar en la mayoría de los episodios registrados. A través de estos datos, se identificaron y delimitaron áreas donde las islas de calor urbano más intensas (ICU) y áreas consideradas como reductores de temperatura (ART) a lo largo de los dos caminos. Las ICU se registraron, principalmente, en áreas con un alto grado de densidad constructiva, mientras que las TAR se relacionaron con la presencia de vegetación, agua y fondos de valles.

PALABRAS CLAVE: Islas de Calor. Transectos móviles. Zonas climáticas Locales. Jundiaí-SP.

1. INTRODUÇÃO

Nas cidades, a análise climática está diretamente ligada à intensa modificação ocorrida na paisagem, uma vez que, devido tanto ao aumento demográfico quanto a intensificação das atividades humanas, esses espaços "passaram a assumir a responsabilidade do impacto máximo da atuação humana sobre a organização na superfície terrestre e na deterioração do ambiente" (MONTEIRO, 1976, p. 54).

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 de um clima especificamente 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, 2002). Além disso, os processos antropogênicos liberam calor e poluição em excesso para a atmosfera.

Juntos eles resultam em maiores temperaturas urbanas quando comparadas ao ambiente rural próximo, gerando o fenômeno das ilhas de calor urbanas, ou arquipélago de calor urbano, quando a estrutura espacial é multicelular. Normalmente, o maior desenvolvimento das ilhas de calor ocorre durante a noite quando o calor (armazenado durante o dia) é liberado (UNGER, 2004 e GARCÍA, 1991).

A importância da localização e mensuração das ilhas de calor baseia-se em seus impactos socioeconômicos, de saúde e meteorológicos no ambiente urbano. A intensidade desse fenômeno (ΔT) é definida como a diferença entre as temperaturas de um determinado local urbano em relação ao seu rural próximo (LOWRY, 1977 e OKE, 1997). A maior ou menor intensidade depende do uso e ocupação da terra e dos padrões urbanos, como por exemplo, taxa de construção e vegetação urbana, fator de observação do céu, entre outros. (OKE, 1987; GOLANY, 1996 e UNGER, 2004).

Desde os anos de 1980 nota-se a multiplicação de estudos em diferentes ambientes que utilizam distintos métodos para identificar a natureza dos climas urbanos e, particularmente do fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas (OKE, 1982). Estes métodos envolvem, em sua maioria, a análise de estações meteorológicas fixas, o uso de transectos móveis, o processamento de bandas visíveis e térmicas de imagens de satélite por meio de técnicas de sensoriamento remoto e o lançamento de levantamentos verticais através das áreas fronteiriças urbanas e rurais.

Cada técnica de mensuração para estimativa de ilha de calor possui vantagens e desvantagens, e a escolha do(s) método(s) depende da finalidade e dos recursos da investigação. Os transectos móveis podem ter grandes vantagens para áreas com pouca informação climatológica histórica ou para áreas com redes esparsas e/ou estações meteorológicas mal posicionadas para representar facetas da cidade e seus arredores (STEWART, 2000).

Considerando que a compreensão do fenômeno das ilhas de calor está relacionada diretamente com os elementos ambientais e urbanos do sítio em questão, este artigo apresenta as características de uso e ocupação da terra a partir das Zonas Climáticas Locais (Local Climate Zones - LCZ), uma metodologia elaborada por Stewart (2011), na qual cada zona climática é detalhada de acordo com as propriedades encontradas na superfície e possibilita ultrapassar a dicotomia "rural x urbano" devido a descrição específica de cada LCZ.

