



Geografia e Ordenamento do Território, Revista Electrónica
Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território
<http://cegot.org>
ISSN: 2182-1267

CARDOSO, RENATA
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Geografia
Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900, Presidente Prudente (SP), Brasil
renatacardoso16@gmail.com

AMORIM, MARGARETE
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Geografia
Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900, Presidente Prudente (SP), Brasil
mccta@fct.unesp.br

Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão

Estimating spatial patterns of air temperature using the local climate zone (LCZ) scheme and statistical regression models

Referência: Cardoso, Renata ; Amorim, Margarete (2017). Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão. Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT), n.º 12 (dezembro). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, p. 75-99, [dx.doi.org/10.17127/got/2017.12.004](https://doi.org/10.17127/got/2017.12.004)

RESUMO

A substituição das superfícies naturais pelas construções urbanas provoca alterações em diferentes atributos meteorológicos, principalmente na temperatura do ar. As diferenças térmicas são tradicionalmente medidas entre o urbano e o rural, porém comumente relacionadas à intensidade da ilha de calor urbana (UHI), levando à simplificação desse fenômeno e da realidade paisagística. Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi aplicar o sistema de classificação das paisagens denominado “zonas climáticas locais” (LCZ) em Presidente Prudente (SP), Brasil, como base para a investigação do campo térmico da cidade. A primeira etapa consistiu na elaboração de um mapa com as potenciais LCZs e na realização de transectos móveis em episódios de verão e inverno para medir os dados de temperatura do ar. Em seguida, utilizaram-se modelos de regressão para calcular a correlação entre as LCZs e as temperaturas do ar, e estimar os padrões de temperatura na área de estudo. Os resultados apresentaram correlação positiva (0,76), indicando que há uma relação entre morfologia urbana, cobertura da terra e atmosfera local, com temperaturas do ar mais elevadas nas LCZs compactas densamente construídas e diferenças térmicas que atingiram, em média, 4,4°C ($\Delta T_{LCZ\ 34-A}$).

Palavras-chave: Clima urbano, potenciais LCZs, medidas móveis, Presidente Prudente (SP).

ABSTRACT

The transformation of natural surfaces due to built urban forms affects several climatological variables, especially air temperature. Temperature differences are traditionally measured in urban and rural areas and are commonly related to the urban heat island (UHI) intensity; this leads to simplistic interpretation of the landscape universe and therefore the UHI. We applied the local climate zone (LCZ) scheme in Presidente Prudente, São Paulo, Brazil, to analyze the city's thermal climate. Our first step was to map potential LCZs. We then performed mobile traverses during summer and winter evenings to gather temperature data, and used statistical regression models to calculate the correlation between LCZs and air temperature, and to predict intra-urban thermal patterns. The results show a positive correlation (0.76) between urban morphology, land cover, and air temperature, compact built zones with higher temperatures, and maximum average inter-zone thermal difference of 4.4°C ($\Delta T_{LCZ\ 34-A}$).

Keywords: Urban climate, potential LCZs, mobile measurements, Presidente Prudente (SP).

1. Introdução

A cidade, apesar de ocupar pequenas parcelas do território, constitui uma forma de transformação intensa da paisagem natural, pois seu impacto advém tanto da alteração da morfologia do terreno quanto das mudanças nas condições do meio ambiente e da atmosfera (GARCÍA, 1995; MONTEIRO, 2003).

A interferência humana no funcionamento dos sistemas naturais pode ser observada através de uma série de processos, e dentre os mais notórios está a remoção da cobertura vegetal para a construção de infraestruturas urbanas. “A retirada da vegetação altera significativamente as propriedades da superfície e modifica os balanços de massa e energia, o que muitas vezes resulta em variações no balanço hídrico local, pois o papel de interceptação do dossel é perdido, a evapotranspiração é reduzida e o escoamento superficial é potencializado” (OKE, 1987, p. 262).

Pode-se esperar que a remoção da vegetação também altere o balanço de radiação, devido à nova geometria e ao albedo da superfície construída, caracterizada por diferentes propriedades de umidade, térmicas e aerodinâmicas. Os efeitos mais perceptíveis dessa mudança são a diminuição da radiação solar nas áreas sombreadas, o aumento local no recebimento da energia solar pela reflexão das paredes iluminadas pelo sol, e a redução das perdas de calor por irradiação noturna devido ao baixo fator de visão do céu. Por isso, as propriedades térmicas dos edifícios e pavimentos e a redução da evaporação na cidade são

considerados fatores dominantes no aumento da temperatura urbana (MYRUP, 1969; OKE, 1987; GARCÍA, 1995).

Ao considerar essas principais mudanças, não é de se surpreender que as áreas urbanas apresentem os sinais mais claros de modificação do clima. Com a contínua expansão das cidades para acomodar o fluxo de migrantes e o aumento natural da população, mais da metade da população mundial vive hoje em áreas urbanas e, grande parte dos países tem se tornado mais urbanizados. No Brasil, por exemplo, foi estimado que 85,4% da população morava em cidades em 2014, e a estimativa é de que em 2030 aumente para 88,6% e em 2050 chegue a 91% (UNITED UNIONS, 2014). Isso faz com que o estudo de clima urbano seja importante para garantir um ambiente agradável e saudável para os moradores, e para se conhecer a capacidade das características da superfície urbana em modificar os elementos do clima local.

A forma adotada pelo homem para habitar a cidade demonstra que cada vez mais as condições do ambiente têm sido alteradas no sentido de se adaptarem às suas intenções. Portanto, o crescimento populacional e o adensamento urbano sem um planejamento adequado às características do ambiente em que a cidade está inserida, e até mesmo às necessidades dos habitantes, têm refletido negativamente na qualidade ambiental urbana.

A cidade de Presidente Prudente, localizada no oeste do Estado de São Paulo, Brasil (Figura 1), com área urbana de aproximadamente 60 km² e população estimada de 223,749 habitantes (IBGE, 2016), também se insere nesse cenário de transformações, com problemas relacionados à canalização de seus rios e córregos ou alteração dos seus cursos; alterações das superfícies naturais cobertas por vegetação; impermeabilização do solo; produção artificial de calor, entre outros.

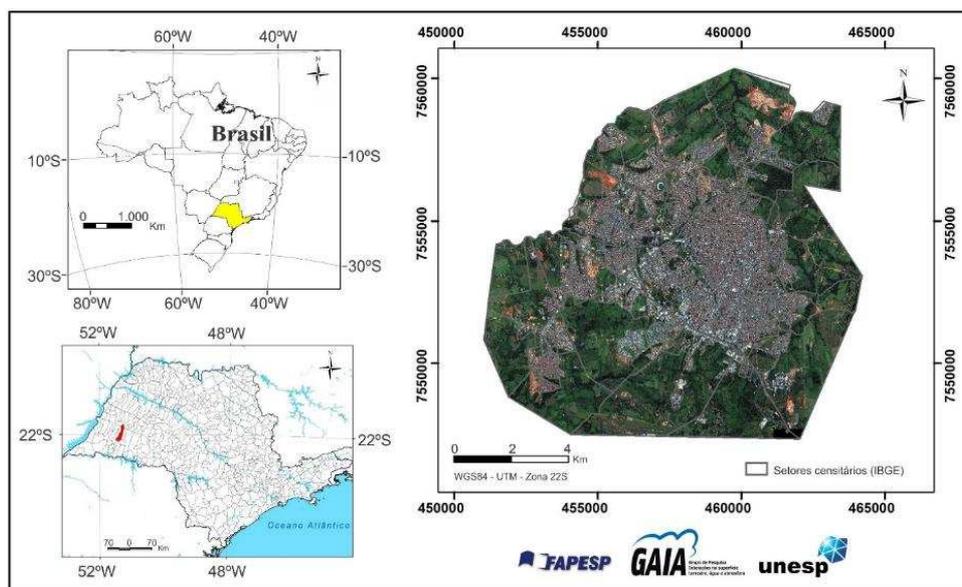


Figura 1 – Localização de Presidente Prudente no Estado de São Paulo, Brasil

Para a compreensão do efeito do urbano na “camada do dossel”, que se estende do solo até o nível médio das coberturas dos edifícios, Oke (2006) destaca que se deve avaliar: a estrutura urbana (a dimensão das edificações e o espaços entre elas, a largura das vias e o espaçamento entre elas), a cobertura da superfície (construída, pavimentada, com cobertura vegetal, solo descoberto, água), o tecido urbano (resultante do processo de expansão do fenômeno urbano, suas continuidades e descontinuidades) e o metabolismo urbano (água, calor e poluentes devido à atividade humana).

