Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

MORFOLOGIA URBANA E MODELOS DE PREVISÃO DE FENÔMENOS MICROCLIMÁTICOS EM CONTEXTO ATMOSFÉRICO SECO

Morphology and prediction models of microclimatic phenomena in dry atmospheric context

Morfología urbana y modelos de predicción de fenómenos microclimáticos en contexto de atmósfera seca

Érico Masiero
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana/Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
erico@ufscar.br

André Luis Christoforo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana/Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
E-mail: alchristoforo@ufscar.br

Luiz Fernando Kowalski
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana/Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
E-mail: fernando.kowalski@ucb.org.br

Maria Eugênia Fernandes
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana/Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
E-mail: fernandes.me88@gmail.com

Resumo: A configuração morfológica das cidades tem influência direta na variação microclimática. A composição predominantemente construída em determinadas áreas, os altos índices de impermeabilização, a escassez de vegetação e superfícies d'água podem ter um impacto significativo nos valores de temperatura e umidade das áreas habitadas, expondo muitas vezes a população a ambientes insalubres. O objetivo deste trabalho é elaborar um modelo microclimático de previsão da variação de quatro diferentes Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones*; LCZ) expostas a uma

condição atmosférica seca em uma região tropical de altitude. O método foi desenvolvido em três etapas, a primeira, referente a uma campanha de coleta de variação de temperatura e umidade em quatro ambientes urbanos distintos, ou seja, LCZ D, LCZ1, LCZ5 e LCZ9 em São José do Rio Preto, Brasil. Foi registrado o comportamento microclimático representativo de cada área da cidade em relação ao desempenho de uma massa de ar seco. A segunda etapa envolveu os dados microclimáticos coletados, que foram submetidos a uma análise estatística com testes ANOVA, servindo de base para o desenvolvimento de modelos microclimáticos de predição de variação para cada LCZ. Após validação dos modelos, verificou-se, na terceira etapa, a área urbana que apresentou características morfológicas que permitem a ocorrência de ondas de alta temperatura e índices reduzidos de umidade relativa. Os modelos produzidos para previsão microclimática urbana apresentam uma capacidade de representação muito alta para estimar os valores de temperatura em diferentes áreas da cidade, pois em todos os casos os valores de R ultrapassam 80%. Os resultados mostraram que a área com LCZ5 apresenta os maiores períodos de exposição ao calor, o que deve receber mais atenção dos planejadores em relação aos investimentos em infraestrutura verde urbana.
Palavras-chave: Modelo Microclimático de Previsão. Zonas Climáticas Locais. Ilha de Calor Urbano.

Abstract: The morphological configuration of cities has a direct influence on microclimatic variation. The predominant built composition in certain areas, the high rates of waterproofed surfaces, vegetation scarcity and water surfaces can have a significant impact on the temperature and humidity values on inhabited areas, often exposing the population on unhealthy environments. The aim of this paper is to elaborate a prediction microclimatic model variation of four different Local Climate Zones (LCZ) exposed to a dry atmospheric condition in an altitude tropical region. The method was developed on three stages, the first one, refers to a collect campaign of temperature and humidity variation in four different urban environments, LCZ D, LCZ 1, LCZ 5 and LCZ 9 in São José do Rio Preto, Brazil. The representative microclimatic behavior of each area of the city in relation to the performance of a dry air mass was recorded. The second stage involved the microclimatic collected data, which were submitted to a statistical analysis with ANOVA tests, serving as the basis for the development of prediction microclimatic models variation for each LCZs. After validating the models, it was verified, in the third stage, the urban area that presented morphological characteristics that allow the occurrence of high temperature waves and reduced indexes of relative humidity. The produced models for predicting urban microclimatic show a very high capacity of representation to estimate the temperature values in different areas of the city, since in all cases values of R exceed 80%. The results showed that the area with LCZ5 presents the longest periods of heat exposure, which should receive more attention from planners in relation to investments in urban green infrastructure.
Keywords: Prediction Microclimatic Model. Local Climate Zones. Urban Heat Island.

Resumen: La configuración morfológica de las ciudades tiene una influencia directa en la variación microclimática. La composición predominantemente edificada en ciertas áreas, los altos índices de superficies impermeabilizadas, la escasez de vegetación y superficies de agua pueden tener un impacto significativo en los valores de temperatura y humedad en las áreas habitadas, exponiendo a menudo a la población a ambientes insalubres. El objetivo de este trabajo es elaborar un modelo microclimático de predicción de la variación de cuatro diferentes Zonas Climáticas Locales (*Local Climate Zones; LCZ*) expuestas a una condición atmosférica seca en una región tropical de altitud. El método fue desarrollado en tres etapas, la primera, se refiere a una campaña de recolección de variación de temperatura y humedad en cuatro ambientes urbanos diferentes, es decir, LCZ D, LCZ1, LCZ5 y LCZ9 en São José do Rio Preto, Brasil. Se registró el comportamiento microclimático representativo de cada zona de la ciudad en relación al comportamiento de una masa de aire seco. La segunda etapa involucró los datos microclimáticos recolectados, los cuales fueron sometidos a un

análisis estadístico con pruebas ANOVA, sirviendo como base para el desarrollo de modelos microclimáticos de predicción de variación para cada ZLC. Después de la validación de los modelos, se verificó, en la tercera etapa, la zona urbana que presentó características morfológicas que permiten la ocurrencia de ondas de alta temperatura e índices reducidos de humedad relativa. Los modelos producidos para la predicción del microclima urbano muestran una altísima capacidad de representación para estimar los valores de temperatura en diferentes zonas de la ciudad, ya que en todos los casos los valores de R superan el 80%. Los resultados mostraron que el área con LCZ5 presenta los períodos más largos de exposición al calor, lo que debería recibir más atención por parte de los planificadores en relación con las inversiones en infraestructura verde urbana.
Palabras clave: Predicción Modelo Microclimático. Zonas Climáticas Locales. Isla de Calor Urbano.

Submetido em: 04/03/2022
Aceito para publicação em: 29/07/2022
Publicado em: 19/08/2022

1. INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada e as mudanças climáticas em níveis locais podem afetar a saúde dos habitantes, a economia e o meio ambiente, sendo necessário o desenvolvimento de estudos sobre o impacto nos processos atmosféricos locais causados pelas superfícies urbanas. O desenvolvimento de ferramentas computacionais e de modelos climáticos de alta resolução nas últimas três décadas possibilitou que diversos efeitos microclimáticos pudessem ser reproduzidos espacialmente de forma precisa. Esse progresso tem sido responsável por aumentar o entendimento sobre a interação entre terra, água, atmosfera e ambiente construído (GARUMA, 2018). Segundo o mesmo autor, os modelos climáticos devem ser combinados com modelos de ambientes intra-urbanos para prever os possíveis impactos das superfícies e da geometria urbana.

Conforme relatado por Ng, (2009); Krüger *et al.*, (2010); Erell *et al.*, (2014); Jihad e Tahiri, (2016), as condições morfológicas urbanas podem afetar decisivamente os parâmetros microclimáticos, em geral. Desta forma, a formação de Ilhas de Calor Urbano, o consumo de energia dos edifícios e os danos à sensação de conforto e à saúde da população, devem ser previstos e mitigados (Tsiros, 2010; Krüger, 2017; Salvati *et al.*, 2017).

Diversos estudos científicos têm como objetivo antecipar, estimar, simular e mensurar os impactos climáticos decorrentes das mudanças no ambiente natural das cidades, que visam aplicar técnicas de avaliação de fenômenos físicos baseados em métodos de modelagem estatística de informações relacionadas ao clima urbano (Koutroumanou-Kontosi *et al.* 2022, Hollósi *et al.* 2021, Yang *et al.* 2013). Mills *et al.* (2015) também destacam que há uma carência de informações sobre as cidades tropicais de maneira geral, o que reforça a necessidade de registrar e prever fenômenos de Ilha de Calor Urbano (ICU).

