XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8654

Abordagens de modelagem urbana na simulação microclimática

Urban modeling approaches for microclimatic simulation

Gabriel Resende de Bortoli
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | gabriel.bortoli@ufv.br
Ericson Gonçalves dos Santos
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | ericson.goncalves@ufv.br
Lucas Dáion Carvalho
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | lucas.daion@ufv.br
Isabelly Camille Caetano
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | isabelly.caetano@ufv.br
Maria Vitória de Carvalho Chermont
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | maria.chermont@ufv.br
Caio de Carvalho Lucarelli
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | caio.lucarelli@ufv.br
Matheus Menezes Oliveira
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | matheus.menezes@ufv.br

Resumo

O presente artigo analisa comparativamente os resultados de temperatura do ar obtidos por meio de simulações microclimáticas no ENVI-met, utilizando duas abordagens de modelagem urbana: Zonas Climáticas Locais (LCZ) e levantamento *in loco*. A metodologia envolveu a classificação e a modelagem de um recorte urbano em Viçosa (MG), com base em dados georreferenciados. Os resultados indicam um comportamento térmico semelhante, porém com diferenças na magnitude das temperaturas; já as diferenças geométricas evidenciam uma discrepância entre a LCZ e o modelo real, pois não há sobreposição entre a estrutura viária e os edifícios na LCZ, com o que é observado in loco, como ocorre no modelo real. Como contribuição, destaca-se que a escolha da abordagem deve considerar a escala e o objetivo da análise, sendo necessária a validação dos resultados.

Palavras-chave: Microclima; Modelagem urbana; Zonas Climáticas Locais; ENVI-met;

Abstract

This study compares air temperature results from microclimatic simulations in ENVI-met using two urban modeling approaches: Local Climate Zones (LCZ) and in situ surveys. To achieve this, the methodology first involved classifying and modeling an urban area in Viçosa (MG) using satellite data and in situ-collected information. The results indicate similar thermal behavior between both scenarios, with differences in temperature ranges; The geometric differences, however, show a discrepancy between the LCZ and the real model, because there is no overlap between the road structure and the buildings in the LCZ with what is observed *in loco*, as occurs in the real model. *Consequently, the study highlights that the choice of approach should consider the scale and objective of the analysis, and emphasizes the necessity of validating results.*

Keywords: Microclimate; Urban Modeling; Local Climate Zones; ENVI-met.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização das cidades brasileiras tem sido historicamente condicionado por fatores ambientais e socioeconômicos, como o relevo, a hidrografia, a estrutura regional e a dinâmica econômica. A partir do século XX, essas dinâmicas se intensificaram, especialmente em função da industrialização e da expansão do setor de serviços [1].

Nesse contexto, o adensamento construtivo, a verticalização e a redução de áreas vegetadas associados à urbanização impactam diretamente as condições microclimáticas urbanas, contribuindo para a intensificação das ilhas de calor e do desconforto térmico dos pedestres [2].

Pesquisas recentes têm empregado simulações computacionais para a análise do microclima urbano em cidades brasileiras [3] [4] [5], com destaque para o uso do *software* ENVI-met. O *software* opera com base em uma malha numérica tridimensional e utiliza o método das diferenças finitas para resolver as variáveis físicas em nível local. O modelo combina esquemas implícitos e explícitos, conferindo maior estabilidade numérica e eficiência computacional às simulações [6].

Apesar do potencial demonstrado, um dos principais desafios associados ao uso do ENVI-met refere-se à etapa de modelagem urbana. O *software* oferece diferentes possibilidades de construção de modelos, tanto em ambiente próprio quanto por meio de integrações com outras plataformas, como QGIS, *Grasshopper e SketchUp* [6].