De acordo com Mendonça (2003, p. 99), a base para o estudo da diferenciação climática intraurbana consiste “no embasamento cartográfico e no conhecimento geográfico da cidade, e sua setorização, ou divisão em partes com características relativamente homogêneas”. Nesse sentido, esse estudo teve como objetivo aplicar o sistema de classificação da paisagem denominado “*Local Climate Zones*” (LCZ) (STEWART, 2011a; STEWART e OKE, 2012), ou zonas climáticas locais, em Presidente Prudente, como base para a análise do campo térmico da cidade.

Concomitante à proposta de conhecimento mais detalhado dos diferentes ambientes climáticos intraurbanos, pretendeu-se também correlacionar as LCZs com dados de temperatura do ar em episódios de verão e inverno, e estimar os padrões térmicos para a área de estudo. Dessa forma, foi possível identificar as superfícies, as formas construtivas e os principais fatores responsáveis pela formação das anomalias térmicas, agrupando um conjunto de informações que podem auxiliar na sugestão de propostas de planejamento urbano que visem à melhoria da qualidade de vida.

2. Clima urbano e classificação da paisagem

No decorrer do processo de urbanização em Presidente Prudente, a transformação das superfícies naturais pelas formas de construções urbanas resultou numa crescente heterogeneidade socioambiental das paisagens, cujas características apresentam potenciais em alterar o balanço de radiação e os elementos do clima na camada do dossel urbano.

Devido a tais transformações, a alteração mais evidente entre as variáveis meteorológicas pode ser observada pelo aumento da temperatura do ar próximo à superfície. Muitas dessas diferenças térmicas são aferidas com medições entre o urbano e o rural, porém são comumente relacionadas à intensidade da ilha de calor urbana (ICU). Há, portanto, uma simplificação desse fenômeno e da realidade paisagística, pois o uso da tradicional classificação “urbano-rural” não descreve suficientemente um local ou seus arredores, além

de limitar o avanço nos métodos e na comunicação da literatura sobre ilhas de calor (STEWART, 2011a, b; STEWART e OKE, 2012).

Tendo em vista a complexidade de atividades, fluxos e materiais constituintes da paisagem urbana, o mapeamento das características dos diferentes arranjos espaciais poderá orientar a classificação da paisagem do ponto de vista da sua capacidade em modificar seu clima local. Dessa forma, o conhecimento detalhado das diferenças do sítio e a organização destas em um novo sistema de classes, com características térmicas homogêneas, poderão oferecer melhorias em relação aos termos urbano e rural para explicar as anomalias térmicas.

Nesse sentido, o estudo realizado por Stewart (2011a) fornece uma base consistente para a classificação das paisagens urbanas e rurais por meio do que o autor denomina *Local Climate Zones* (LCZ), ou zonas climáticas locais. Essas zonas climáticas são devidamente detalhadas em relação às propriedades do local que influenciam o clima na camada do dossel urbano (altura da rugosidade superficial, fração de superfície impermeável, o desempenho térmico, etc.) e essas propriedades são organizadas em fichas técnicas (STEWART e OKE, 2009a, 2009b).

Para Stewart (2011a), o objetivo da classificação é o de estabelecer a ordem entre os fenômenos, que pode ser obtida pelo agrupamento de fenômenos com propriedades comuns em classes que revelam relações e padrões maiores. Desse modo, o sistema de classificação local para as observações de ilha de calor pode definir unidades em escalas muito menores, e encontrar uniformidade nos processos de superfície e características que influenciam a temperatura próxima à superfície.

2.1. Zonas climáticas locais (LCZ)

De acordo com esse sistema, a classe universal de observação de ilha de calor é a paisagem, a qual é dividida de acordo com as propriedades que influenciam o campo térmico na camada do dossel, ou seja, a morfologia da superfície (altura do objeto e densidade) e cobertura da terra (permeáveis ou impermeáveis). A morfologia da superfície afeta o clima local através da modificação do fluxo de ar e o transporte de calor no ar, enquanto a cobertura da terra modifica o albedo, a disponibilidade de umidade e potencial de aquecimento/ arrefecimento do solo (STEWART, 2011a, p. 162).

A estrutura do sistema tem como base dados observacionais e de modelagem numérica (STEWART e OKE, 2010; STEWART, 2011a), e todas as classes que derivam da divisão lógica da paisagem são chamadas de *Local Climate Zones* (LCZ), pois são locais na escala, climáticas na distinção das propriedades e zonais na representação espacial.

A representação conta com 17 LCZs, das quais 10 são relacionadas aos tipos de construções e 7 referentes aos tipos de cobertura da terra. Além dessas categorias, existe uma classe para o uso industrial e 4 subdivisões que podem ser usadas para caracterizar propriedades sazonais de cobertura da terra (Figura 2).

É válido destacar que, em decorrência das diferenças físicas e culturais encontradas nas paisagens, pode não haver correspondência direta com as LCZs. Como alternativa, o autor indica a possibilidade de se criar subclasses a partir da junção das LCZs ilustradas. As subclasses representam combinações dos tipos construídos, tipos de cobertura de terra e propriedades variáveis de cobertura da terra. O código para as novas subclasses é LCZ X_{ai} , onde X é a classe mais predominante no conjunto padrão de LCZs, a é a classe inferior (se aplicável) do conjunto padrão, e i é uma propriedade de cobertura de terra variável (se aplicável) (STEWART e OKE, 2012).

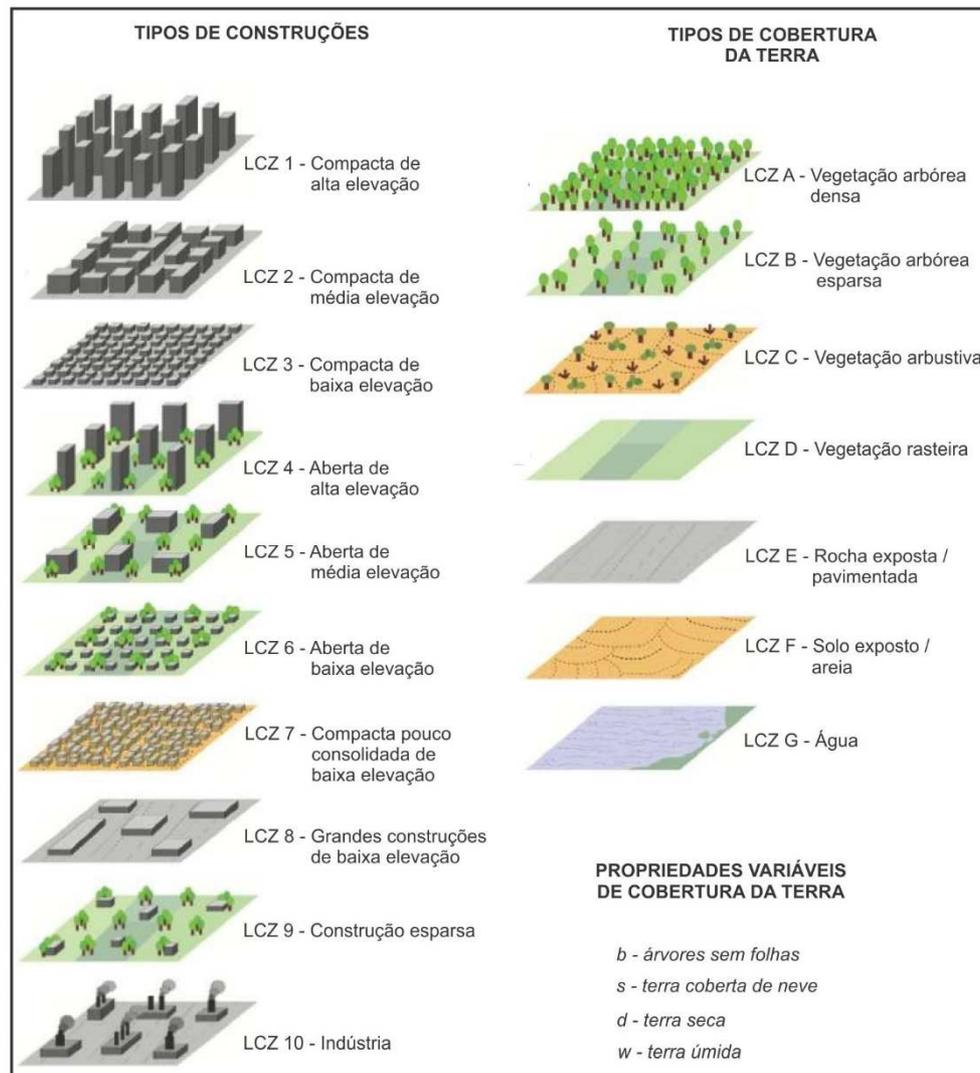


Figura 2 – Sistema de classificação da paisagem através de zonas climáticas locais (LCZ)

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012)

Após essas especificações, a melhor forma de promover a comunicação entre os estudos de ICU, a divulgação e a comparação das LCZs é através de fichas técnicas que contenham os perfis de cada classe, com 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.