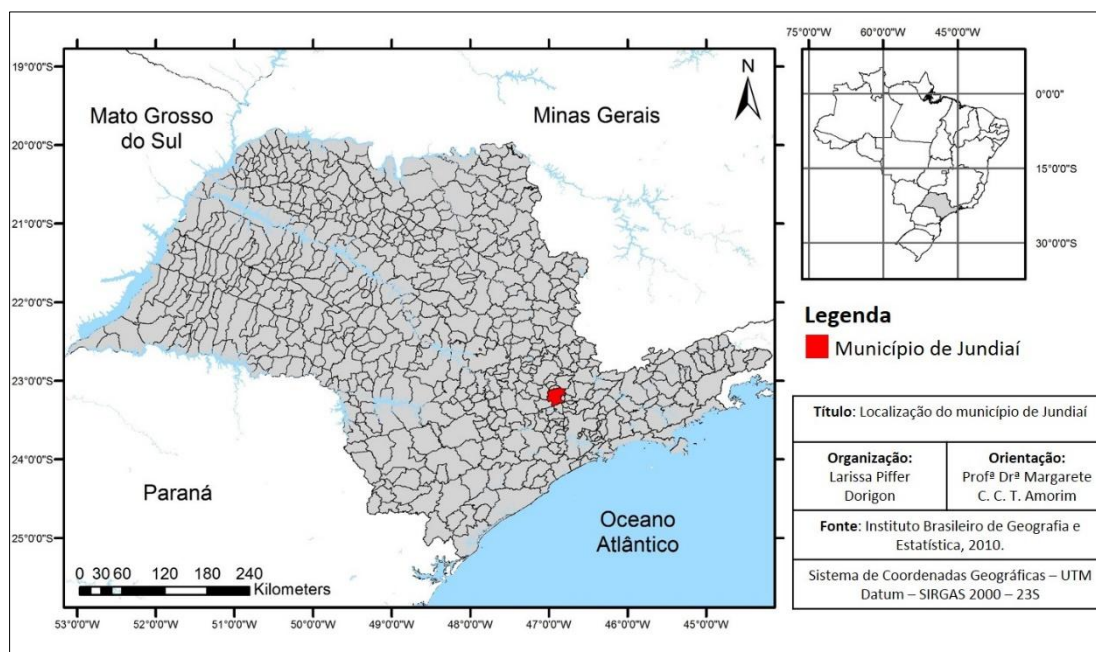
Neste sentido, este artigo apresenta os resultados obtidos através dos transectos móveis, realizados durante as pesquisas de campo na cidade de Jundiaí. O objetivo principal foi analisar espacialmente o campo térmico da cidade e relacionar as intensidades de ilhas de calor com as características de superfície.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

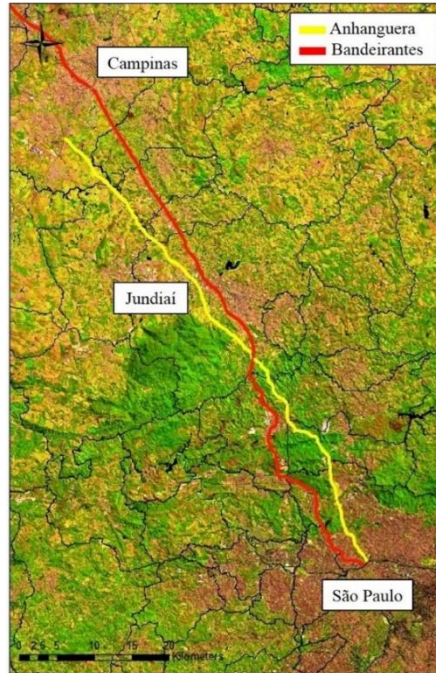
Jundiaí, localiza-se na região sudeste do estado de São Paulo (Figura 1). De acordo com o censo de 2010 (IBGE) o município possuía população de 370.126 habitantes e área aproximada de 433km², e sua taxa de urbanização era de 95%. A população estimada em 2018 foi de 414.810 habitantes.

Figura 1 - Localização do município de Jundiaí dentro do Estado de São Paulo



O município conta com localização geográfica estratégica (Figura 2), entre os dois principais centros consumidores do Estado de São Paulo (Campinas e São Paulo) e possui infraestrutura de transportes, principalmente as rodovias Anhanguera e Bandeirantes, que facilita o movimento entre as cidades e reflete no crescimento urbano constante desde 1970.

Figura 2 - Contexto da região de Jundiaí/SP



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

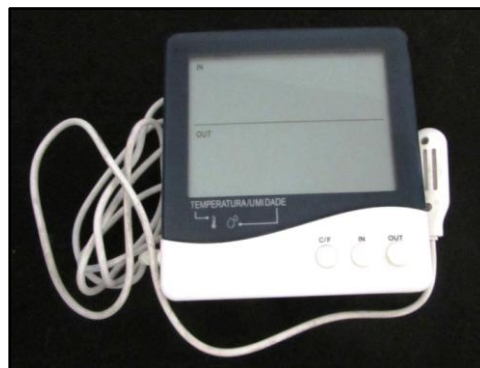
A descentralização industrial da Região Metropolitana de São Paulo foi um processo que colaborou para o crescimento populacional de Jundiaí, e atualmente, a lógica dos enclaves fechados e da segregação espacial é altamente reconhecida, devido às suas vantagens logísticas, à qualidade de vida oferecida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

Assim, o aumento populacional e a expansão territorial urbana em Jundiaí tornam interessante o aprofundamento do conhecimento sobre a geração e a espacialização do fenômeno das ilhas de calor urbanas.