Na modelagem urbana, são comumente utilizados dados levantados *in loco*, tais como a altura das edificações, os afastamentos, a presença de vegetação e os materiais de superfície. No entanto, esse tipo de levantamento pode apresentar limitações, seja pela dificuldade de acesso às áreas de estudo, seja pelo tempo necessário para sua realização [7]. Como alternativa a esse processo, destaca-se o uso das Zonas Climáticas Locais (em inglês, *Local Climate Zones* – LCZ). Propostas por Stewart e Oke [8], as LCZs constituem uma abordagem padronizada e representativa para a classificação de tipologias urbanas e superfícies naturais com base em suas características físicas e comportamentais diante da dinâmica microclimática. Com base em critérios como densidade construtiva, cobertura do solo, altura das edificações e presença de vegetação, o método permite identificar, mapear e classificar diferentes formas de ocupação territorial na malha urbana, possibilitando a interpretação da distribuição espacial das ilhas de calor e dos padrões de conforto térmico humano no espaço urbano. Além disso, por se apoiar em classificações padronizadas e em dados secundários, essa abordagem apresenta maior agilidade e potencial de replicabilidade. Contudo, como uma limitação, a simplificação do modelo pode afetar os resultados das simulações [9].

Aplicações recentes do sistema LCZ no contexto brasileiro, especialmente em cidades de médio porte, têm demonstrado sua relevância para subsidiar análises microclimáticas, orientar estratégias de adaptação climática e fortalecer o planejamento urbano [10] [11] [12] [13].

Entretanto, ainda são escassos os estudos que realizam comparações sistemáticas entre resultados obtidos a partir de modelagens baseadas em LCZ e os provenientes de levantamentos *in loco* [14], especialmente no contexto de cidades médias

brasileiras. Essa lacuna é particularmente relevante, uma vez que diferentes abordagens de modelagem podem implicar graus distintos de simplificação da morfologia urbana e, consequentemente, influenciar a acurácia das simulações microclimáticas.

Diante disso, o presente artigo tem como objetivo comparar os resultados de temperatura do ar obtidos por meio de simulações microclimáticas no ENVI-met, com base em modelos de classificação de LCZs, com os provenientes de modelagens urbanas fundamentadas em levantamentos físicos. Assim, a pesquisa busca avaliar a confiabilidade, a sensibilidade e as limitações das diferentes abordagens de modelagem na representação do microclima urbano.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO: CARACTERIZAÇÃO DE VIÇOSA (MG)

Viçosa (MG) é classificada como Centro Sub-regional B e está inserida na Região Intermediária de Juiz de Fora [15]. Atualmente, o município possui 76.430 habitantes, além de uma população flutuante estimada em cerca de 15.000 pessoas [16] [17].

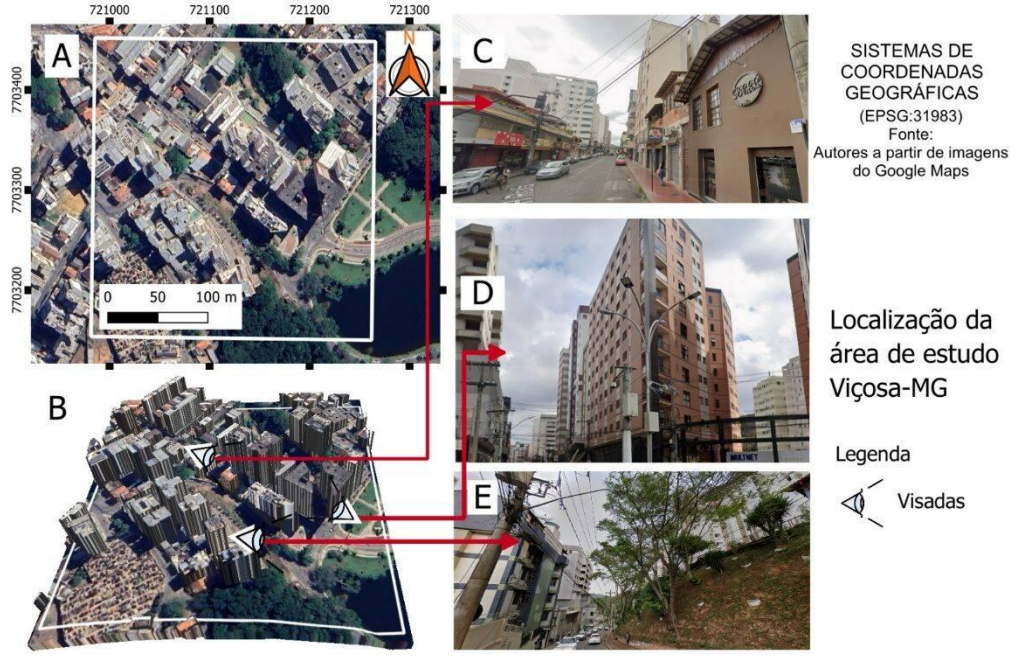
Do ponto de vista climático, Viçosa (latitude 20°76'S) está inserida na zona bioclimática 2M, apresentando invernos moderados, temperatura média anual do ar entre 18,8°C e 20,9°C, e umidade relativa média de cerca de 80% [18].