3. Metodologia

A partir do conhecimento prévio da cidade e com o auxílio da imagem do satélite GeoEye-1 (5 de março de 2013), foram definidas as LCZs que apresentaram semelhanças com os diferentes arranjos da paisagem de Presidente Prudente. Durante esse processo, optou-se pela técnica de interpretação visual no aplicativo ArcGIS¹, utilizando informações como padrão, tonalidade, forma e tamanho das feições encontradas na imagem para delimitar as classes.

Ao mapear as LCZs em Presidente Prudente, optou-se por adicionar o adjetivo “potencial” à nomenclatura “zonas climáticas locais”, pois apesar de adotar a metodologia dos transectos móveis para medir os dados de temperatura ao longo de percursos que expressassem a diversidade das LCZs, muitas áreas não seriam abrangidas. Além disso, outros elementos importantes do clima não foram trabalhados com a mesma ênfase que se deu à temperatura, tais como a umidade do ar, direção e velocidade do vento, etc.

Para a aquisição direta dos dados de temperatura do ar e dos alvos foram utilizados dois termo-higrômetros digitais (modelo 7664.01.0.00) (Figura 3a), acoplados em hastes de bambu (~1,5 m) posicionadas nas laterais dos veículos, e dois termômetros digitais infravermelho, modelo 7671.01.0.00 (Figura 3b).

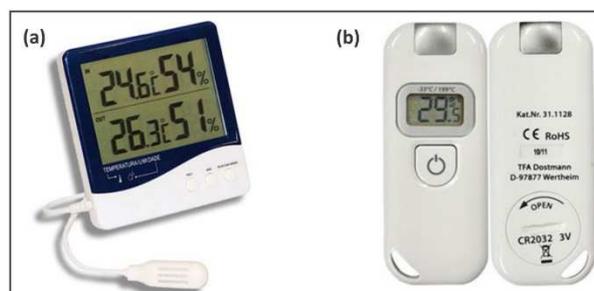


Figura 3 – Equipamentos utilizados nas medições móveis: (a) termo-higrômetro; e (b) termômetro digital infravermelho

¹ ArcGIS é marca registrada da ESRI – GIS Mapping Software, Solutions, Services, Map Apps, and Data.

As medições ocorreram por meio de transectos móveis noturnos (21 h) nos dias 11 de dezembro de 2013 e 2 de julho de 2014, sob condições sinóticas estáveis. Dois veículos com velocidade máxima de 30 km h⁻¹ percorreram simultaneamente os percursos em aproximadamente 1 h, com o total de 275 registros (155 no transecto W-E e 120 no S-N) (Figura 4).

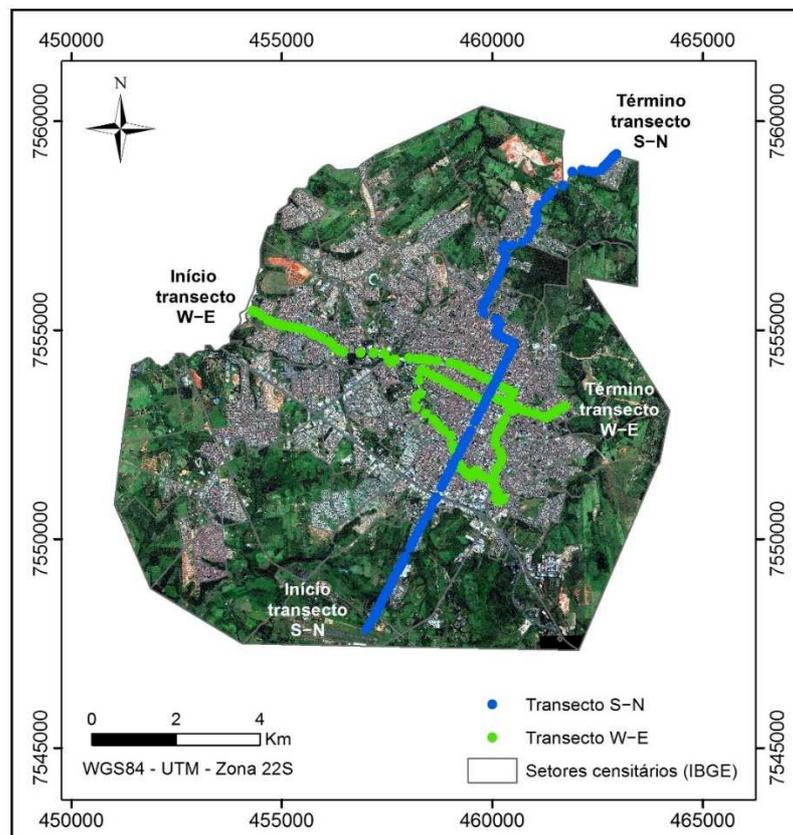


Figura 4 – Trajetos dos transectos móveis em Presidente Prudente

Com o objetivo de padronizar as medições e compensar o tempo de resposta dos sensores às variações de temperatura do ar, os dados foram registrados manualmente ao final de cada quarteirão (distância média de ~100 m entre os pontos medidos), enquanto a temperatura dos alvos foi obtida ao apontar o termômetro digital infravermelho pela janela do carro em direção ao objeto/superfície representativos das quadras percorridas.

Após a tabulação dos dados, a etapa seguinte consistiu na elaboração de modelagens espaciais da ilha de calor através do cálculo de regressões lineares (AMORIM; DUBREUIL; CARDOSO, 2015). Esse método estatístico é amplamente utilizado na geografia, particularmente em estudos de climatologia, nos quais o uso de regressão linear múltipla impõe uma correlação entre a variável a ser explicada (temperatura) e as variáveis explicativas (FOISSARD, 2015). Logo, modelos de regressão foram adotados com a finalidade

de relacionar a temperatura do ar em episódios de verão e inverno com as potenciais LCZs, bem como estimar esses dados para as demais áreas não abrangidas nos transectos móveis. O procedimento foi realizado no software IDRISI² e o primeiro passo consistiu no cálculo da frequência (%) de cada LCZ em “janelas” com tamanhos variados (Figura 5), desde 3x3 pixels (90x90m) até 33x33 pixels (990x990m). A partir das frequências calculadas, extraiu-se a porcentagem média das LCZs para cada ponto de medição dos transectos, ou seja, para as diferentes janelas (3x3, 5x5, 7x7, ..., 33x33), obteve-se a frequência média de cada classe no entorno dos pontos.

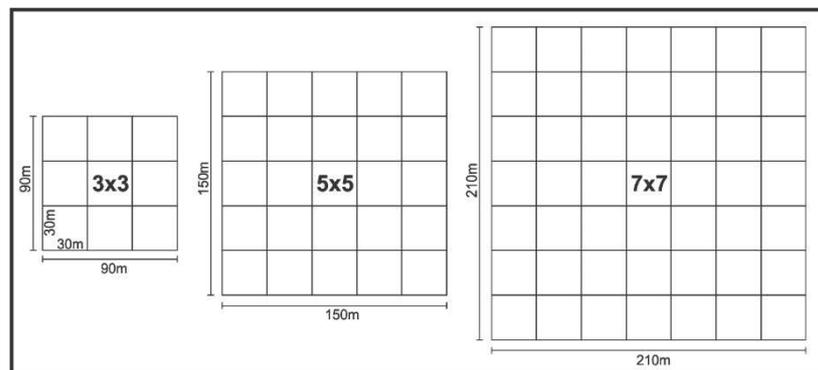


Figura 5 – Ilustração das janelas com tamanhos variados

Fonte: Cardoso (2015)

Através do cálculo de regressão simples, verificou-se a correlação da temperatura do ar com a porcentagem de cada LCZ presente no entorno dos pontos medidos. Nessa etapa, identificou-se em quais janelas o coeficiente de correlação entre os dados e as LCZs foram expressivos.

Em seguida, calculou-se também a correlação de outras variáveis (hypsometria, NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index* e temperatura dos alvos) com a temperatura do ar. Assim, com os resultados das regressões simples, foi possível calcular um modelo de regressão multivariado, no qual as variáveis escolhidas foram usadas simultaneamente para simular o campo térmico da cidade.

Nesse caso, por exemplo, em que quatro variáveis independentes (LCZs, hipsometria, NDVI e temperatura dos alvos) foram utilizadas para explicar uma variável dependente (temperatura do ar), a equação da regressão múltipla pode ser descrita da seguinte forma:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 \quad (1)$$

² IDRISI é marca registrada da Clark Labs – Geospatial Software for Monitoring and Modeling the Earth System.

Onde y é a variável dependente, b_0 é o intercepto (valor da variável dependente quando todas as variáveis independentes são iguais a zero), b_1 , b_2 , b_3 e b_4 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 x_1 , x_2 , x_3 e x_4 são as variáveis independentes.