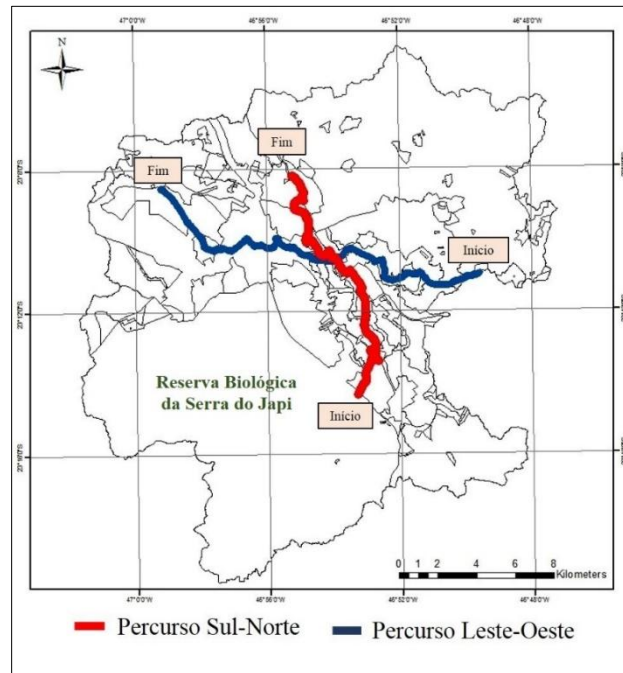
2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização dos transectos móveis foram utilizados sensores digitais de temperatura do ar (marca Incoterm- Figura 3) 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, sendo que um partiu da área rural em sentido Leste-Oeste e o outro seguiu no sentido Sul-Norte (Figura 4). A velocidade dos veículos foi contínua e não ultrapassou 30km/h e os percursos duraram em média 50 minutos.

Figura 3 - Sensor digital utilizado nos transectos móveis



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 4 - Percursos realizados durante os transectos móveis noturnos em Jundiaí/SP

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

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.

Os registros ocorreram em 10 episódios, entre os 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.

A fim de padronizar as análises e considerar somente o efeito das características do sítio local nas temperaturas, optou-se por calcular suas intensidades. Para isso, a temperatura de cada ponto foi subtraída do menor valor medido em cada dia de realização dos transectos.

Os dados coletados através dos transectos móveis noturnos foram 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 foram elaboradas no programa *ArcMap*¹ e resultaram na espacialização da informação, auxiliando assim, na visualização das temperaturas registradas na malha urbana e área rural circunvizinha.

Com os dados obtidos também 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 do ar (ilhas de calor de menores magnitudes).

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

¹ ArcMap é de domínio da ESRI (Environmental Systems Research Institute)

das ilhas de calor) foi de ao menos 2,5°C em distâncias inferiores a 1500 metros, equivalente a 5 pontos de registros.

Para caracterizar os elementos urbanos encontrados nos percursos, optou-se pela utilização da metodologia das LCZs, elaborada por Stewart e Oke (2009). 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 com base nas duas principais características que influenciam o clima das cidades, morfologia da superfície e cobertura do solo, Stewart e Oke (2009), levantaram quatro propriedades da 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.

A identificação das Zonas Climáticas para Jundiaí 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 e representadas nas figuras 6 e 7. Nos percursos foram identificadas as seguintes LCZs: A (vegetação arbórea densa); B (vegetação arbórea espaçada); D_G (vegetação rasteira com água); E (áreas pavimentadas); 3 (construções compactas de baixa elevação); 3_A (construções compactas de baixa elevação com vegetação arbórea densa); 3_B (construções compactas de baixa elevação com vegetação arbórea espaçada); 3_G (construções compactas de baixa elevação com água); 3₄ (construções compactas de baixa e alta elevação); 6 (construções espaçadas de baixa elevação); 6_D (construções espaçadas de baixa elevação com vegetação rasteira); 7_B (construções compactas pouco consolidadas de baixa elevação com vegetação arbórea espaçada); 7₃ (construções compactas pouco consolidadas e consolidadas de baixa elevação); 8 (grandes construções de baixa elevação); 8_A (grandes construções de baixa elevação com vegetação arbórea densa); 8_B (grandes construções de baixa elevação com vegetação arbórea espaçada); 8_G (grandes construções de baixa elevação com água).

3. AS DIFERENÇAS TÉRMICAS A PARTIR DAS MEDIDAS ITINERANTES

Os registros itinerantes de temperatura do ar através dos transectos móveis são relativamente de baixo custo e podem fornecer seções espaciais contínuas de toda a cidade (ou parte representativa dessa), e também gerarem 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 espacializar 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.