Para a presente pesquisa, o recorte espacial da simulação urbana abrange um trecho da Avenida Peter Henry Rolfs, localizado na região central de Viçosa. A escolha dessa via justifica-se por sua relevância na estrutura urbana, configurando-se como um eixo de articulação entre a área central do município e a Universidade Federal de Viçosa (UFV), além de concentrar fluxos intensos de pedestres e de veículos.

A avenida é morfologicamente heterogênea (Figura 1), expressa por variações de gabarito das edificações, por distintos padrões de ocupação do solo, pela presença esparsa de vegetação e pela diversidade de materiais. Tais características a tornam representativa das condições urbanas centrais e adequada à análise microclimática, uma vez que permitem avaliar como diferentes configurações espaciais e, consequentemente, diferentes classificações LCZ influenciam as variáveis ambientais.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8654

Figura 1: Caracterização da área de estudo em Viçosa-MG



Fonte: Autores

IDENTIFICAÇÃO DAS LCZS EM VIÇOSA (MG)

A caracterização morfológica e climática de Viçosa foi realizada por meio da plataforma *web* gratuita LCZ *Generator* [19] [20], que se baseia na análise integrada de um conjunto de dados orbitais e abrange o período de 2017 a 2019. A classificação resultante é disponibilizada em formato *raster* georreferenciado, compatível com sistemas de informação geográfica (SIG) como o *software* QGIS.

MODELAGEM PARA SIMULAÇÃO

Para a caracterização morfológica real da área, foram realizados levantamentos em bases geoespaciais e visitas *in loco,* considerando parâmetros como a altura das edificações e a disposição ao longo da via.

Os dados do levantamento foram processados e organizados no QGIS. Posteriormente, a construção do modelo tridimensional foi realizada no Grasshopper para Rhinoceros3D. O modelo resultante foi então convertido para o formato compatível com o ENVI-met, sendo discretizado em uma malha computacional, na qual as edificações e superfícies urbanas foram representadas como volumes e classes de uso do solo.

Para a definição das LCZs, foi implementado um processo de otimização automatizada no Galapagos para o Grasshopper, que permite ajustar parâmetros morfológicos com base em critérios de coerência topológica. A conversão e configuração do modelo para simulação microclimática foram realizadas por meio do *plugin* Morpho, garantindo a compatibilização da geometria com a estrutura de malha computacional do ENVI-met.

SIMULAÇÃO MICROCLIMÁTICA NO ENVI-MET

As simulações microclimáticas foram realizadas com o ENVI-met, que utiliza um modelo de discretização numérico baseado em grade para representar o ambiente [6]

[20]. A modelagem adota o método das diferenças finitas, no qual as equações são resolvidas pontualmente, dispensando a formulação contínua.

Em ambos os cenários, a área simulada correspondeu a um domínio retangular de 300 m × 300 m. Como variável de saída, considerou-se a temperatura média do ar em uma subárea central do modelo, com dimensões de 100 m × 100 m. A adoção dessa área interna justifica-se pela maior estabilidade dos resultados, uma vez que as regiões periféricas do modelo tendem a apresentar maior variabilidade térmica, associada principalmente a efeitos de borda.