Quando se trabalha com modelos de regressão, é necessário realizar a análise de variância com o objetivo de avaliar a significância da regressão. De acordo com Oliveira (2013), uma das técnicas mais utilizadas para verificar a adequação do ajuste do modelo é a Análise de Variância (ANOVA), baseada na soma dos quadrados das diferenças das observações em relação ao seu valor médio. Dessa forma, representa uma medida da variabilidade total dos dados, dada por:

$$SQT = SQRes + SQReg \quad (2)$$

Onde SQT é variabilidade total do modelo de regressão, $SQRes$ é a soma dos quadrados explicada pelo modelo e $SQReg$ é a soma de quadrados residual, que não é explicada pelo modelo.

Também é possível avaliar a adequação global do ajuste de um modelo através da comparação de $SQRes$ com SQT por meio da razão desses dois termos:

$$R^2 = \frac{SQRes}{SQT} \quad (3)$$

A razão expressa por R^2 , o quadrado do coeficiente de correlação de Pearson ou coeficiente de determinação, representa a proporção da variação da variável dependente que é explicada pela variação das variáveis independentes. Seus valores variam entre 0 e 1 e indicam, em porcentagem, o quanto o modelo foi capaz de explicar os dados observados—quanto mais próximo de 1 estiver o modelo, melhor ele se ajusta à amostra.

4. Resultados e Discussão

4.1. Modelagem do campo térmico da cidade

A estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar em Presidente Prudente teve como base os dados registrados durante os transectos móveis, assim como o mapa das potenciais LCZs, que sintetiza os diferentes tipos de construções e coberturas da terra, e os parâmetros geográficos da superfície, tais como o relevo (hipsometria), a porcentagem de vegetação (NDVI) e a temperatura dos alvos.

No dia 11 de dezembro de 2013, sob a influência da massa de ar Equatorial Continental (mEc) e ventos de $1,6 \text{ m s}^{-1}$, a temperatura mínima registrada nos transectos foi $23,3^\circ\text{C}$ e a máxima $29,3^\circ\text{C}$. No dia 2 de julho de 2014, com a atuação da massa Polar Atlântica (mPa) e sem fluxo de vento mensurável, a temperatura mínima do ar foi de $15,4^\circ\text{C}$ e a máxima de $25,8^\circ\text{C}$. Com base nesses dados, registraram-se ilhas de calor de forte a muito forte magnitude (GARCÍA, 1995), com até 6°C de intensidade no verão e $10,4^\circ\text{C}$ no inverno.

A Figura 6 apresenta as potenciais LCZs mapeadas e utilizadas para o cálculo da correlação com a temperatura do ar: LCZ 2 – compacta de média elevação, LCZ 2_3 – compacta de média com compacta baixa elevação, LCZ 2_4 – compacta de média elevação com aberta de alta elevação, LCZ 3 – compacta de baixa elevação, LCZ 3_4 – compacta de baixa elevação com aberta de alta elevação, LCZ 3_5 – compacta de baixa elevação com aberta de média elevação, LCZ 3_B – compacta de com vegetação arbórea esparsa, LCZ 3_D – compacta de baixa elevação com vegetação rasteira, LCZ 5 – aberta de média elevação, LCZ 6 – aberta de baixa elevação, LCZ 7 – compacta pouco consolidada de baixa elevação, LCZ 8 – grandes construções de baixa elevação, LCZ 8_D – grandes construções de baixa elevação com vegetação rasteira, LCZ 9 – construções esparsas, LCZ 10 – indústria, LCZ A – vegetação arbórea densa, LCZ B – vegetação arbórea esparsa, LCZ D – vegetação rasteira, LCZ F – solo exposto, e LCZ G – água.

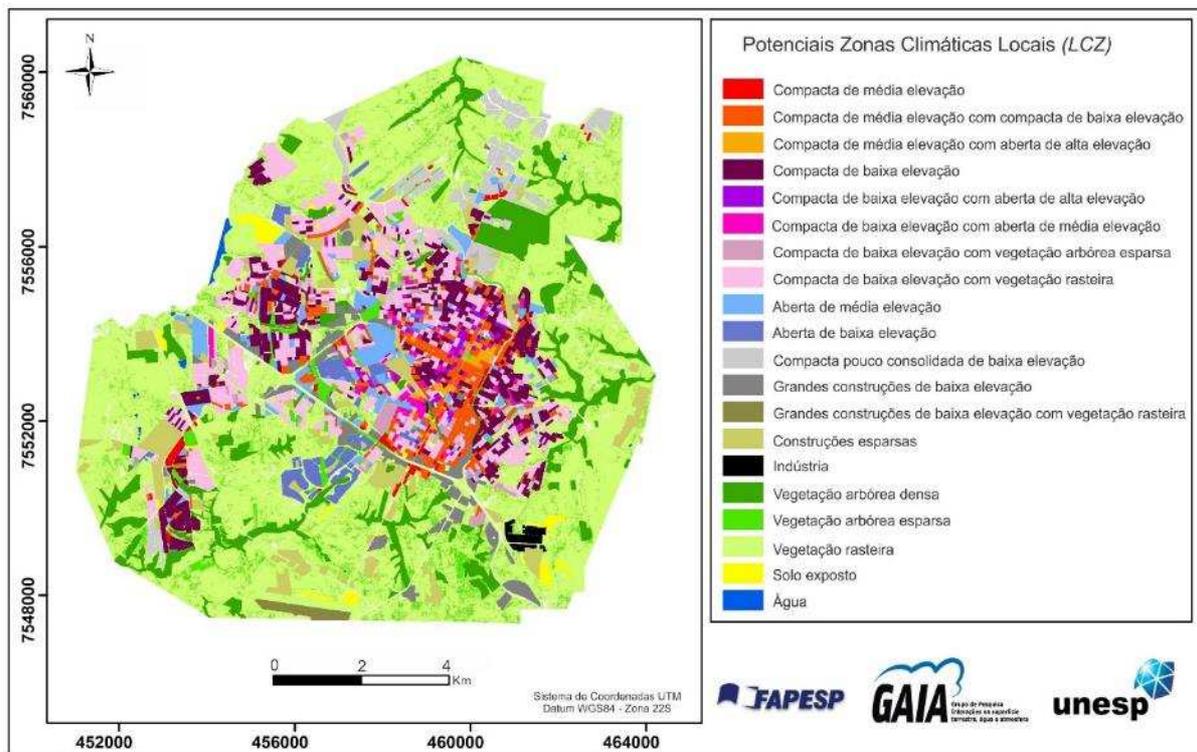


Figura 6 – Potenciais zonas climáticas locais (LCZ) em Presidente Prudente
Fonte: Adaptado de Cardoso (2015)

Para a modelagem do campo térmico da cidade no episódio de verão, as melhores correlações com as temperaturas do ar foram verificadas nas variáveis: LCZ 2₃ (janela 13x13), LCZ 3 (janela 29x29), LCZ 3₄ (janela 33x33), LCZ 3_D (janela 33x33), LCZ 7 (janela 25x25), LCZ A (janela 33x33), NDVI (janela 29x29), hipsometria e temperatura infravermelha, as quais foram selecionadas para o cálculo da regressão múltipla, que resultou na seguinte equação gerada pelo IDRISI:

$$T_{\text{verão}} = 37,7296 + 0,0337 * LCZ2_{3_{13x13}} + 0,0314 * LCZ3_{29x29} + 0,0708 * LCZ3_{4_{33x33}} + 0,0178 * LCZ3_{D_{33x33}} - 0,0277 * LCZ7_{25x25} - 0,1014 * LCZA_{33x33} - 0,0902 * NDVI_{29x29} - 0,0238 * Hipsometria + 0,0259 * TIR_{\text{verão}} \quad (4)$$

Onde:

$T_{\text{verão}}$	= temperatura estimada no episódio de verão
$LCZ2_{3_{13x13}}$	= frequência da classe 2 ₃ na janela de 13x13 pixels
$LCZ3_{29x29}$	= frequência da classe 3 na janela de 29x29 pixels
$LCZ3_{4_{33x33}}$	= frequência da classe 3 ₄ na janela de 33x33 pixels
$LCZ3_{D_{33x33}}$	= frequência da classe 3 _D na janela de 33x33 pixels
$LCZ7_{25x25}$	= frequência da classe 7 na janela de 25x25 pixels
$LCZA_{33x33}$	= frequência da classe A na janela de 33x33 pixels
$NDVI_{29x29}^*$	= frequência da classe B na janela de 29x29 pixels
$Hipsometria$	= altitude média de cada ponto
$TIR_{\text{verão}}$	= temperatura infravermelha média dos alvos em cada ponto

* NDVI calculado a partir de imagens do Landsat 8 de 9 de novembro de 2013

Como pode ser observado na equação (4), algumas variáveis apresentaram coeficientes de inclinações positivos (LCZ 2₃, LCZ 3, LCZ 3₄, LCZ 3_D e $TIR_{\text{verão}}$), que refletem uma relação linear positiva com a temperatura do ar, contribuindo para o seu aumento. Por outro lado, os coeficientes negativos associados às variáveis LCZ 7, LCZ A, NDVI e hipsometria indicam uma relação linear inversa, ou seja, à medida em que há uma variação positiva nesses parâmetros, ocorre a redução da temperatura do ar modelada.