No 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. A tabela 1, apresenta as características de temperatura, umidade, pressão, direção e velocidade do vento, precipitação e a identificação das massas de ar no período em que os transectos foram realizados.

Tabela 1 – Condições atmosféricas de Jundiaí/SP no período de realização dos transectos móveis (agosto e setembro de 2017)

DIAS	AGOSTO					SETEMBRO															
	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
EPISÓDIO	1	X	2	X	X	3	X	4	X	5	X	6	X	X	7	X	X	8	9	10	
Temperatura máxima	29.3	29.4	29.2	30.8	31.7	22.5	26.4	27.5	28.8	29.2	30.0	30.3	30.8	31.1	31.5	31.4	32.6	33.0	32.5	33.1	
Temperatura mínima	11.0	10.2	10.8	10.5	10.8	14.3	14.3	12.0	9.4	10.1	9.0	12.0	11.4	11.4	12.5	13.3	14.1	14.3	13.1	13.1	
Temperatura das 9h	17.2	17.5	15.7	18.4	18.9	18.6	18.8	19.6	20.7	21.5	21.4	22.3	22.6	23.1	23.6	24.4	24.3	24.2	25.1	25.5	
Umidade máxima (%)	81.2	76.3	90.9	81.8	86.4	86.7	90.4	89.6	68.72	62.4	68.9	66.58	65.19	53.22	56.14	60.42	66.2	72.4	52.15	56.94	
Umidade mínima (%)	25.7	27.2	22.0	21.2	56.0	44.4	38.7	26.1	22.5	22.5	25.3	22.5	21.2	22.4	20.9	23.4	23.1	21.8	19.8	13.7	
Umidade das 9h (%)	50.6	52.8	53.9	48.3	74.1	73.0	70.0	57.5	45.5	39.9	50.0	44.4	39.2	38.7	39.1	41.5	44.0	45.5	35.6	34.7	
Pressão as 9h	928.5	929.2	929.3	928.2	933	935.7	935.8	934.7	932.3	931	931.5	931.9	928.6	929.3	928.5	929.6	930.9	931	929.4	932.3	
Dir. do Vento	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻
Vel. do Vento (m/s)	0.2	0.2	0.4	0.3	1.5	2	0.742	0.2	0.695	0.2	0.917	0.571	0.204	0.204	0.554	0.671	0.625	0.2	0.793	0.569	
Precipitação (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sistemas	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt

Como pode ser observado na tabela 2, a maior diferença de temperatura entre os pontos 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 80% (Figura 5) e a intensidade foi de somente 2,2°C.

Nos episódios com as maiores diferenças térmicas, as umidades relativas máximas não ultrapassaram 66%, com destaque para o episódio 6 que teve uma das maiores diferenças e a menor umidade, 52%.