Muitos modelos de representação e simulações de fenômenos climáticos urbanos costumam recorrer a simplificações de características ambientais e construtivas da cidade – como edifícios em forma de cubo e cânions de ruas – e fenômenos climatológicos, a fim de facilitar a investigação sistêmica (Hebbert, 2014). Física, matemática, ciência da informação, geografia, engenharia, urbanismo e ciências atmosféricas estão interagindo para analisar, por exemplo, as consequências para a sensação de calor humano decorrentes do ciclo solar e fluxos antropogênicos.

Essas iniciativas permitem minimizar a quantidade de laboriosas campanhas de observação, substituindo-as parcialmente por simulações numéricas, tendo em vista que os modelos numéricos possibilitam análises paramétricas a partir de validação de modelos com dados em campo. Um exemplo foi o estudo desenvolvido por Ho *et al.* (2014), demonstrou a capacidade de um modelo de regressão, calibrado com várias cenas Landsat e informações meteorológicas em dias de verão, com temperaturas mais altas, para produzir um mapa da distribuição máxima da temperatura do ar na Grande Vancouver, Canadá. A abordagem de regressão espacial mostrou-se útil para o mapeamento intraurbano da variabilidade da temperatura do ar e facilmente aplicável em outras cidades.

O processamento, padronização, organização e disseminação da grande quantidade de informações necessárias para apurar os efeitos relacionados ao clima em todo o mundo ainda são desafios científicos a serem enfrentados nos próximos anos. Ng *et al.* (2009), Wong *et al.* (2011), Yuan *et al.*, (2011) e Ng *et al.* (2012) mencionam que, embora haja muitas dificuldades na integração de planejadores e cientistas, questões latentes de sustentabilidade induzem à incorporação dos princípios climáticos urbanos aos parâmetros do projeto urbano.

Arnfield (2003) relata que simulações experimentais e outros modelos matemáticos podem dar uma grande contribuição para a formação de um banco de dados e na determinação de parâmetros climáticos em áreas urbanas. O desenvolvimento de tais ferramentas de observação facilita a compreensão de fenômenos físicos complexos com a precisão necessária e, assim, minimiza o uso de equipamentos caros e longas campanhas de medição.

Gobakisa *et al.* (2011) aplicaram modelos de redes neurais artificiais e paradigmas de aprendizagem para prever a intensidade das Ilhas de Calor Urbano (ICU) em Atenas, Grécia. Com base em dados de temperatura intra-urbana e radiação solar global para elaborar diferentes modelos de processos de treinamento avançado de inteligência artificial, o objetivo da proposta foi avaliar a precisão e eficiência de cada modelo. Dessa forma, os modelos poderiam ser aplicados para avaliar os períodos de pico de consumo de energia durante as ondas de calor no verão e estimar as possibilidades de ocorrência de ICU em determinadas áreas da cidade. László & Szegedi (2015) desenvolveram um Modelo de Regressão Linear Múltipla (MLR) que descreve a estrutura espacial e o desenvolvimento da

ICU sob condições sinóticas favoráveis em uma cidade na Ucrânia. Os resultados mostraram que a intensidade de ICU pode ser estimada em qualquer ponto da cidade com uma precisão de 0,4°C usando o modelo MLR. O estudo também aponta que novos parâmetros de superfície devem ser incorporados ao modelo, como Fator de Visão do Céu (FVC) e Relação Altura Largura (H/W).

A magnitude e frequência dos ICUs são dependentes de vários fatores, dentre eles, destacam-se as características das superfícies urbanas, a geometria das edificações, a época da ocorrência, o clima, a posição geográfica da cidade e a vegetação. A detecção e caracterização dos fenômenos que envolvem o surgimento de ICU dependem necessariamente de procedimentos de medição por sensoriamento remoto ou da variação de temperatura e umidade nas Camadas do Dossel Urbano.

Wong *et al.* (2011) enfatizam a aplicação frequente de simulações de Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) e modelos de balanço de energia em estimativas de ICU; no entanto, a complexidade do ambiente urbano impõe algumas limitações para a análise. Os modelos de previsão podem variar desde simples representações tridimensionais até complexas, que agregam características comportamentais de materiais, superfícies e modelos de previsão do tempo. Para que as simulações sejam o mais próximo possível de fenômenos em escala real, os modelos devem incorporar a maior variedade possível de parâmetros físicos relacionados ao clima urbano, como fluxos de calor antropogênicos.

De acordo com Xu *et al.* (2017), simulações numéricas relacionadas a pesquisas com modelos de previsão do clima também têm apresentado resultados mais precisos quando as informações morfológicas são consideradas para estabelecer cenários de mudanças climáticas (Chen *et al.*, 2011; Salamanca *et al.*, 2011; Wang & Dai, 2015). Portanto, é fundamental entender como as características morfológicas causam impactos ao clima urbano, considerando os aspectos dinâmicos da construção das cidades, principalmente nos países em desenvolvimento, que, em geral, têm grande dificuldade em manter o banco de dados urbano atualizado. De acordo com Mills (2010), o acesso e a compreensão de dados relacionados à infraestrutura dos espaços construídos e sobre dados macro, meso e microclimáticos fornecem informações e estabelecem uma compreensão mais ampla da dinâmica urbana, incluindo aspectos econômicos, sociais e demográficos. Assim, a

vulnerabilidade climática e os possíveis efeitos prejudiciais da apropriação do espaço urbano podem ser considerados em projetos de intervenção na escala proposta para cada estudo.

Bueno *et al.* (2012) mencionam que Modelos de Cobertura Urbana - UCMs - foram desenvolvidos para representar áreas urbanizadas e para elaborar simulações com ferramentas de previsão do tempo urbano. Em geral, as informações meteorológicas acima da Camada do Dossel Urbano estão disponíveis por meio de experimentos de curto prazo, o que limita a aplicação do UCM por comunidades científicas e profissionais, incluindo engenheiros de construção e planejadores urbanos. Por outro lado, é fácil encontrar informações meteorológicas em arquivos climáticos, os quais são produzidos a partir de dados coletados por estações de medição, geralmente localizadas em áreas abertas fora da cidade, por exemplo, em aeroportos.

A partir desses achados, Bueno *et al.* (2014) desenvolveram um modelo computacional simples e eficiente chamado *Urban Weather Generator* (UWG), baseado em informações de estações meteorológicas, para prever a variação da temperatura do ar em Camadas do Dossel Urbano. O modelo vem se aprimorando, pois considera informações mais precisas. Informações relativas à morfologia, configurações das construções, distribuição no espaço urbano, radiação de ondas longas, trocas de calor entre a Camada Limite Urbana e a atmosfera e os efeitos da rugosidade da superfície no fluxo de ar. Os dados de temperatura calculados e os dados medidos pela rede de estações meteorológicas em Cingapura e cidades europeias foram comparados e apresentaram um desempenho satisfatório para todas as condições climáticas. Portanto, pode ser aplicado o modelo proposto pela UWG em diferentes climas e configurações urbanas para estimar os efeitos da ICU e da demanda por consumo de energia, bem como apontar formas de considerar parâmetros climáticos no planejamento espacial e físico das cidades.

Diante disso, a formação das cidades envolve diversos aspectos nem sempre baseados em questões técnico-científicas. Garuma (2018) relata que modelar uma cidade estatisticamente é importante porque a composição da fração urbana depende da aplicação de diferentes materiais que definem as propriedades térmicas e radiativas das superfícies urbanas. Nos estudos regionais, é fundamental classificar as regiões com os mesmos materiais de construção, uma vez que a morfologia da edificação e da cidade também depende de questões culturais. Assim, o conhecimento geográfico sobre a região sob

investigação também é um ponto crucial para representar com precisão as regiões urbanas em modelos climáticos urbanos.

Atualmente, entre as iniciativas mais relevantes para classificação de áreas em estudos urbanos, estão os métodos propostos por Oke (2006) e Stewart & Oke (2012), ambos visam identificar o potencial de cada área para alterar o clima local e caracterizar a transição entre diferentes áreas urbanas. Nesses casos, as escalas são conferidas pelas dimensões e características morfológicas que compõem uma paisagem urbana. Consequentemente, é necessário descrever as propriedades das áreas urbanas que podem afetar a atmosfera em relação à estrutura, cobertura superficial, tecido urbano e metabolismo urbano.