O coeficiente de correlação (R) resultante dessa equação foi de 0,76, o que mostra uma relação linear positiva significativa entre as variações na temperatura do ar e as características das LCZs. Já o coeficiente de determinação (R²) foi de 0,58, o que significa que o modelo foi capaz de explicar 58% das variações da temperatura do ar.

A Figura 7 mostra o campo térmico representativo do verão simulado a partir das características da superfície. A intensidade estimada da ilha de calor foi de 6,4°C, com variações das temperaturas no intraurbano e no entorno rural entre 23,1°C e 29,5°C. Na área central da cidade (LCZ 2₃ – compacta de média com compacta baixa elevação, LCZ 2₄ – compacta de média elevação com aberta de alta elevação) as temperaturas estimadas variaram entre 27,2°C e 28°C (Figura 7–A), mas as temperaturas elevadas também se

prolongaram até sudoeste (Conjunto Habitacional Ana Jacinta) e oeste (COHAB) (Figura 7–C, D), com até 29,5°C nesses bairros residenciais densamente construídos (LCZ 3 – compacta de baixa elevação).

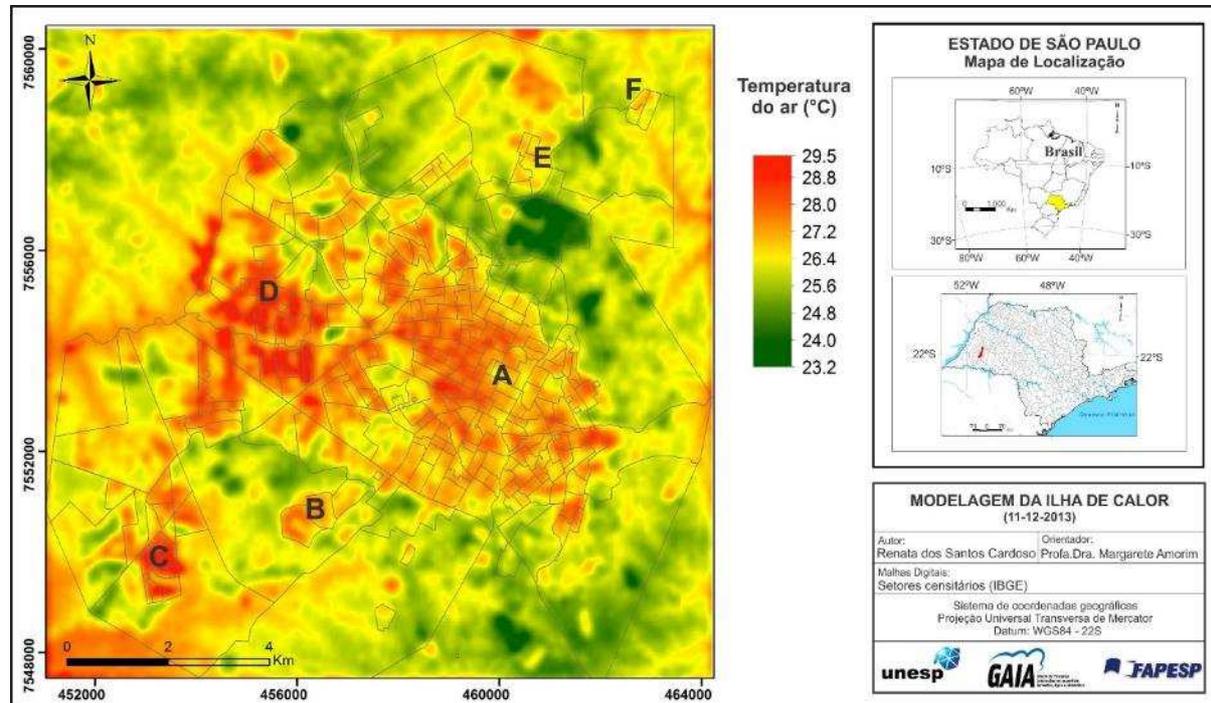


Figura 7 – Modelagem da ilha de calor em Presidente Prudente no episódio de verão: A – centro (LCZ 2₃ e 2₄); B – condomínios fechados (LCZ 6); C e D (LCZ 3), E e F (LCZ 7) – bairros populares

Por outro lado, bairros residenciais localizados na porção nordeste, com alta densidade de construções e entorno vegetado (LCZ 7 – compacta pouco consolidada de baixa elevação), apresentaram temperaturas mais baixas, entre 26,4°C e 27,2°C (Figura 7–E, F). Nas áreas rurais próximas, com predomínio de pastagens e árvores dispersas, as temperaturas variaram entre 25°C e 26°C, enquanto nos fundos de vales e nas áreas com cobertura vegetal arbórea densa as temperaturas ficaram entre 23,2°C e 24,5°C.

Para a elaboração da modelagem das temperaturas no episódio de inverno, as melhores correlações não foram todas iguais às selecionadas para o cálculo da regressão múltipla no episódio de verão. O resultado pode ser observado na equação seguinte:

$$T_{inverno} = 10,3379 + 0,1058 * LCZ2_{3_{13x13}} + 0,1076 * LCZ2_{4_{21x21}} + 0,0740 * LCZ3_{33x33} + 0,3496 * LCZ3_{4_{33x33}} - 0,0905 * LCZA_{33x33} - 0,0141 * NDVI_{29x29} + 0,0250 * Hipsometria + 0,0305 * TIR_{inverno} \quad (5)$$

Onde:

- $T_{inverno}$ = temperatura estimada em episódio de inverno
 $LCZ2_{3_{13x13}}$ = frequência da classe 2₃ na janela de 13x13 pixels
 $LCZ2_{4_{21x21}}$ = frequência da classe 2₄ na janela de 21x21 pixels
 $LCZ3_{33x33}$ = frequência da classe 3 na janela de 33x33 pixels

- $LCZ3_{433x33}$ = frequência da classe 3₄ na janela de 33x33 pixels
 $LCZA_{33x33}$ = frequência da classe A na janela de 33x33 pixels
 $NDVI_{29x29}^*$ = frequência da classe B na janela de 29x29 pixels
 Hipsometria = altitude média de cada ponto
 $TIR_{inverno}$ = temperatura infravermelha média dos alvos em cada ponto

* NDVI calculado a partir de imagens do Landsat 8 de 4 de maio de 2014

De acordo com a equação (5), apenas as variáveis LCZ A e NDVI apresentaram coeficientes de inclinações negativos, ressaltando o papel da vegetação na diminuição da temperatura do ar. Além disso, é válido destacar a relação linear entre o relevo e a temperatura do ar, evidenciada no episódio de inverno. Quando a variável hipsometria aumentou, verificou-se o aumento da temperatura, e o inverso também foi verdadeiro, tendo em vista a distribuição de valores reduzidos de temperatura ao longo dos fundos de vale (Figura 8).

O coeficiente de correlação (R) e o coeficiente de determinação (R^2) resultantes da equação (5) foram iguais aos da modelagem anterior (0,76 e 0,58, respectivamente), o que demonstra a existência de uma relação expressiva entre as variações na temperatura do ar e as características das LCZs em duas estações do ano diferentes.

A intensidade estimada da ilha de calor foi de 8,7°C, com temperaturas entre 18°C e 26,7°C, e valores mais elevados localizados no centro e centro-sul da cidade (predomínio de LCZ 2₃) (Figura 8–A). Os bairros residenciais densamente construídos a sudoeste e oeste (LCZ 3) apresentaram temperaturas de até 22,5°C (Figura 8–C, D), enquanto nos condomínios fechados localizados ao sul da malha urbana (LCZ 6 – aberta de baixa elevação) foram verificados valores entre 20,5°C e 21°C (Figura 8–B).