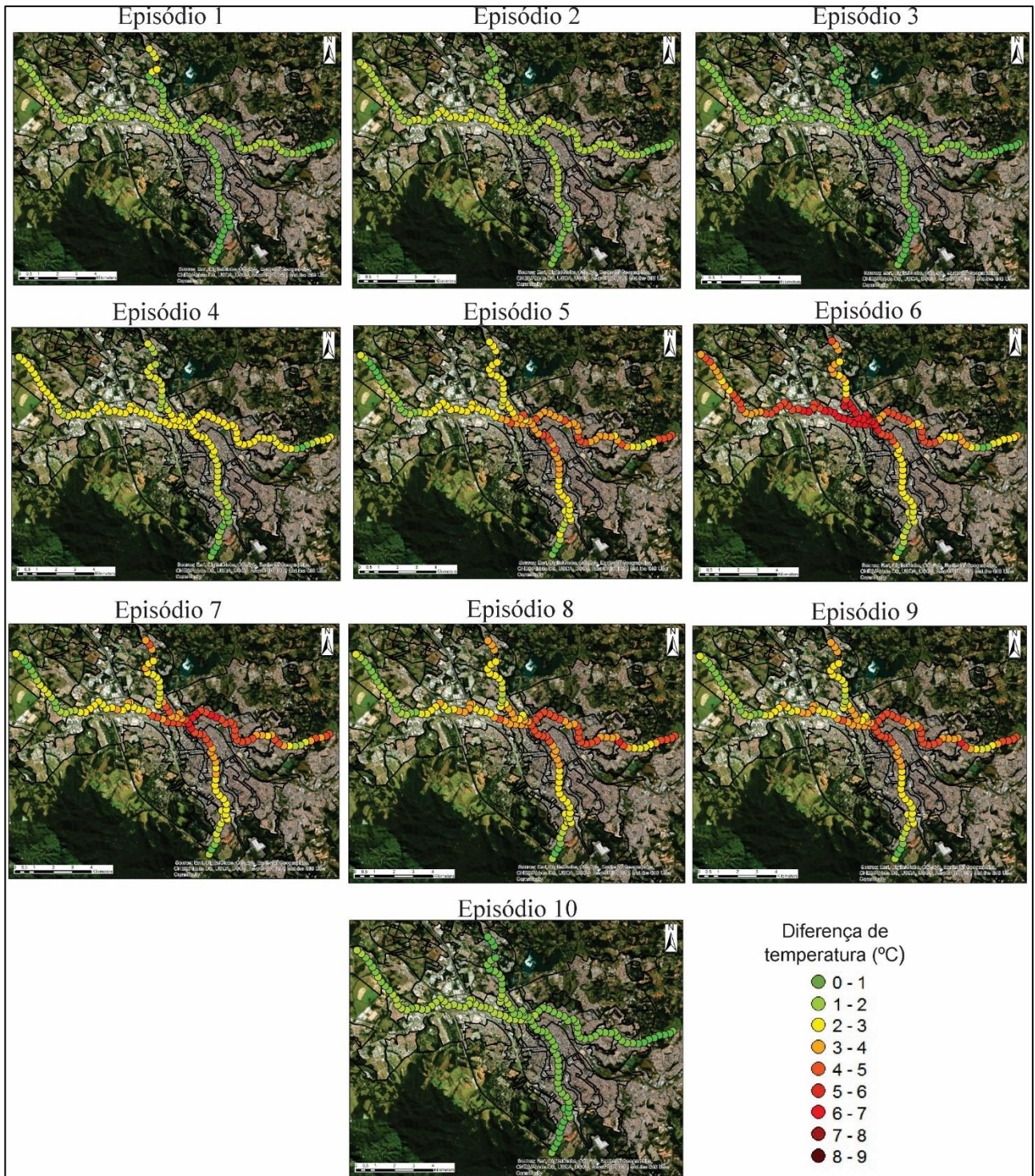
Tabela 2 - Diferenças térmicas máximas e mínimas dos 10 episódios de transecto móveis

Episódio	Data - 2017	Sistema atmosférico	Temp. Máxima	Temp. Mínima	Diferença térmica (Intensidade)
1	27/08	Polar Tropicalizada (Pt)	19,5	15,1	4,4
2	29/08	Polar Tropicalizada (Pt)	19,4	15,9	3,5
3	01/09	Polar Atlântica (Pa)	17,4	15,5	2,2
4	03/09	Polar Atlântica (Pa)	20,8	15,4	5,4
5	05/09	Polar Atlântica (Pa)	20,9	13,2	7,7
6	07/09	Polar Tropicalizada (Pt)	23,8	14,8	9
7	10/09	Polar Tropicalizada (Pt)	23,5	15,5	8
8	13/09	Polar Tropicalizada (Pt)	24,5	16	8,5
9	14/09	Polar Tropicalizada (Pt)	24,8	17,1	7,7
10	15/09	Polar Tropicalizada (Pt)	25,2	22,3	2,9

A figura 5 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 nos episódios 2 e 3 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 5 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.

Figura 5 - Espacialização das temperaturas medidas nos transectos móveis em Jundiáí (agosto e setembro de 2017 às 21h)



Dados meteorológicos da estação de Jundiáí - 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

Além dos tipos de tempo e das condições atmosféricas, 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 6 apresenta as diferenças de temperatura detectadas nos episódios mais significativos de registros (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 intensidades de temperaturas de acordo com as características urbanas e de relevo.

O primeiro gráfico (Figura 6) 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 a 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 Jundiá, 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 Jundiá. Nestes locais, apesar de contar com grandes galpões industriais, possuem vegetação arbórea e rasteira bastante presentes.

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.

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 Jundiá, bastante próximo a área de amortecimento da Reserva Biológica da Serra do Japi. Este fato justifica a identificação de LCZ A (vegetação densa) e as diferenças térmicas baixas nos pontos 1 e 2. Ademais, o ponto 2 está num fundo de vale e associado a baixa altimetria e a vegetação densa, esse local apresentou as diferenças mais baixas deste percurso, com 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 Jundiá 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.