No caso específico da proposta de classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZ), Stewart & Oke (2012) estudaram a paisagem para uma nova classificação climática, principalmente para estudos em áreas urbanas, cujas unidades são determinadas com características físicas e culturais que conferem da paisagem, propriedades que podem influenciar a temperatura na Camada Urbana do Dossel. Considera-se que a forma da estrutura afeta o clima local alterando os fluxos de ar, pelo transporte de calor atmosférico e pela radiação líquida de ondas curtas e longas. Por sua vez, a cobertura superficial tem a capacidade de modificar o albedo, a disponibilidade potencial de umidade e o aquecimento e resfriamento do solo.

Assim, torna-se possível classificar a paisagem dividindo-a em estruturas com propriedades quase homogêneas, e gerar dezessete classes de protótipos semelhantes nas condições dos ambientes naturais e construídos. Estrutura, materiais, atividades humanas e cobertura uniforme da superfície definem as LCZs. Eles se estendem horizontalmente por centenas de metros e são caracterizados com base em critérios como Fator de Visão do Céu (FVC), altura e largura dos cânions urbanos, fração de superfície construída, fração de superfície impermeável do solo, proporção de área permeável do solo e rugosidade dos elementos que compor a paisagem.

O sistema foi elaborado para padronizar as pesquisas mundiais em clima urbano a partir da geometria urbana e referências comuns, de acordo com um determinado regime de temperatura em superfícies secas, com atmosfera tranquila, noites claras em áreas com paisagem amena. Ferramentas do Portal Mundial de Acesso a Dados Urbanos (WUDAPT)

Ching *et al*., (2014) e Mills *et al*., (2015) que elaboram e fornecem bancos de dados de alta resolução em relação à forma dos edifícios, vegetação e uso do solo para modelos climáticos urbanos. Os conjuntos de dados também podem incluir informações sobre aquecimento antropogênico e dados populacionais, dependendo da natureza de cada estudo.

A partir de então, diversos estudos relacionados ao clima urbano vêm utilizando o método de classificação em LCZ para descrever e compreender seus efeitos termodinâmicos nos ambientes, a fim de auxiliar as práticas de desenho urbano. Middel *et al.* (2014) teve como objetivo encontrar formas eficazes de projeto e estratégias para melhorar o ambiente térmico urbano usando os modelos microclimáticos tridimensionais produzidos com o auxílio do software ENVI-met durante os meses de verão. A simulação da variação da temperatura do ar foi feita próximo ao solo para bairros residenciais em Phoenix, concluindo que as diferenças espaciais no processo de resfriamento estão fortemente relacionadas à radiação solar e aos padrões de sombreamento locais.

Com o estudo detalhado dos diferentes ambientes climáticos intraurbanos, é possível identificar os agentes responsáveis pela dinâmica dos espaços construídos, verificar sugestões e o planejamento urbano com base mais técnica e científica. O objetivo deste trabalho é elaborar um modelo matemático de previsão de variação microclimática de quatro LCZs diferentes expostas a uma condição atmosférica seca, em uma área tropical de altitude. Tal modelo deve ser aplicado como ferramenta preditiva e de identificação de fenômenos microclimáticos em ambientes urbanos e, consequentemente, de locais mais conducentes para ocorrência de áreas de risco para exposição humana ao calor.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O método é dividido em três etapas, a primeira se refere à verificação in loco da variação de temperatura e umidade em quatro configurações diferentes de ambientes urbanos, que são LCZ D, LCZ 1, LCZ 5 e LCZ 9 em São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil.

Foi registrado o comportamento microclimático representativo de cada região da cidade de acordo com as ações de uma massa de ar quente e seca. Para este estudo, foram utilizadas análises de dados de acordo com a detecção de períodos que se caracterizam por

comportamento atmosférico estável, céu claro, vento fraco, radiação solar horizontal intensa e direção do vento variando entre nordeste e sudeste.

A densidade construída e a geometria dos cânions do entorno afetam a direção do vento dominante que incide sobre nos pontos de coleta na malha intra-urbana, por isso é um parâmetro importante para assegurar o rigor metodológico em estudos microclimáticos.

A segunda etapa submeteu os dados coletados a uma análise estatística multivariada, servindo de base para o desenvolvimento de modelos matemáticos de previsão da variação microclimática para cada uma das LCZs. Após a verificação da validade do modelo, na terceira etapa, foram indicadas áreas urbanas que apresentavam possíveis riscos de exposição ao calor de acordo com sua respectiva morfologia.

2.1. Caracterização do local

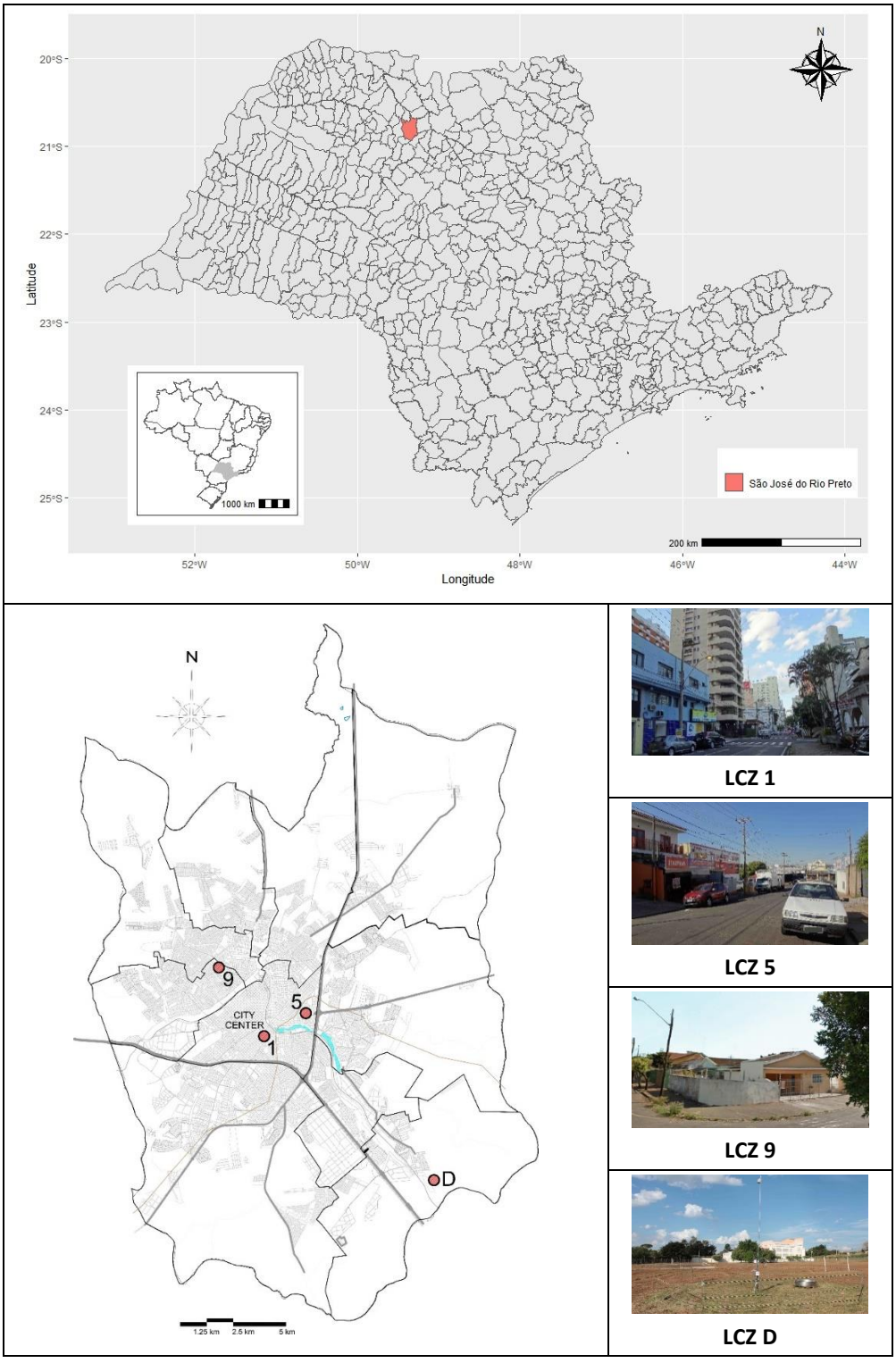
Peel *et al.* (2007) atualizaram o mapa de classificação do clima mundial criado por Köppen-Geiger e classificaram São José do Rio Preto como Aw, que corresponde ao Clima Tropical de Altitude com invernos secos e verões quentes e chuvosos. A temperatura média no inverno permanece em torno de 18°C e 30°C no verão. A média anual de umidade relativa gira em torno de 70%, podendo chegar abaixo de 20% nos meses mais secos. A predominância do vento na região de São José do Rio Preto durante os meses de inverno ocorre na direção sudeste, principalmente à noite.