Ambos modelos utilizaram dados proveniente de um arquivo climático *Typical Meteorological Year* (TMY) para Viçosa, construído a partir de dados do período de 1985 a 2014. As simulações foram realizadas para um dia típico de verão e outro de inverno, com duração total de 34 horas, sendo as primeiras 6 horas um período de estabilização (*spin-up*) para a adaptação do modelo às dinâmicas físicas e atmosféricas. Na Tabela 1, é possível ver os valores horários de temperatura e umidade utilizados na simulação.

Tabela 1: Dados climáticos de entrada utilizados no ENVI-Met

Hora	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)
	15/Jan		18/Set	
0	21.1	91	12.0	88
1	20.9	91	11.1	76
2	21.0	92	10.4	79
3	20.9	94	10.0	83
4	21.0	94	9.6	86
5	20.8	93	9.5	88
6	25.4	92	14.8	89
7	25.2	88	15.2	85
8	24.8	81	15.1	74
9	24.7	75	14.6	67
10	24.7	70	14.7	62
11	29.4	66	19.9	58
12	29.7	62	19.8	53
13	30.0	59	20.1	50
14	30.4	57	19.9	47
15	30.7	56	19.9	46
16	30.5	55	20.0	49
17	25.6	61	16.4	56
18	23.7	68	15.0	64
19	23.3	72	14.7	69
20	23.7	77	14.6	75
21	23.4	83	14.8	80
22	23.5	87	14.7	84
23	21.0	91	13.1	87

Fonte: Autores

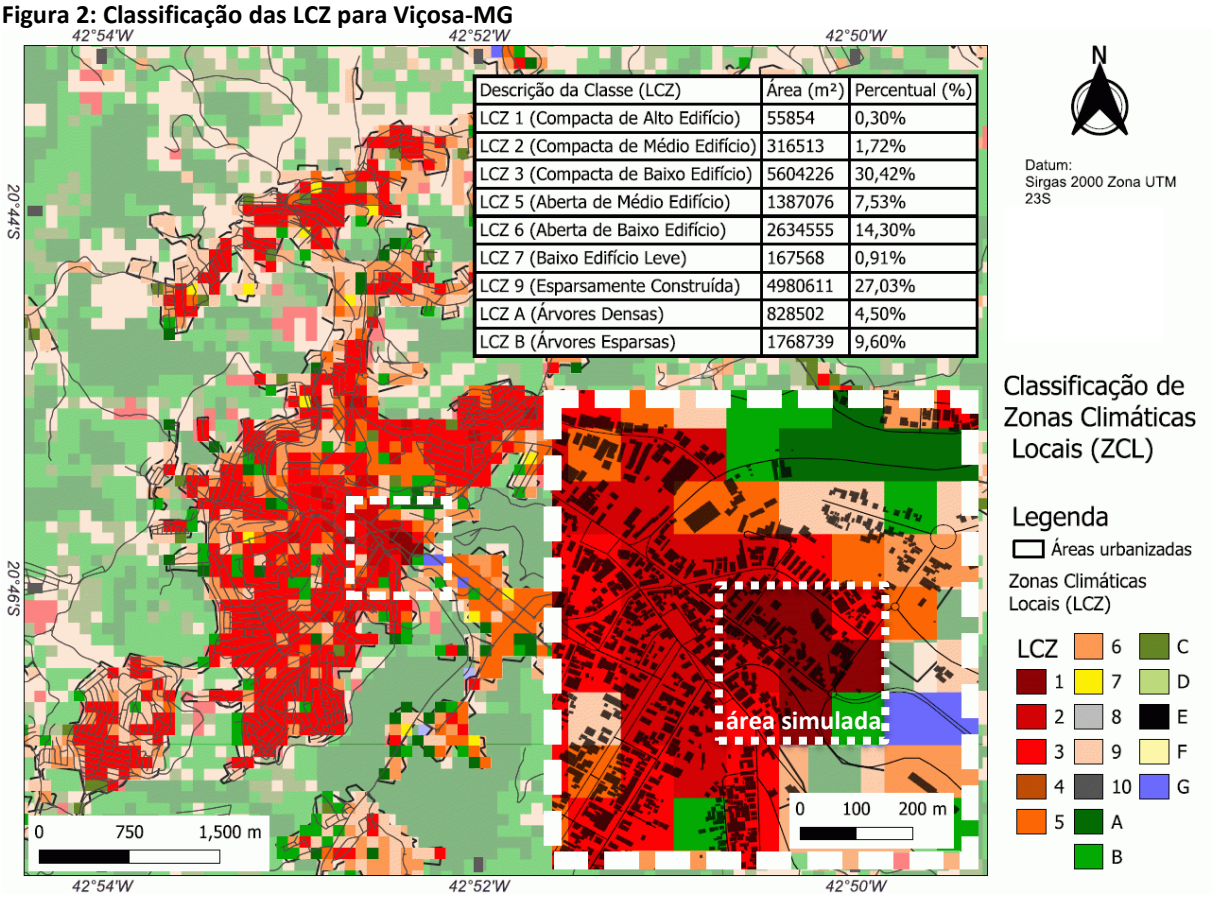
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8654