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

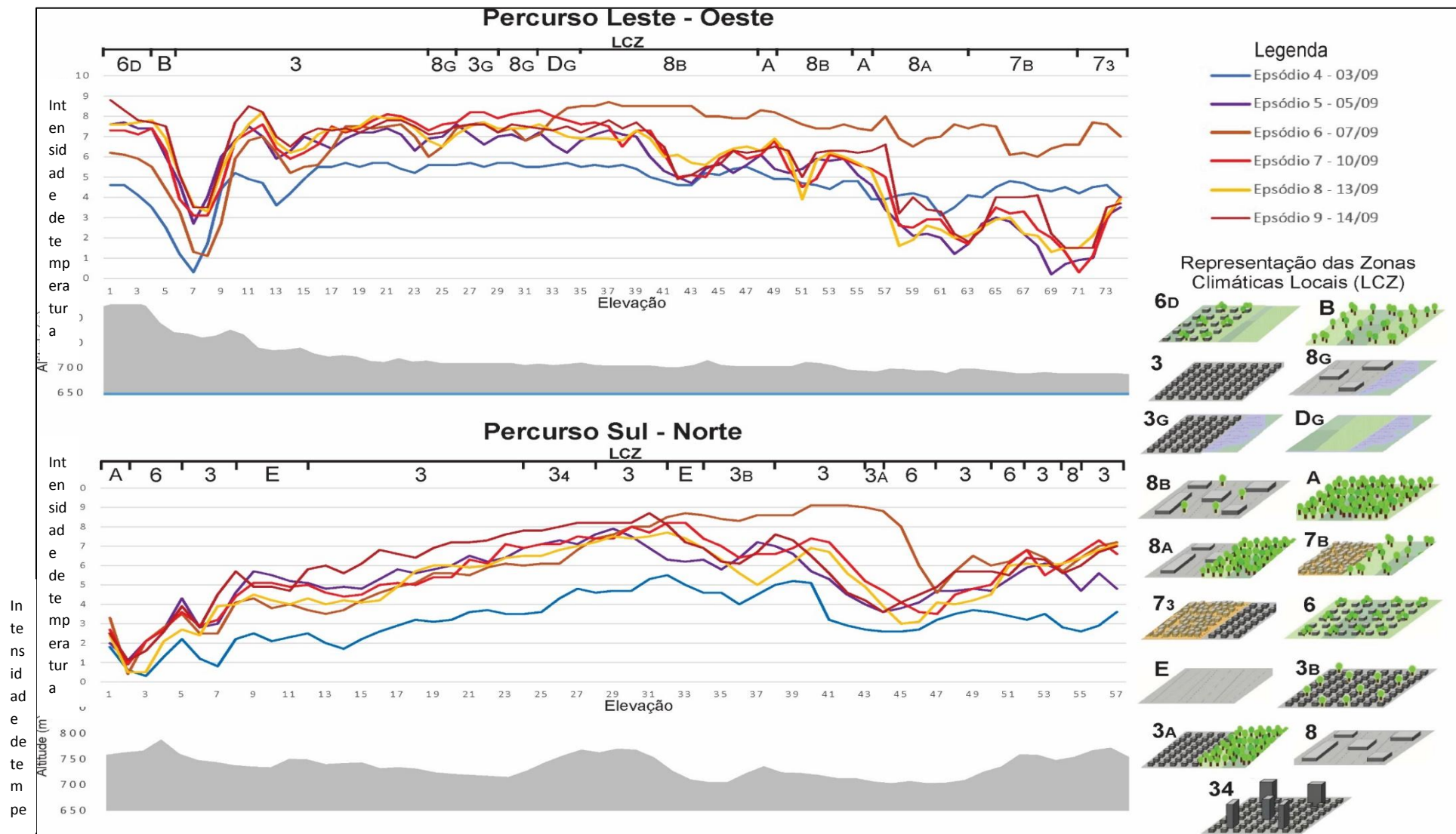
Até o ponto 43 foi identificada a LCZ 3, no entanto entre os pontos 40 e 42 a altimetria diminuiu 15 metros. Este fato também foi responsável pelas diferenças de temperaturas não serem tão elevadas como se espera para as áreas densamente construídas a exemplo da LCZ 3. A queda de altitude se manteve até o ponto 48 e, somado a isso, as LCZs 3_A e 6 identificadas no local, fizeram com que 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 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 6 – Intensidades de temperaturas medidas nos transectos em relação a altitude e as LCZs