O vento vindo da direção nordeste também é bastante frequente e predomina principalmente sob domínio da Massa Tropical Atlântica, o que resulta em períodos de atmosfera estável e seca durante todo o inverno (Nimer, 2008). A superfície do município é de 431,32 km² e o relevo é relativamente suave, com altitudes variando entre 442m e 588m (SJRP, 2022), Figura 1.

A elaboração do modelo de previsão microclimática utilizou como referência o comportamento térmico de quatro LCZs durante um período de atmosfera estável e seca. A classificação de cada LCZ, com base nos parâmetros propostos por Stewart & Oke (2012), ou seja, fator de visão do céu (FVC), relação entre altura e largura do cânion urbano (H/W), superfície construída, superfície permeável, altura média de rugosidade e rugosidade do solo.

Para o cálculo da fração de cada parâmetro, foi delimitada uma região de estudo de 200m de raio em relação ao ponto de coleta de dados. A combinação entre os parâmetros físicos resulta na descrição genérica da morfologia do ambiente urbano a ser considerado.

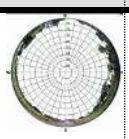
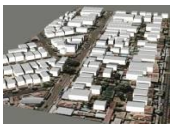
Figura 1 – Localização de São José do Rio Preto.



Fonte: Adaptado de SJRP (2019 e 2022).

Os FVCs foram determinados a partir das imagens geradas por uma lente olho de peixe, acoplada a uma câmera fotográfica posicionada a uma altura de 1,5m do solo, alinhada verticalmente para cima. Posteriormente, foram tratadas as imagens no software Rayman 1.2, desenvolvido por Matzarakis (2009), conforme recomendação de Matzarakis *et al.* (2010), Tabela 1.

Tabela 1 – Características de cada LCZ estudada.

LCZ	FVC	H/W	Superfície edificada	Superfície impermeável	Superfície permeável	Altura média de rugosidade	Rugosidade do solo (m)	Vista
LCZ D Plantas baixas	 **0.80**	0.25	7%	8%	92%	2	0.5	
LCZ 1 Compacta - altura elevada	 **0.35**	4	35.8%	100%	0%	30	0.1	
LCZ 5 Aberta – Altura mediana	 **0.69**	0.4	28%	95.2%	4.8%	5	0.3	
LCZ 9 Construção esparsa	 **0.73**	0.4	13.5%	71%	29%	5	0.2	

Fonte: Autores (2022).

Entre 9 de junho e 7 de julho de 2013, foi monitorado o comportamento microclimático das quatro configurações urbanas, considerando as variáveis de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, direção e velocidade do vento.

Com os sensores HOBO Pro V2 U23-001, colocados dentro de blindagens de PVC naturalmente ventiladas conforme recomendações e especificações do fabricante, a 3m de altura, foram coletados de hora em hora os dados de temperatura e umidade do ar na camada do dossel, Figura 1.

Além disso, para auxiliar na tarefa de caracterização dos fenômenos atmosféricos em macroescala, uma Estação Meteorológica, marca HOBO, modelo U30, localizada na LCZ D com os seguintes componentes, Figura 2:

Figura 2 – Características de cada LCZ estudada.

<table>
<tr><td>
</td><td colspan="2">Figura 2a - Sensor HOBO Pro V2 U23-001

Faixa de Operação: -40 ºC até 70 ºC
Precisão: 0,2 ºC de 0 ºC até 50 ºC
Resolução: 0,02 ºC a 25 ºC
Tempo de resposta: 40 min com o ar em movimento a 1 m/s</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Figura 2b – Data logger HOBO U30</td><td>Figura 2c – Piranômetro - precisão de ± 10W/m²</td><td>Figura 2d – Sensor Termo-higrômetro – THB-M002. ± 0,2ºC.</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Figura 2e – Anemômetro com 5-graus de acurácia e resolução de 1.4 graus</td><td>Figura 2f – Painel solar de 6w e 6v de tensão</td><td>Figura 2g – Instalação do equipamento em campo</td></tr>
</table>

Fonte: Autores, Adaptado de ONSET (2022).

2.2. Análise Estatística

Foram utilizados modelos de regressão (Equação 1) baseados na análise de variância (ANOVA). A estimativa da temperatura (T), e por causa da umidade relativa (UR) e da radiação solar (SR) para cada uma das quatro áreas investigadas (LCZ 9, LCZ 5, LCZ 1, LCZ D) foi feita no nível de 5% de significância; consistindo em uma ferramenta útil na estimativa de variação de temperatura devido às características construtivas de cada LCZ.

$$T = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot RH + \alpha_2 \cdot SR + \alpha_3 \cdot RH \cdot SR + \varepsilon \quad (1)$$

Da Equação 1, αi são os coeficientes ajustados pelos Mínimos Quadrados Ordinários – MQO – e ε consiste no erro aleatório, com a qualidade do ajuste avaliada pelo coeficiente de determinação ajustado (R2aj). A ANOVA do modelo de regressão permite julgar se o modelo e os coeficientes são significativos. Para verificar quais dos termos (RH, SR, RH · SR) do modelo afetam significativamente os valores de temperatura, foi utilizado o gráfico de Pareto.

Para cada região e durante o período especificado (9 de junho a 7 de julho de 2013 - 28 dias consecutivos), em média, foram feitas 673 medições de cada variável (ou seja, Temperatura (T), Umidade Relativa (RH) e Radiação Solar (SR)). Esses resultados serviram de base para a geração de modelos matemáticos.

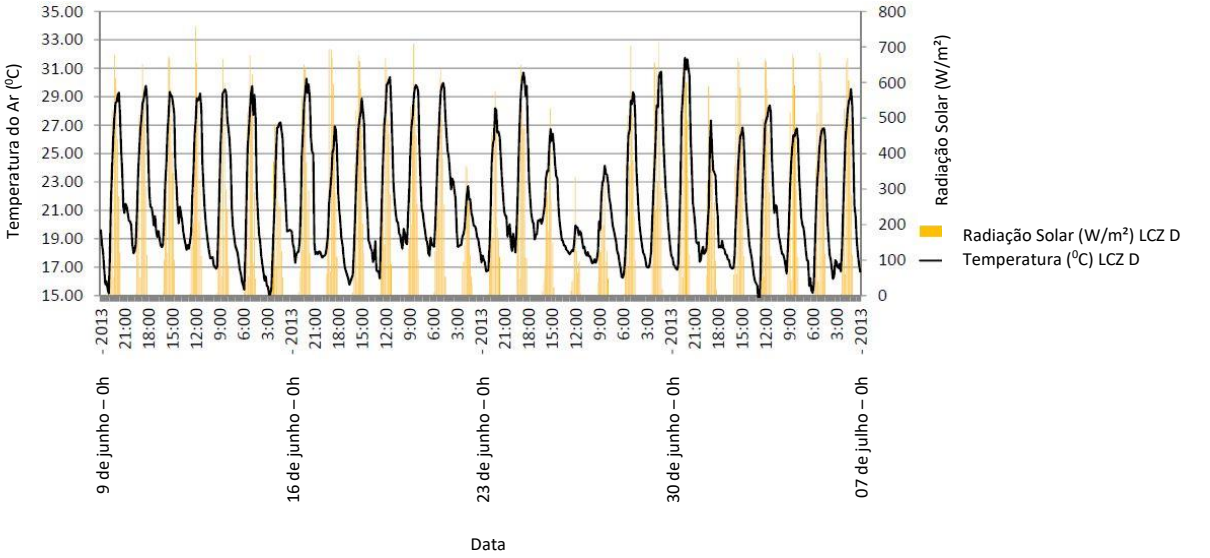
Uma vez encontrados os modelos para cada região, em sequência, foram utilizados o teste de Tukey (ao nível de 5% de significância) para avaliar a influência do fator região (LCZ 9, LCZ 5, LCZ 1, LCZ D) na temperatura valores, possibilitando avaliar se as configurações das regiões afetam significativamente os valores de temperatura. A partir do teste de Tukey, A denota o grupo com o maior valor médio, B como o segundo maior valor médio e assim sucessivamente. Letras iguais implicam grupos com médias estatísticas equivalentes entre si.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os 28 dias de coleta de dados caracterizam-se por apresentar vários dias consecutivos com características atmosféricas adequadas para detectar efeitos do clima urbano, como radiação solar intensa com valores máximos próximos a 700W/m², baixo índice de umidade relativa durante os dias, direção do vento variando entre nordeste e sudeste com velocidades máximas abaixo de 4,5 m/s.