ANÁLISE DOS RESULTADOS

CLASSIFICAÇÃO LCZ E MODELAGEM NO ENVI-MET

A Figura 2 apresenta a classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZs) para a área central de Viçosa, conforme a metodologia proposta por Stewart e Oke [8].

Figura 2: Classificação das LCZ para Viçosa-MG



Nota: O quadrado branco representa a área simulada.
Fonte: Adaptado de Demuzere, Kittner e Bechtel [19].

Observa-se que o recorte de 300 × 300 m abrange as classes LCZ 1, 2, 3 e B, evidenciando a heterogeneidade da área de estudo. Com base nessa classificação, foi desenvolvida a modelagem baseada em LCZ, considerando os parâmetros apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Os parâmetros de simulação no ENVI-met seguem as recomendações de Stewart e Oke [8] e são apresentados na Tabela 2. Os materiais criados para a modelagem dos edifícios são apresentados nas Tabelas 3 e 4. Uma vez que o ENVI-met requer parâmetros adicionais aos definidos por Stewart e Oke [8], os dados foram complementados com valores padrão do *software* ou com indicações da NBR 15220 [6][18]. Os materiais relacionados a cobertura do solo, como pavimentação e vegetação, foram configurados utilizando os dados da biblioteca nativa do ENVI-met conforme a Tabela 5.

Tabela 2: Parâmetros urbanos dos modelos LCZ

Parâmetro	LCZ 1	LCZ 2	LCZ 3	LCZ B
Fator de Visão de Céu (FVC)	**0,42** (0,2–0,4)	**0,58** (0,3–0,6)	**0,58** (0,2–0,6)	**–** (0,5–0,8)
Razão de Aspecto (H/W)	**3,12** (> 2,0)	**0,98** (0,75 – 2,0)	**1** (0,75 – 1,5)	**–** (0,25 – 1,0)
Fração Construída (%)	**44,97** (40 – 60)	**63,36** (40 – 70)	**40,96** (40 – 70)	**–** (< 10)
Fração Impermeável (%)	**46,12** (40 – 60)	**30,12** (30 – 50)	**47,75** (20 – 50)	**–** (< 10)
Fração Permeável (%)	**8,91** (< 10)	**6,52** (< 20)	**11,29** (< 30)	**–** (> 90)
Altura dos Elementos de Rugosidade (m)	**34,29** (> 25)	**10** (10 – 25)	**6** (3 – 10)	**–** (< 3)

Nota: Os valores em negrito foram adotados na modelagem, e os em parênteses correspondem aos intervalos definidos por Stewart e Oke [8].

Tabela 3: Parâmetros de entrada dos materiais dos edifícios criados no ENVI-met para modelos LCZ

Materiais	LCZ002	LCZ39F	LCZ005	LCZ00A
Classe	**Pavimentação Urbana**	**Superfícies híbridas**	**Áreas semi-impermeáveis**	**Vegetação arbórea**
Espessura Padrão[2] (m)	0,15	0,15	0,15	0,15
Absorção[2]	0,85	0,80	0,80	0,85
Transmitância[2] (%)	0	0	0	0
Albedo[1] (%)	0,15	0,20	0,20	0,20
Emissividade[2] (%)	0,94	0,94	0,94	0,94
Calor Específico[1] J/(kg*K)	1.000	920	920	920
Condutividade térmica[1] W/(m*K)	1.750	980	980	980
Densidade[3] (kg/m³)	2000	2000	2200	2000

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke [8] [1], ENVI-met [6] [2] e NBR 15220 [18] [3].