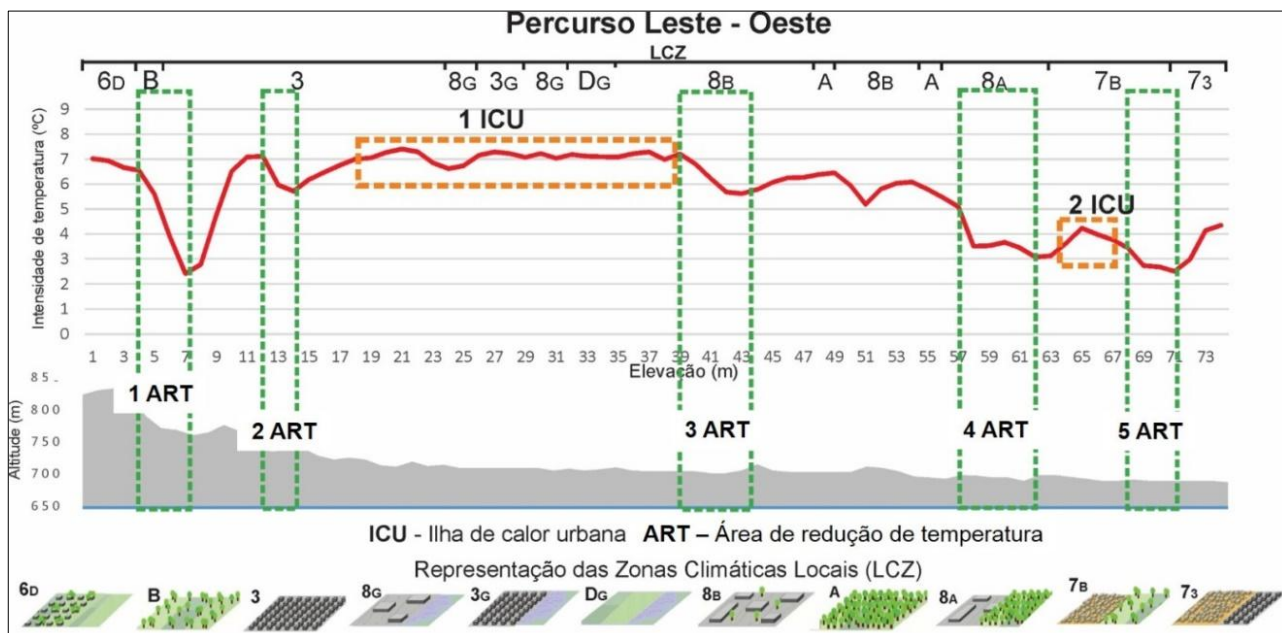


3.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANAS E DAS ÁREAS REDUTORAS DE TEMPERATURA ATRAVÉS DAS MEDIDAS ITINERANTES

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 Jundiáí.

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 7 apresenta a localização desses dois fenômenos que foram identificados no percurso Leste-Oeste.

Figura 7 - Identificação das Ilhas de Calor Urbanas e Áreas Redutoras de Temperatura (Percurso Leste-Oeste) identificadas nos transectos móveis em Jundiáí/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) com maiores intensidades. A tabela 2 sintetiza as informações de intensidades médias de temperatura, LCZs, diminuição ou elevação de altitude, e a localização dentro da cidade.

Tabela 2 - Síntese das informações de ICU e ART 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 presente nessa área e as construções esparsas (LCZ 8_B), fatores que possibilitaram a redução das temperaturas.

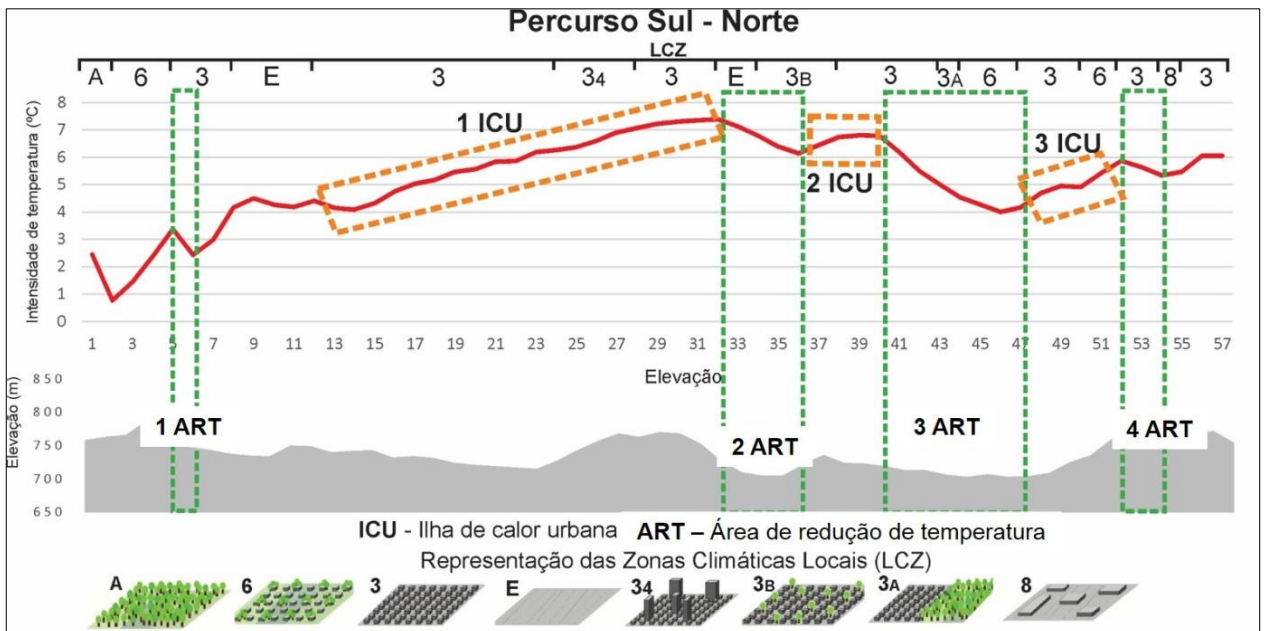
A quarta ART foi observada entre os pontos 57 e 62 (Av. Prefeito Luiz Latorre no Distrito Industrial). As intensidades diminuíram para, em média, 3,1°C e a altitude passou de 698m para 689m, ou seja, redução de 2,6°C em 8 metros. A LCZ 8 manteve-se neste trecho, contudo a vegetação passou de esparsa (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. Constata-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 8 apresenta o gráfico com as médias das diferenças de temperaturas e as definições das ICU e ART para o percurso Sul-Norte. Neste caminho foi possível identificar 3 ICU e 4 ART.