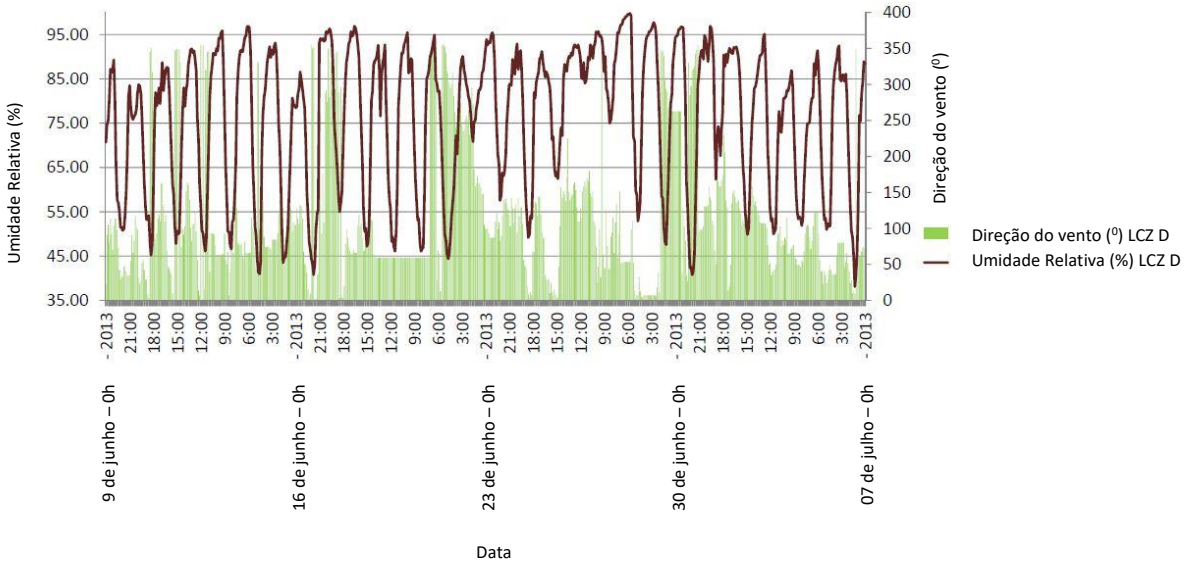
Uma vez que há grandes possibilidades de ocorrência de ICU, este período pode ser utilizado como amostra para a composição de modelos matemáticos que predizem as possíveis consequências no microclima urbano em outras partes da cidade a partir das variáveis consideradas. As Figuras 3 e 4 mostram a variação completa da temperatura do ar; umidade relativa e radiação solar em valores absolutos medidos em LCZ D, e a combinação de outros valores de LCZs, na modelagem são considerados.

Figura 3 – Irradiância Solar (W/m^2) e Temperatura (^{0}C) na LCZ D



Fonte: Autores (2022).

Figura 4 – Direção do Vento (^{0}) e Umidade Relativa (%) na LCZ D



Fonte: Autores (2022).

A Tabela 2 mostra os valores médio ($\bar{x}$), inferior (Min) e superior (Máx) de cada propriedade coletada em campo (T, RH, SR) e os intervalos de confiança (CI) da média (no nível de 95% de confiança) para cada uma das quatro regiões consideradas.

Tabela 2 – Resultados das propriedades climáticas.

Propriedades	LCZ 9			
	$\bar{x}$	Mín	Máx	IC
T (ºC)	22.46	15.90	31.00	(22.17; 22.74)
RH (%)	71.03	36.00	100.00	(69.80; 72.25)
SR (W/m^2)	136.55	0.60	756.90	(120.57; 152.53)
Propriedades	**LCZ 5**			
	$\bar{x}$	**Mín**	**Máx**	**IC**
T (ºC)	22.71	16.23	32.07	(22.412; 23.016)
RH (%)	71.28	33.35	100	(70.020; 72.543)
SR (W/m^2)	136.55	0.6	756.9	(120.57; 152.53)
Propriedades	**LCZ 1**			
	$\bar{x}$	**Mín**	**Máx**	**IC**
T (ºC)	22.61	16.37	30.47	(22.333; 22.886)
RH (%)	72.21	38.53	99.06	(71.076; 73.340)
SR (W/m^2)	136.55	0.6	756.9	(120.57; 152.53)
Propriedades	**LCZ D**			
	$\bar{x}$	**Mín**	**Máx**	**IC**
T (ºC)	21.68	14.48	31.74	(21.360; 22.003)
RH (%)	76.18	38.1	99.8	(74.946; 77.407)
SR (W/m^2)	136.55	0.6	756.9	(120.57; 152.53)

Fonte: Autores (2022).

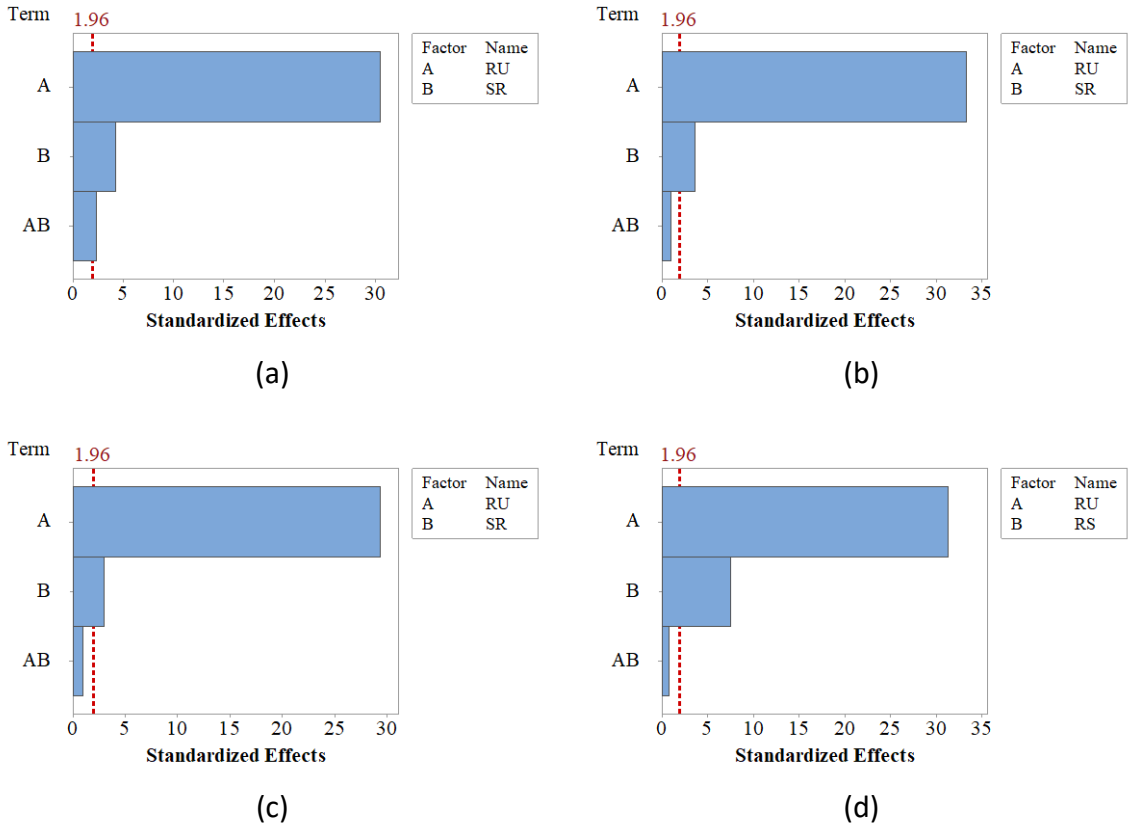
Considerando que a LCZ 5 possui uma configuração espacial onde predominam áreas impermeabilizadas, poucas áreas abertas que permitem a atividade dos ventos, vegetação escassa e padrão de construções que promove poucas áreas sombreadas durante a maior parte do dia, foi possível registrar as temperaturas mais elevadas entre todas as áreas avaliadas. Por outro lado, a LCZ 1, embora também apresente 100% de áreas impermeabilizadas, a radiação solar não atinge as superfícies horizontais devido à profundidade dos cânions urbanos e ao menor FVC das quatro áreas. Assim, há muitas áreas sombreadas pela própria geometria dos edifícios, o que induz, em alguns casos, a formação de ventilação urbana canalizada e maior possibilidade de resfriamento da camada de dossel urbano.