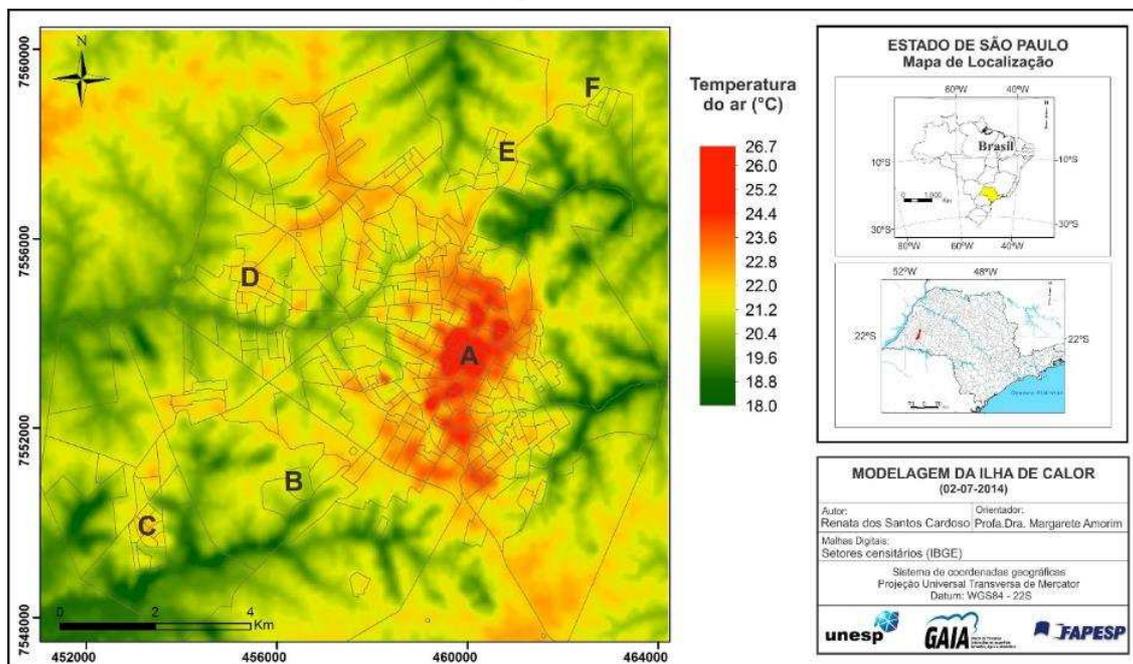


Figura 8 – Modelagem da ilha de calor em Presidente Prudente no episódio de inverno: A – centro (LCZ 2₃ e 2₄); B – condomínios fechados (LCZ 6); C e D (LCZ 3), E e F (LCZ 7) – bairros populares

Essas diferenças podem ser explicadas pelas características construtivas e pelo tamanho dos lotes, que nos conjuntos habitacionais são menores e resultam em um padrão de adensamento muito maior do que o encontrado nos condomínios de alto padrão, onde há mais espaço para cobertura vegetal. Apesar de a forma urbana ter sido relacionada com a existência de diferentes temperaturas ao ar, no inverno, principalmente, os fundos de vale vegetados foram responsáveis pelas baixas temperaturas estimadas, entre 18°C e 20°C.

De maneira geral, o procedimento de modelagem da temperatura do ar relacionada com as características da superfície se mostrou eficiente, visto que comprovou estatisticamente que há influência da morfologia urbana e cobertura da terra na atmosfera local. Além disso, os modelos de regressão auxiliaram na avaliação das LCZs e na identificação das classes que apresentaram maior correlação com as temperaturas do ar registradas durante os transectos móveis, o que, por conseguinte, possibilitou a seleção das classes que melhor representam o campo térmico da cidade.

4.2. Definição das potenciais zonas climáticas locais

As classes selecionadas a partir das modelagens foram: 2₃ – compacta de média e baixa elevação, 2₄ – construções compactas de média e alta elevação, 3 – compacta de baixa elevação, 3₄ – compacta de baixa e alta elevação, 3_D – compacta de baixa elevação e vegetação rasteira, 7 – compacta pouco consolidada de baixa elevação, A – vegetação arbórea densa e B – vegetação arbórea esparsa.

As potenciais LCZs de Presidente Prudente foram organizadas e descritas de acordo com as fichas técnicas elaboradas por Stewart (2011a), as quais foram preenchidas com os dados obtidos nos transectos pela cidade e nos modelos de regressão, com ilustrações correspondentes às LCZs e fotografias³.

A LCZ 2₃ (Figura 9) é caracterizada por áreas densamente construídas, com edifícios pequenos e médios, de baixa a média elevação. Os materiais de construção predominantes incluem pedra, cimento, tijolo, com coberturas de cimento, cerâmica e telhados metálicos. A cobertura da terra é em grande parte pavimentada e pouco permeável, com a presença de poucas ou nenhuma árvore.

Consiste em bairros residenciais e comerciais, localizados principalmente na área central da cidade e distribuída ao longo de duas avenidas principais a oeste e a sul, onde o fluxo de tráfego de veículos é elevado. No episódio de verão modelizado, essa LCZ apresentou temperatura média do ar de 27,5°C, enquanto no inverno a média foi de 23,1°C.

³ Vista oblíqua com altitude média (*eye altitude*) de 900 m. GOOGLE. **Google Earth**. Version 7.1.5.1557. 2015. Presidente Prudente-SP. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 31 ago. 2015.



Figura 9 – Potencial LCZ 2₃ em Presidente Prudente
Layout adaptado de Stewart (2011a)

A Figura 10 apresenta a ilustração da LCZ 2₄, cuja morfologia das construções é descrita como densamente construída, com edifícios médios e grandes, de média a alta elevação. Os materiais de construção encontrados são o concreto, aço, tijolo e vidro, enquanto os telhados podem ser de cimento, cerâmica ou metálicos.

Com relação à cobertura da terra, essa LCZ apresenta baixa permeabilidade e árvores dispersas, e compreende áreas predominantemente comerciais, com fluxo de tráfego alto no centro da cidade. A temperatura média do ar estimada para o verão nessas áreas foi de 27,2°C, e no inverno foi de 23,9°C.

A LCZ 3 (Figura 11), assim como as descritas anteriormente, caracteriza-se por áreas densamente construídas, mas com edifícios baixos e pequenos. Os materiais construtivos utilizados incluem cimento, tijolo e telhados de fibrocimento e cerâmica. A cobertura da terra encontra-se em grande parte pavimentada, com poucas ou nenhuma árvore dispersa. As áreas compreendidas nessa LCZ são bairros predominantemente residenciais, com algum comércio local. Estão localizados por toda a cidade, com concentração nos bairros populares nas porções oeste, sudoeste e leste. Com relação ao seu campo térmico no verão, a temperatura média do ar estimada foi 27,7°C, enquanto a média estimada para o inverno foi 22,2°C.



Figura 10 – Potencial LCZ 2₄ em Presidente Prudente
Layout adaptado de Stewart (2011a)



Figura 11 – Potencial LCZ 3 em Presidente Prudente
Layout adaptado de Stewart (2011a)

Com características similares à LCZ 3, a LCZ 3₄ (Figura 12) é descrita com forma densamente construída, porém com alguns edifícios maiores e elevados distribuídos entre a aglomeração de construções pequenas e baixas. Apresenta materiais de construção que incluem concreto, aço, tijolo, vidro e telhados de cerâmica e cimento.

Possui cobertura da terra em grande parte impermeável, com poucas ou nenhuma árvore nas calçadas e quintais das residências e comércios, e a localização na área central da cidade implica no alto fluxo de tráfego identificado na LCZ 3₄. A temperatura média do ar estimada nessas áreas para o inverno foi mais elevada do que as anteriores (24,2°C), sendo que a do verão foi 27,6°C.



Figura 12 – Potencial LCZ 3₄ em Presidente Prudente
Layout adaptado de Stewart (2011a)

A LCZ 3_D (Figura 13), assim como as demais descritas anteriormente, possui morfologia densamente construída. Entretanto, além dos edifícios baixos e pequenos, com materiais construtivos pesados (pedra, cimento, tijolo) e telhados de fibrocimento e cerâmica, apresenta algumas áreas permeáveis de vegetação rasteira no entorno das pavimentações. Corresponde às áreas residenciais com algum tipo de comércio, localizadas por toda a malha da cidade, porém com maior concentração nas porções oeste, sudoeste e noroeste. Por sua vez, o fluxo de tráfego identificado durante os transectos em algumas áreas dessa LCZ foi de baixo a moderado. A temperatura média do ar estimada no episódio de inverno foi mais baixa do que as encontradas nas LCZs anteriores (21,9°C), enquanto a do verão foi 27,4°C.



Figura 13 – Potencial LCZ 3_D em Presidente Prudente
Layout adaptado de Stewart (2011a)

A LCZ 7 (Figura 14) apresenta forma densamente construída, com edifícios baixos e pequenos semelhantes aos da LCZ 3, porém com materiais de construção leves e pesados (madeira, pedra, cimento e tijolo), telhados de fibrocimento e de cerâmica, e infraestrutura pouco consolidada quando comparadas às demais LCZs caracterizadas.