Figura 8 - 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 3, 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 de altitude.

Tabela 3 - Síntese das informações de ICU e ART 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, formando 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 3. 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, proporcionando 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 este motivo, a intensidade máxima foi de 6,8°C, 0,7°C a mais do que na ART anterior.

No meio dessas duas ICU 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.

Na terceira ICU, predominou a LCZ 3, com 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 da cidade, 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.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os dados coletados e a 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.

Os dados registrados pelos transectos móveis (medidas itinerantes) constatarem a existência de um padrão térmico de distribuição espacial, 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. As ICU foram registradas, majoritariamente, em áreas com alto grau de adensamento construtivo, ao passo que as ART estiveram relacionadas à presença de vegetação e água e declividade de relevo.

Resultados parecidos foram obtidos nas pesquisas realizadas por Amorim (2005); Cardoso e Amorim (2017) em Presidente Prudente, por Porangaba e Amorim (2017) em Assis, Cândido Mota, Maracaí e Tarumã e por Teixeira e Amorim (2016) em Rancharia, nas quais as maiores diferenças térmicas foram detectadas em episódios de atuação de sistemas estáveis, principalmente Massa Polar Atlântica e Massa Polar Atlântica Tropicalizada no inverno e a Massa Tropical Atlântica e Massa Tropical Continental no verão.

Sendo assim, compreendendo que o Brasil, em sua maior parte, está inserido em climas tropicais caracterizados por temperaturas elevadas, fator que, naturalmente, é capaz de gerar desconforto térmico, ter o conhecimento a

respeito da capacidade térmica urbana e como as ilhas de calor estão espacializadas em Jundiaí, formula um importante conhecimento a ser agregado no momento de elaboração de políticas ambientais públicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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.

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.

CARDOSO, R. S.; AMORIM, M. C. C. T. Variações espaciais das temperaturas noturnas em Presidente Prudente-SP em episódios de verão. **Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise**, v. 42, p. 257-268, 2017.

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.

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.

GARCÍA, M. C. M. **La Cartografía del Fenómeno de la "Isla de Calor"**.
NOTES DE

GEOGRAFIA FÍSICA, Barcelona, v. 19, p. 73 – 81, 1991.

GOLANY, G. S. Urban design morphology and thermal performance. **Atmospheric Environment**, 30 (3), p. 455-465, 1996.

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.

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

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

LOWRY W.P. Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis. **J Appl Meteorol**, v. 16, p. 129–135, 1977.

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.

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.

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., 1987.

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

PORANGABA, G. F. O; AMORIM, M. C. C. T. Análise de ilhas de calor diagnosticas por meio de transectos móveis em Assis, Cândido Mota, Maracá e Tarumã (SP). **CONFINS (PARIS)**, p. 1-20, 2017.

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.

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.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Perfil térmico noturno de cidade pequena do ambiente tropical em episódios de inverno. **RA'E GA (UFPR)**, v. 36, p. 208-228, 2016.

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.

UNGER, J. Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: Review and new approach. **Clim. Res.**, 27, p. 253-264, 2004