As equações 2 a 5 expressam os modelos de regressão obtidos para a estimativa da temperatura do ar para a região LCZ 9, LCZ 5, LCZ 1 e LCZ D, respectivamente. Gráficos de Pareto de cada modelo obtido são apresentados na Figura 5.

$T_{LCZ\ 9}$ = 36.227 - 0.19738·RH + 0.00499·SR - 0.000051·RH·SR	[R = 83.80%]	(2)
$T_{LCZ\ 5}$ = 37.561 - 0.21125·RH + 0.00267·SR - 0.000020·RH·SR	[R = 88.19%]	(3)
$T_{LCZ\ 1}$ = 37.877 - 0.21383·RH + 0.00252·SR - 0.000021·RH·SR	[R = 5.81%]	(4)
$T_{LCZ\ D}$ = 38.620 - 0.22681·RH + 0.00154·SR + 0.000016·RH·SR	[R = 9.76%]	(5)

De acordo com os resultados obtidos das Equações 2, 3, 4 e 5, os valores de R variam de 83,8% a 89,76%, o que mostra uma capacidade de representação muito alta para estimar os valores de temperatura em diferentes áreas da cidade, pois em todas as os valores dos casos de R excedem 80%.

Figura 5 – Gráficos de pareto para o modelo de regressão obtivo para as regiões LCZ 9 (a), LCZ 5 (b), LCZ 1 (c) e LCZ D (d).

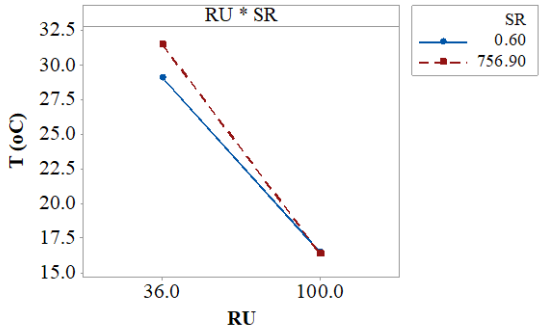


Fonte: Autores (2022).

A partir do modelo da Equação 2, todos os termos utilizados foram considerados significativos pela ANOVA (Figura 5). Aumentos em UR acarretam reduções nos valores de temperatura, enquanto aumentos em SR levam a aumentos nos valores da variável

estimada. Devido ao efeito de interação ser significativo (RH · SR), este fator estatisticamente impacta mais no modelo do que em fatores individuais. A Figura 6 ilustra o gráfico de interação desses dois fatores na estimativa de temperatura para a região LCZ 9.

Figura 6 – Gráfico de Interação dos fatores (RH · SR) na estimativa da temperatura na região da LCZ9.



Fonte: Autores (2022).

Da Figura 6, para 36% de umidade relativa (mínima registrada), a temperatura para radiação solar de 756,90W/m² (máxima registrada) foi 8,20% superior à temperatura obtida. Para 0,60W/m² de radiação solar (mínimo registrado), e para 100% (máximo registrado), o efeito foi o inverso, a temperatura obtida para 0,60W/m² de radiação solar foi apenas 0,70% maior que a temperatura para a radiação de 756,90W/m².

A partir da Equação 2, 8,02% do conjunto de dados coletados (T, RH e SR), (54/673) consistiu em observações atípicas, o que resultou no valor do coeficiente de determinação ajustado igual a 83,80%, evidenciando a boa precisão do modelo. Para a região da LCZ 9, o menor valor estimado da temperatura do ar (16,39°C) veio da combinação de UR = 100% e SR = 756,90W/m², e o maior valor (31,50°C) veio da combinação de RH = 36,0% e SR = 756,90 W/m².

A partir da Equação 3, os fatores individuais foram considerados significativos pela ANOVA na estimativa dos valores de temperatura, porém, a interação dos fatores foi considerada não significativa (Figura 5b), com o modelo demonstrando um coeficiente de determinação ajustado igual a 88,19%, o que mostra precisão deste ajuste. Como a interação dos fatores (RH · SR) não é significativa, a retirada deste termo da Equação 3 resultou na Equação 6, cujo coeficiente de determinação ajustado é o mesmo do modelo

completo (Equação 3), o que reforça a pequena significância do efeito de interação na estimativa da temperatura do ar para a região LCZ 5.

$$T_{LCZ\ 5'} = 37.727 - 0.21350 \cdot RH + 0.001504 \cdot SR \qquad [R = 88.19\%] \qquad (6)$$

A partir da Equação 6, os aumentos na UR afetam as reduções na temperatura do ar local, enquanto os aumentos no SR proporcionam aumentos na temperatura do ar. Para este ajuste, 6% do conjunto de resultados (T, RH e SR) foram considerados observações atípicas. Para a região LCZ 5 (Equação 6), o menor valor estimado de temperatura do ar (16,38°C) veio da combinação de UR = 100% e SR = 0,60W/m², e o maior valor (31,75°C) veio de a combinação de RH = 33,35% e SR = 756,90 W/m².

Esses fatos elucidam que, à medida que a radiação solar atinge as superfícies construídas, o processo de evaporação aumenta e a umidade relativa diminui gradativamente nas LCZs. Assim, a condição seca da massa de ar atuante no território tende a contribuir para a elevação da temperatura do ar e para potencializar as possibilidades de ocorrência de ICU.

Na LCZ 1, apenas a interação dos fatores foi considerada não significativa, como no caso do modelo da região LCZ 5. A exclusão da interação dos fatores na Equação 4 resulta na Equação 7, cabe mencionar que o coeficiente de determinação ajustado permaneceu inalterado (85,81%), o que reforça a pequena significância do efeito de interação entre os fatores.

$$T_{LCZ\ 1'} = 38.039 - 0.21602 \cdot RH + 0.001238 \cdot SR \qquad [R = 85.81\%] \qquad (7)$$

Da Equação 7, apenas 5,79% dos resultados do conjunto (T, RH e RS) foram considerados como observações atípicas. O coeficiente de determinação ajustado de 88,81% mostra a boa qualidade do ajuste obtido também na estimativa dos valores de temperatura para a região LCZ 1.

A partir da Equação 7, aumentos de UR afetam reduções na temperatura local, enquanto aumentos de SR proporcionam aumentos na temperatura do ar. A menor temperatura estimada (16,64°C) foi derivada da combinação de UR = 99,06% e SR = 0,60W/m², e o valor mais alto (30,65°C) veio da combinação de UR = 38,53% e SR = 756,90W/m².