Tabela 4: Parâmetros de entrada dos materiais dos edifícios criados no ENVI-met para modelagem real

Materiais	CERAMIC	NSTONE	000ACM	REBOCO
Classe	**Cerâmica**	**Rochas naturais**	**ACM (Alumínio)**	**Reboco**
Espessura Padrão[2] (m)	0,30	0,30	0,30	0,30
Absorção[2] (%)	0,6	0,6	0,6	0,6
Transmitância[2] (%)	0	0	0	0
Albedo[1] (%)	0,4	0,4	0,4	0,4
Emissividade[2] (%)	0,8	0,93	0,45	0,7
Calor Específico[1] J/(kg*K)	920	1000	880	1000
Condutividade térmica[1] W/(m*K)	875	3.150	195.000	1.150
Densidade[3] (kg/m³)	1600	2700	2800	2000

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke [8] [1], ENVI-met [6] [2] e NBR 15220 [18] [3].

Tabela 5: Parâmetros de entrada dos materiais existente no ENVI-met para modelagem

Materiais	0200ST	0200WW	0100XX	0000S1

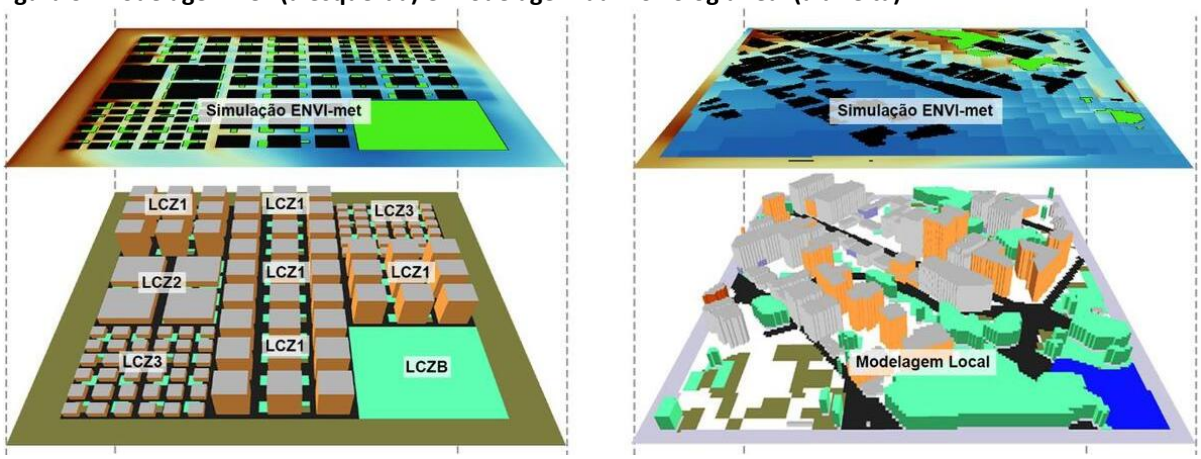
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8654

Classe	Asfalto	Água	Grama	Árvore (15 m, copa distinta)
Rugosidade Z_o (m)	0.01	0.01	—	—
Albedo	0.12	0	0.2	0.2
Emissividade	0.9	0.9	0.97	0.97
Transmitância	—	—	0.3	0.3
Altura da planta (m)	—	—	0.25	15
Tipo de folha	—	—	Grama	Decídua

Fonte: Adaptado de ENVI-met [6].

A Figura 3 permite comparar a modelagem das LCZs com a morfologia urbana real. Conforme esperado, a modelagem LCZ apresenta um nível de simplificação significativamente maior em relação à morfologia real.