A cobertura da terra é pouco permeável, com a coexistência de superfícies pavimentadas e vias ainda com solo exposto, poucas ou nenhuma árvore entre as edificações e entorno próximo vegetado (cobertura arbórea e rasteira). Consiste em bairros residenciais com comércio local, localizados nas porções periféricas a norte e nordeste, onde o fluxo de tráfego é baixo. Apresentou temperatura média do ar estimada no verão de 26,3°C e 21,6°C no inverno.

Na Figura 15 está a síntese da LCZ A, cuja forma consiste em paisagens densamente arborizadas e árvores dispersas em terrenos permeáveis com vegetação rasteira. Em seu entorno podem ser verificadas poucas ou nenhuma estrada ou edifício, onde o fluxo de tráfego é nulo ou baixo.

Compreende áreas com floresta remanescente natural de função recreativa urbana, como alguns parques arborizados. Sua localização se estende desde pequenos fragmentos no intraurbano até o entorno rural próximo à cidade e fundos de vale vegetados. A LCZ A foi a

que apresentou a menor temperatura média mínima do ar no episódio de inverno (18,2°C), sendo que até mesmo a temperatura média do verão (25,5°C) foi a menor estimada entre as demais LCZs.



Figura 14 – Potencial LCZ 7 em Presidente Prudente
Layout adaptado de Stewart (2011a)

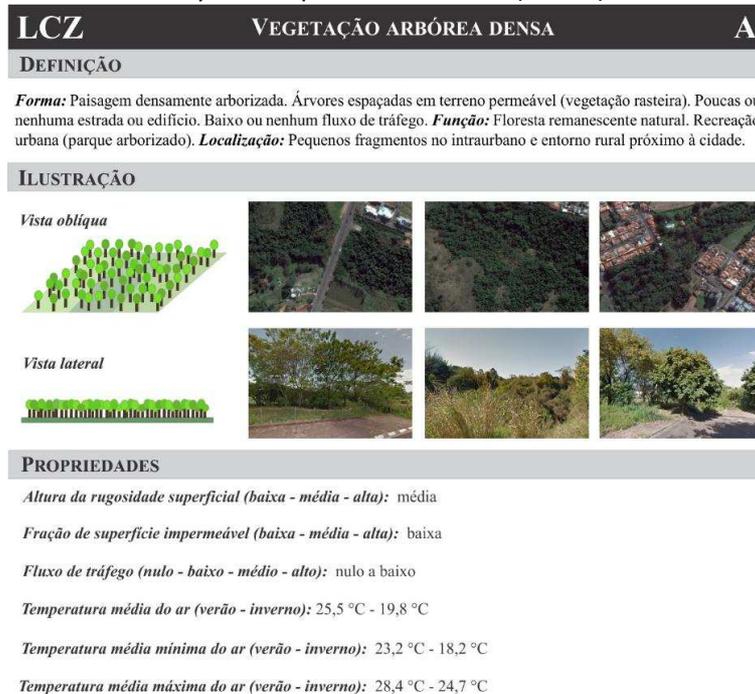


Figura 15 – Potencial LCZ A em Presidente Prudente
Layout adaptado de Stewart (2011a)

A LCZ B (Figura 16) apresenta paisagens levemente arborizadas, com a presença de árvores dispersas em áreas permeáveis cobertas por vegetação rasteira. É possível verificar a presença de vias e edifícios próximos a essa LCZ, que lhe conferem fluxo de tráfego moderado a alto. Consiste em áreas com vegetação arbórea remanescente natural ou replantio, utilizadas para a recreação urbana (parques e áreas verdes).

Pode ser encontrada no intraurbano, mas a maior concentração está no entorno rural próximo. As temperaturas médias do ar estimadas foram mais elevadas em comparação à LCZ A, visto que no episódio de verão foi de 27,1°C, enquanto a média verificada no inverno foi 21,6°C.

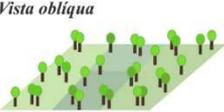
LCZ	VEGETAÇÃO ARBÓREA ESPARSA		B
DEFINIÇÃO			
<p>Forma: Paisagem levemente arborizada. Árvores dispersas em terreno permeável (vegetação rasteira). Presença de vias e edifícios. Fluxo de tráfego moderado a alto. Função: Vegetação arbórea remanescente natural ou replantio. Recreação urbana (parques, áreas verdes). Localização: Cidade e maior concentração no entorno rural próximo.</p>			
ILUSTRAÇÃO			
<i>Vista oblíqua</i>			
<i>Vista lateral</i>			
PROPRIEDADES			
<i>Altura da rugosidade superficial (baixa - média - alta):</i> baixa			
<i>Fração de superfície impermeável (baixa - média - alta):</i> baixa			
<i>Fluxo de tráfego (nulo - baixo - médio - alto):</i> moderado a alto			
<i>Temperatura média do ar (verão - inverno):</i> 27,1 °C - 21,6 °C			
<i>Temperatura média mínima do ar (verão - inverno):</i> 24,4 °C - 19,8 °C			
<i>Temperatura média máxima do ar (verão - inverno):</i> 28,5 °C - 23,2 °C			

Figura 16 – Potencial LCZ B em Presidente Prudente

Layout adaptado de Stewart (2011a)

A organização das potenciais LCZs e suas respectivas informações em fichas técnicas propiciou a visualização dos elementos que as distinguem entre si e o conhecimento dos fatores que mais interferem na temperatura do ar próximo à superfície representada por cada LCZ (forma construída, materiais construtivos, tipo de cobertura da terra e fluxo de tráfego).

Por outro lado, a elaboração da Tabela 1 permitiu sintetizar e analisar as temperaturas do ar estimadas para as LCZs selecionadas, bem como a intensidade das ilhas de calor durante os episódios de verão e inverno, definida como $\Delta T_{LCZ X-A}$.

LCZ	Tmédia	Tmédia	$\Delta T_{LCZ X-A}$	$\Delta T_{LCZ X-A}$
	(verão)	(inverno)	(verão)	(inverno)
2 ₃	27,5	23,1	2	3,3
2 ₄	27,2	23,9	1,7	4,1
3	27,7	22,2	2,2	2,4
3 ₄	27,6	24,2	2,1	4,4
3 _D	27,4	21,9	1,9	2,1
7	26,3	21,6	0,8	1,8
A	25,5	19,8	–	–
B	27,1	21,6	1,6	1,8

Tabela 1 – Síntese das temperaturas médias do ar (°C) estimadas para as LCZs e intensidade das ilhas de calor ($\Delta T_{LCZ X-A}$) durante os episódios de verão e inverno

No episódio de verão, as temperaturas médias estimadas variaram entre 25,5°C (LCZ A) e 27,7°C (LCZ 3), com valores mais elevados nas zonas compactas construídas. A menor temperatura ocorreu na LCZ A, porém as LCZs 7 e B também apresentaram temperaturas reduzidas (24,4°C), o que pode ser relacionado às características de cobertura da terra (LCZ 7 – entorno próximo vegetado, e LCZ B – árvores dispersas e vegetação rasteira).

Para o inverno, as zonas com maior cobertura vegetal apresentaram temperaturas reduzidas. A temperatura do ar estimada para a LCZ A foi de 19,8°C, enquanto nas LCZs 7 e B foi de 21,6°C. Verificaram-se valores mais elevados nas LCZs compactas construídas, porém, ao contrário do observado durante o verão, a maior temperatura (24,2°C) ocorreu na LCZ 3₄, com forma densamente construída, alta impermeabilidade da superfície e fluxo de tráfego alto.

Um padrão evidenciado tanto no verão quanto no inverno foi a ocorrência de temperaturas médias estimadas mais elevadas na LCZ B em relação à LCZ A. Embora apresentem cobertura da terra semelhante, as medições de temperatura na LCZ B ocorreram predominantemente ao longo de parques e áreas verdes no intraurbano, cujas características podem ter influenciado também nas estimativas de temperaturas pouco mais elevadas do que as áreas com vegetação densa.

Apesar das diferenças térmicas entre as LCZs em Presidente Prudente não ocorrerem de forma estritamente linear, as temperaturas diminuíram gradualmente a partir das zonas compactas densamente construídas em direção às zonas vegetadas; similar à hierarquia verificada por Stewart e Oke (2010) em Vancouver, Canadá.

De acordo com essa ordenação das classes, espera-se um contraste maior de temperatura entre LCZs com diferenças significativas de morfologia e cobertura da terra do que entre zonas com características físicas similares (STEWART e OKE, 2012). As diferenças de temperatura média do ar estimada entre as LCZs 2₃ e 2₄ ($\Delta T_{LCZ 23-24}$), por exemplo, foram de 0,3°C no verão e 0,8°C no inverno, enquanto $\Delta T_{LCZ 23-7}$ foi de 1,2°C e 1,5°C, e $\Delta T_{LCZ 23-A}$ de 2°C e 3,3°C, respectivamente.