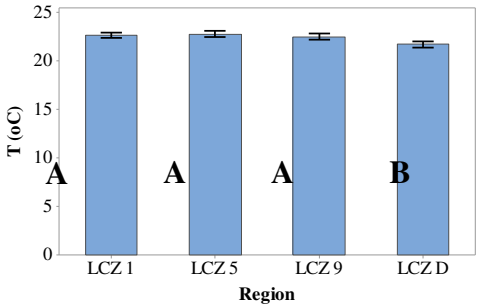
A partir da Equação 5 (região LCZ D), apenas a interação dos fatores foi considerada não significativa pela ANOVA. A exclusão do termo de interação resultou na Equação 8, que forneceu o mesmo resultado de coeficiente de determinação do modelo completo (89,76%).

$$T_{LCZ\ D'} = 38.482 - 0.22507 \cdot RH + 0.002523 \cdot RS \qquad [R = 89.76\%] \qquad (8)$$

A partir da Equação 8, aumentos na UR afetam as reduções na temperatura do ar local, enquanto aumentos na SR proporcionam aumentos na temperatura do ar. O menor valor de temperatura estimado (16,02°C) foi derivado da combinação de RH = 99,80% e SR = 0,60W/m², e o valor mais alto (31,82°C) veio da combinação de RH = 38,10% e SR = 756,90 W/m².

O teste de Tukey (Figura 7) foi utilizado para verificar as possíveis diferenças entre as Equações 2, 6, 7 e 8, o que permite avaliar se as regiões (LCZ 9, LCZ 5, LCZ 1, LCZ D) influenciaram significativamente nos valores estimados de temperatura.

Figura 7 – Resultados do teste de Tukey do fator das regiões (LCZ 9, LCZ 5, LCZ 1, LCZ D) nos valores de temperatura estimados (Equações 2, 6, 7 e 8).



Fonte: Autores (2022).

A partir da Figura 7, nota-se que os modelos de estimativa de temperatura do ar das regiões LCZ 9 (Equação 2), LCZ 5 (Equação 6) e LCZ 1 (Equação 7), são consideradas

estatisticamente equivalentes pelo teste de Tukey, indicando que a estimativa da temperatura do ar nessas três regiões pode ser obtida tanto pelas equações 2, 5 ou 7. O resultado indica que não há diferença entre esses locais nos valores de temperatura, exceto a LCZ D (Equação 8).

A Equação 8 apresentou valores médios estimados significativamente mais baixos, em relação às equações das demais regiões, o que indica que a temperatura da LCZ D deve ser estimada exclusivamente pela Equação 8. A maior fração de superfícies vegetadas, a escassez de edificações e áreas pavimentadas impermeáveis, são características da LCZ D, o que demonstra a contribuição para que as temperaturas estimadas do ar sejam menores que as outras três áreas avaliadas.

Segundo Oke (2006), Middel *et al.* (2014), Mills *et al.* (2015), o efeito mais forte das variações intra-urbanas de temperatura do ar pode ser encontrado cerca de quatro horas após o pôr do sol. Enquanto a superfície natural esfria rapidamente, as superfícies urbanas esfriam mais lentamente, por diversos motivos nos quais podemos destacar como menor FVC, maior armazenamento de calor nas áreas centrais e falta de vegetação. Durante as primeiras horas da manhã, a temperatura do ar sobre áreas urbanas densamente construídas tende a ser mais baixa do que sobre a superfície natural devido ao sombreamento das superfícies.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre as principais contribuições deste trabalho está a criação de modelos de previsão de fenômenos microclimáticos em áreas tropicais em condições atmosféricas secas e com temperaturas mais altas com base nas características morfológicas de uma cidade. A partir do comportamento térmico dos ambientes urbanos já implementados, é possível estimar os efeitos microclimáticos de uma futura intervenção espacial com alto grau de confiabilidade.

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem concluir que os modelos de regressão foram significativos e aplicáveis para prever impactos no clima urbano considerando quatro configurações espaciais diferentes de acordo com a classificação proposta por Stewart & Oke (2012). Os coeficientes de determinação ajustados variaram

entre 83,80% e 89,76%, o que mostra a alta precisão dos ajustes obtidos. A análise estatística mostrou equivalência dos modelos para estimativa da temperatura do ar entre as regiões LCZ 9, LCZ 5 e LCZ 1. O mesmo não ocorreu com o modelo para a região LCZ D, que resultou em valores médios significativamente inferiores aos valores médios estimados de temperatura do ar para as demais regiões.

Em todos os ajustes, aumentos nos valores de umidade relativa resultaram em reduções nos valores estimados de temperatura do ar, enquanto aumentos nas taxas de radiação solar proporcionaram aumentos na temperatura do ar nas camadas do dossel urbano. A configuração espacial da LCZ 5, com muitas áreas impermeabilizadas e vegetação esparsa, demonstrou maiores temperaturas do ar e menores índices de umidade relativa. Assim, regiões com características morfológicas semelhantes à LCZ5 podem apresentar períodos mais longos de exposição ao calor, podendo até representar riscos à saúde dos habitantes. Os resultados de Middel *et al.* (2014) mostram que a advecção é importante para a distribuição de temperatura, e que diferenças espaciais no processo de resfriamento estão fortemente relacionadas à radiação solar, ventilação e padrões de sombreamento local, assim como no meio da tarde, formas urbanas densas podem criar ilhas de frescor em Phoenix, EUA. Desta forma, o conceito de classificação em LCZ é útil não apenas para estudos sobre distribuição e configuração de Ilhas de Calor Urbana, mas também para fins de planejamento e projeto.

Portanto, áreas semelhantes à LCZ 5 devem receber maior atenção dos planejadores quanto a investimentos em infraestrutura verde, como criação de parques urbanos, manutenção mais frequente de Áreas de Preservação Permanente no entorno de corpos d'água e aumento do número de espécies arbóreas adjacentes no calçadão. Entre as sugestões para novos estudos está o desenvolvimento de metodologias de mapeamento de áreas urbanas em cidades tropicais que sejam capazes de estimar o número de habitantes expostos a condições climáticas extremas, principalmente em áreas com ambiente construído com características que intensificam o acúmulo de calor nas camadas do dossel urbano. O aprimoramento dos processos de coleta de dados, tanto de superfície quanto de satélites, deve contribuir para validar modelos de estimativa e aprimorar ações mitigadoras dos efeitos climáticos obtidos através da pressão causada pelo crescimento populacional,

mudanças no uso e ocupação do solo e poluição do ar; quais estudos de sustentabilidade, resiliência urbana e adaptação às mudanças climáticas estão intimamente relacionados.

A integração do ordenamento do espaço urbano com ferramentas de avaliação microclimática ainda é um desafio complexo, mas com um futuro promissor. De acordo com Wong *et al.* (2011) existem quatro etapas para integrar efetivamente os métodos científicos com as ações de planejamento urbano, que incluem a disponibilidade de dados climáticos, a integração de dados em plataformas tridimensionais da cidade, a aplicação de procedimentos de simulação e efeitos termodinâmicos e colaboração mútua para fornecer informação urbana com o fornecimento de ferramentas para criar cenários urbanos.

Assim, Garuma (2018) afirma que é cada vez mais necessário fortalecer a colaboração entre climatologistas e modeladores em nível local, regional e global para facilitar o acesso aos parâmetros climáticos urbanos na definição de estratégias de ocupação espacial e determinar a morfologia urbana mais adequada para condições de conforto térmico. Krüger (2017) mostra, por meio de testes ANOVA, como e quanto os fatores locais afetam a percepção do microclima pelos usuários dos espaços abertos, registrando diferenças representativas entre os locais com diversos índices do Fator de Visão do Céu na cidade de Curitiba, Brasil. Esses resultados reforçam ainda mais a necessidade de aprimoramento dos métodos de previsão dos efeitos microclimáticos em intervenções espaciais.

Diante disso, os modelos de regressão avaliados contribuem para concluir que existe a necessidade de promover uma distribuição equitativa dos investimentos em recursos e serviços ambientais que possibilitem minimizar os extremos de temperatura do ar e aumentar os índices de umidade nas estações secas em José do Rio Preto, São Paulo. Portanto, os resultados reportados até agora, devem respaldar tecnicamente os conceitos da legislação urbanística e os mecanismos de controle da urbanização.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

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**, United Kingdom, v. 23, n. 1, p. 1-26, 2003.

BUENO, B., HIDALGO, J., PIGEON, G. G., NORFORD, L., MASSON, V. Calculation of Air Temperatures above the Urban Canopy Layer from Measurements at a rural Operational Weather Station. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, United States, v. 52, n. 2, p. 472-483, 2013.

BUENO, B., ROTH, M., NORFORD, L., LI, R. Computationally efficient prediction of canopy level urban air temperature at the neighborhood scale. **Urban Climate**, Netherlands, v. 9, p. 35-53, 2014.

CHEN, F., KUSAKA, H., BORNSTEIN, R., CHING, J., GRIMMOND, C. S. B., GROSSMAN-CLARKE, S., SAILOR, D. The integrated WRF/urban modelling system: Development, evaluation, and applications to urban environmental problems. **International Journal of Climatology**, United Kingdom, v. 31, n. 2, p. 273-288, 2011.

CHING, J., ROTUNNO, R., LEMONE, M., MARTILLI, A., KOSOVIC, B., JIMENEZ, P.A., DUDHIA, J. Convectively induced secondary circulations in fine-grid mesoscale numerical weather prediction models. **Monthly Weather Review**, United States, v. 142, n. 9, p. 3284–3302, 2014.

ERELL, E., PEARLMUTTER, D., BONEH, D., KUTIEL, P. B. Effect of high-albedo materials on pedestrian heat stress in urban street canyons. **Urban Climate**, Netherlands, v.10, p. 367–386, 2014.

GARUMA, Gemechu Fanta. Review of urban surface parameterizations for numerical climate models. **Urban Climate**, Netherlands, v. 24, p. 830-851, 2018.

GOBAKISA, K., KOLOKOTSAB, D., SYNNEFAC, A., SALIARI, M., GIANNOPOULOUC, K., SANTAMOURIS, M. Development of a model for urban heat island prediction using neural network techniques. **Sustainable Cities and Society**, Netherlands, v. 1, n. 2, p. 104– 115, 2011.

HEBBERT, Michael. Climatology for city planning in historical perspective. **Urban Climate**, Netherlands, v. 10, p. 204-215, 2014.

HO, H., C., KNUDBY, A., SIROVYAK P., XUB Y., HODUL M., HENDERSON, S., B. The spatial regression approach appears useful for mapping intraurban air temperature variability and can easily be applied to other cities. **Remote Sensing of Environment**, United States, v. 154, p. 38-45, 2014.

HOLLÓSI, B., ŽUVELA-ALOISE, M., OSWALD, S. Applying urban climate model in prediction mode—evaluation of MUKLIMO_3 model performance for Austrian cities based on the summer period of 2019. **Theoretical and Applied Climatology**, Austria, v. 144, p. 1181–1204, 2021.

JIHAD, A. S., TAHIRI, M. Modeling the urban geometry influence on outdoor thermal comfort in the case of Moroccan microclimate. **Urban Climate**, Netherlands, v. 16, p. 25–42, 2016.

KOUTROUMANOU-KONTOSI, K., CARTALIS, C., PHILIPPOPOULOS, K., AGATHANGELIDIS, I., POLYDOROS, A. A Methodology for Bridging the Gap between Regional- and City-Scale Climate Simulations for the Urban Thermal Environment. **Climate**, Switzerland, v. 10, n. 106, 2022.

KRÜGER, E. Impact of site-specific morphology on outdoor thermal perception: A case-study in a subtropical location. **Urban Climate**, Netherlands, v. 21, p. 123-135, 2017.

KRÜGER, E., PEARLMUTTER, D., RASIA, F. Evaluating the impact of canyon geometry and orientation on cooling loads in a high-mass building in a hot dry environment. **Applied Energy**, United Kingdom, v. 87, n.6, p. 2068–2078, 2010.

LÁSZLÓ, E., SZEGEDI S. A multivariate linear regression model of mean maximum urban heat island: a case study of Beregszász (Berehove), Ukraine. **Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service**, Hungary, v. 119, n. 3, p. 409–423, jul./sep., 2015.

MATZARAKIS, A. **Rayman 1.2**. Disponível em: http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman/intro.htm 2009. Acesso em: 15 jan., 2014.

MATZARAKIS, A., RUTZ, F., MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – Basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, Germany, v. 54, p. 131-139, mar., 2010.

MIDDEL, A., HÄB, K., BRAZEL, A. J., MARTIN C., A., GUHATHAKURTA, S. Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. **Landscape and Urban Planning**, Netherlands, v. 122, p. 16–28, 2014.

MILLS, G., CLEUGH, H., EMMANUEL, R., ENDLICHERD, W., ERELLE, E., MCGRANAHANF G., NGG, E., NICKSONH, A., ROSENTHALI, J., STEEMER, K. Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective). **Procedia Environmental Sciences**, United Kingdom, v. 1, p. 228–246, 2010.

MILLS, G., BECHTEL, B., CHING J., SEE L., FEDDEMA J., FOLEY, M., ALEXANDER, P., O'CONNOR, M. An Introduction to the WUDAPT project. **In:** ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate. 12th Symposium on the Urban Environment. Meteo France, Toulouse, France, 2015.

NG, E. Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. **Building and Environment**, United Kingdom, n. 44, p. 1478-1488, 2009.

NG, E., CHEN, L., WANG, Y., YUAN, C. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. **Building and Environment,** United Kingdom, n. 47, p. 256-271, 2012.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 4.ed. Brasil: Fundação IBGE, 2008.

OKE, T. Towards better communication in urban climate. **Theoretical and Applied Climatology**, Austria, n. 84, p.179–190, 2006.

ONSET. **Field Monitoring System.** Disponível em: https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/weather-stations. Acesso em: 21 Jul. 2022.

PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, Germany, n. 11, p. 1633-1644, 2007.

SALAMANCA, F., MARTILLI, A., TEWARI, M., CHEN, F. A study of the urban boundary layer using different urban parameterizations and high-resolution urban canopy parameters with WRF. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, United States, v. 50, n. 5, p. 1107–1128, 2011.

São Jose do Rio Preto - SJRP. **Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto.** (2022). Disponível em: https://www.riopreto.sp.gov.br/. Acesso em: 23 Jan. 2022.

São Jose do Rio Preto – SJRP. **Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto**. (2019). Disponível em: https://www.riopreto.sp.gov.br/wp-content/uploads/arquivosPortalGOV/mapas-rio-preto/134858_MAPA-ZONEAMENTO-USO-E%20OCUPA%C3%87%C3%83O-DO%20SOLO-16-01-19.pdf. Acesso em: 13 Jan. 2021.

São Jose do Rio Preto – SJRP. **Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto**. (2018). Disponível em: https://latitudelongitude.org/br/sao-jose-do-rio-preto/. Acesso em: 15 Jan. 2020.

STEWART, I. D., OKE, T. R., KRAYENHOFF, E. S. Evaluation of the 'local climate zone' scheme using temperature observations and model simulations. **Int. J. Biometeorology**, Germany, v. 34, n. 4, p. 1062–1080, 2014.

STEWART, I. D., OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of American Meteorological Society**, United States, n. 93, p. 1879–1900, 2012.

TSIROS, I. X. Assessment and energy implications of street air temperature cooling by shade trees in Athens (Greece) under extremely hot weather conditions. **Renewable Energy**, United Kingdom, n. 35, p.1866–1869, 2010.

WANG, X., DAI, W. Development of fine-scale urban canopy parameters in Guangzhou city and its application in the WRF-Urban model. **In:** ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate. 12th Symposium on the Urban Environment. Meteo France, Toulouse, France, 2015.

WONG, N. H., JUSUF, S. K., TAN, C. L. Integrated urban microclimate assessment method as a sustainable urban development and urban design tool. **Landscape and Urban Planning**, Netherlands, v. 100, p. 386–389, 2011.

XU, Y., REN, C., MAD, P., HOC, J., WANG, W., KA-LUN LAU, K., LIND, H., NG, E. Urban morphology detection and computation for urban climate research. **Landscape and Urban Planning**, Netherlands, v. 167, p. 212–224, 2017.

YANG, X., ZHAO, L., BRUSE, M., & MENG, Q. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. **Building and Environment**, United Kingdom, v. 60, p. 93–104, 2013.

YUAN, C., NG, E., CHEN, L., REN, C., FUNG, J. Improving the wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: A study in Hong Kong. **Landscape and Urban Planning**, Netherlands, v. 101, p. 59 – 74, 2011.