Conforme a Tabela 1, a LCZ A foi escolhida como referência para o cálculo da intensidade das ilhas de calor em relação às demais potenciais zonas climáticas locais ($\Delta T_{LCZ X-A}$). As intensidades médias foram mais evidentes no inverno, com variações de 1,8°C ($\Delta T_{LCZ 7-A}$ e $\Delta T_{LCZ B-A}$) a 4,4°C ($\Delta T_{LCZ 34-A}$),

enquanto no verão, a maior intensidade (2,2°C) foi verificada em relação à LCZ 3, seguida das LCZs 3₄ e 2₃, que apresentaram 2,1°C e 2°C, respectivamente.

Ao redefinir a intensidade das ilhas de calor através das diferenças entre LCZs dentro de uma mesma cidade, esse sistema de classificação também auxilia na comparação entre estudos realizados em cidades de diferentes regiões climáticas. No entanto, é importante destacar que as comparações diretas precisam ser interpretadas com cautela devido às diferenças nos equipamentos utilizados, o período de pesquisa, a localização e as características do clima das cidades, e a natureza exata das LCZs em cada estudo, em termos de uso da terra e materiais de construção (ALEXANDER e MILLS, 2014; SKARBIT et al., 2017).

Apesar dessas restrições, foi possível identificar padrões gerais entre os resultados obtidos com as LCZs em Presidente Prudente e os estudos pesquisados. Leconte et al. (2015) investigaram a distribuição da temperatura do ar em LCZs em Nancy, França, através de medições móveis. Os autores identificaram intensidades de até 4,4°C entre zonas com grande diferença de materiais construtivos e cobertura da terra. Em Presidente Prudente, ainda que não haja correspondência direta com as zonas de Nancy, também foi verificada uma diferença de 4,4°C entre uma zona compacta e a zona de vegetação arbórea ($\Delta T_{LCZ\ 34-A}$).

Resultados semelhantes foram observados no estudo de Alexander e Mills (2014). Os autores utilizaram o esquema de LCZs para investigar ilhas de calor em Dublin, Irlanda, e com relação aos dados de transectos, uma diferença de >4°C foi registrada entre LCZs compactas e LCZs não urbanas. Skarbit et al. (2017) também monitoraram diferenças térmicas entre as classes de LCZ em Szeged, Hungria, onde LCZs densamente construídas apresentaram temperaturas mais elevadas do que classes estruturalmente abertas e mais vegetadas, com diferenças noturnas acima de 4°C.

De forma geral, verificou-se uma tendência ao analisar e comparar as diferenças médias de temperatura entre as potenciais LCZs em Presidente Prudente: os valores diminuem conforme as classes se tornam menos compactas e construídas, com maiores diferenças durante o inverno ($\Delta T_{LCZ\ 34-A} = 4,4^\circ\text{C}$) e diferenças menores no verão ($\Delta T_{LCZ\ 3-A} = 2,2^\circ\text{C}$). Além disso, as diferenças de temperatura entre classes de LCZs são indicativas da existência de diferentes intensidades de ilhas de calor observadas em cidade de porte médio tropical, caracterizada pelo arranjo de paisagens heterogêneas.

5. Considerações finais

Como uma típica cidade tropical brasileira, Presidente Prudente apresenta temperaturas elevadas durante a maior parte do ano. Juntamente com a complexa configuração de paisagens heterogêneas, tais características levam à formação de ilhas de calor que podem intensificar o desconforto térmico sentido pelos habitantes. Portanto, a investigação da ICU é essencial para melhorar os procedimentos de observação, avançar nos estudos climáticos urbanos e apoiar medidas de planejamento.

O mapeamento de potenciais zonas climáticas locais, seguido da estimativa da temperatura do ar em episódios de verão e inverno, possibilitou identificar os padrões construtivos, tipos de cobertura da terra e fontes de calor antropogênico (fluxo de tráfego) associados à formação e/ou intensificação das anomalias térmicas. Além disso, foi possível selecionar as LCZs que melhor descreveram, segundo os modelos utilizados, o campo térmico da cidade.

Os resultados da modelagem indicaram a eficácia do método de regressão linear para simular os dados de temperatura do ar para áreas da cidade sem dados medidos, tendo como referência os atributos da superfície. Os modelos apresentaram um bom coeficiente de correlação (0,76) entre a variável estimada e as variáveis explicativas, mas foram capazes de explicar 58% das variações da temperatura do ar com base nas variáveis utilizadas, o que sugere a necessidade de realizar novos testes de regressão e refinar o procedimento para aprimorar o ajuste dos modelos às temperaturas do ar observadas.

As temperaturas simuladas para toda a cidade e seu entorno rural próximo mostram zonas compactas densamente construídas com temperaturas mais elevadas, seguidas de zonas de porte médio e de baixa elevação, e zonas vegetadas. Os valores de $\Delta T_{LCZ\ X-Y}$ variaram entre 4,4°C para classes com grandes diferenças em suas características físicas e <1°C para classes com morfologia e cobertura da terra similares.

No sentido de avançar a aplicabilidade do estudo, os produtos cartográficos produzidos podem ser utilizados de formas variadas, tais como a delimitação espacial de áreas onde a intensidade da ilha de calor pode ser antecipada, e a sugestão de intervenções locais que minimizem as altas temperaturas (plantio de árvores, manutenção de áreas verdes urbanas, substituição de materiais construtivos inadequados para o contexto climático do local), etc.

Assim, as LCZs podem ser utilizadas tanto como subsídio às intervenções quanto material de apoio ao planejamento urbano. A síntese de informações tem potencial para ser utilizada como um banco de dados, que pode ser abastecido com propriedades adicionais da superfície e demais variáveis meteorológicas, ao mesmo tempo em que ilustra os tipos de padrões paisagísticos cujas características implicam em perda da qualidade ambiental e de vida da população.

6. Referências bibliográficas

ALEXANDER, P. J.; MILLS, G. (2014). Local Climate Classification and Dublin's Urban Heat Island. *Atmosphere*, 5, p. 755–774, 2014. doi:10.3390/atmos5040755

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) - Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 16, p. 29–45, 2015.

CARDOSO, R. S. *Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente-SP*. 2015. 135f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

FOISSARD, X. *L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique: application à l'agglomération rennaise*. Géographie. 2015. 248p. Université Rennes 2, France.

GARCÍA, F. F. *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Madrid: Editorial síntesis, S.A., 1995. 285p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. *População estimada 2016*. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/municipio/3541406>>. Acesso em: 4 mar. 2017.

LECONTE, F.; BOUYER, J.; CLAVERIE, R.; PETRISSANS, M. Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: evaluation of the method using mobile measurements. *Building and Environment*, 83, p. 39–49, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.005>

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.

MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. A. (org.). *Clima urbano*. São Paulo: Contexto, 2003.

MYRUP, L. O. A Numerical Model of the Urban Heat Island. *J. Appl. Meteor.*, 8, p. 908–918. 1969. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1969\)008<0908:ANMOTU>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1969)008<0908:ANMOTU>2.0.CO;2)

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Co. 2nd edn. 1987, 435p.

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.

OLIVEIRA, S. *Inferência e análise de resíduos e de diagnóstico em modelos lineares generalizados*. 2013. 70f. Monografia (Bacharel em Estatística) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Exatas, Juiz de Fora.

SKARBIT, N.; STEWART, I. D.; UNGER, J.; GÁL, T. Employing an urban meteorological network to monitor air temperature conditions in the ‘local climate zones’ of Szeged, Hungary. *Int. J. Climatol.*, 37, p. 582–596, 2017. doi: 10.1002/joc.5023

STEWART, I. D. *Redefining the urban heat island*. 2011a. 368p. Thesis (Doctor of Philosophy). The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia, Vancouver.

STEWART, I. D. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *Int. J. Climatol.*, 31, p. 200–217, 2011b.

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, 2009a. Disponível em: <https://ams.confex.com/ams/89annual/techprogram/paper_150476.htm>. Acesso em: 19 jun. 2013.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Classifying climate field sites by “local climate zones”: the case of Nagano, Japan. *Preprints*, Seventh Int. Conf. on Urban Climate, 29 June–3 July, Yokohama, Japan, 2009b. Disponível em: <http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/385055-1090515165722002.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2013.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Thermal differentiation of local climate zones using temperature observations from urban and rural field sites. *Extended Abstracts*, Ninth Symp. on Urban Environment, Keystone, CO, 2010. Disponível em: <<http://ams.confex.com/ams/19Ag19BLT9Urban/webprogram/Paper173127.html>>. Acesso em: 19 jun. 2013.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, p. 1879–1900, 2012. doi: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1

UNITED NATION. Department of Economic and Social Affairs: Population Division. *World Urbanization Prospects, the 2014 revision. Urban and Rural Areas 2014* (Wall Charts). 2014. Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wup/wallcharts/>>. Acesso em: 7 abr. 2015.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro, processo n.º. 2013/02057-0.