Figura 3: Modelagem LCZ (à esquerda) e Modelagem da morfologia real (à direita)



Observa-se que a geometria das edificações e das vias não corresponde fielmente à configuração existente, nem considera as variações topográficas. Outra limitação refere-se às transições entre diferentes morfologias, como a representação da LCZ B, localizada no quadrante inferior direito (em verde claro), que não incorpora o corpo d'água correspondente à Lagoa da UFV. Essa inconsistência decorre da resolução espacial da plataforma de classificação de LCZs, cujo limite de 100 metros impede o mapeamento de feições de menor escala [19].

ANÁLISE DAS TEMPERATURAS DOS MODELOS SIMULADOS

A Figura 4 ilustra a variação horária da temperatura média do ar nos cenários baseados em LCZ, na modelagem da morfologia real e no arquivo climático TMY. A análise engloba os dias típicos do verão e do inverno. A extração dos dados de simulação foi realizada a 3 metros de altura em ambos os cenários. Enquanto no modelo LCZ essa altura é fixa em relação ao plano base, no modelo real ela acompanha a topografia do terreno por meio da extração equidistante dos dados a partir da altura base do terreno, é possível ver os dados horários na Tabela 6.

Figura 4: Variação horária da temperatura do ar para os diferentes cenários simulados

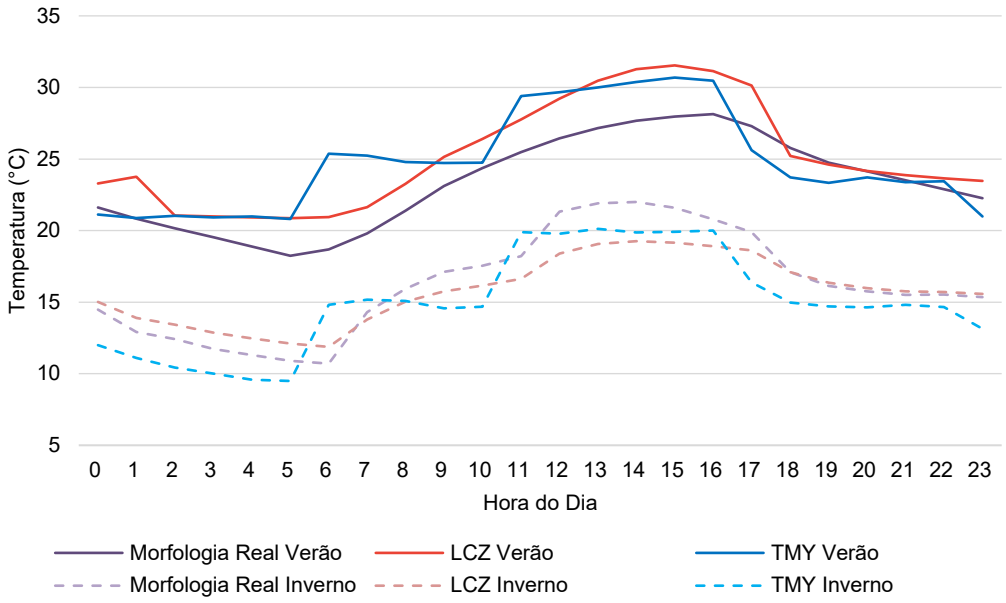


Tabela 6: Resultados de simulação e dados do arquivo climático para o período.

Hora	Temperatura Modelo real (°C)		Temperatura LCZ (°C)		Temperatura TMY (°C)	
	15/Jan	18/Set	15/Jan	18/Set	15/Jan	18/Set
0	21.6	14.5	23.3	15.0	21.1	12.0
1	20.8	12.9	23.8	13.9	20.9	11.1
2	20.2	12.4	21.0	13.4	21.0	10.4
3	19.5	11.7	21.0	12.9	20.9	10.0
4	18.9	11.3	20.9	12.5	21.0	9.6
5	18.2	10.9	20.9	12.1	20.8	9.5
6	18.7	10.7	20.9	11.9	25.4	14.8
7	19.8	14.3	21.6	13.8	25.2	15.2
8	21.4	15.9	23.3	15.0	24.8	15.1
9	23.1	17.1	25.1	15.8	24.7	14.6
10	24.4	17.5	26.4	16.2	24.7	14.7
11	25.5	18.2	27.8	16.6	29.4	19.9
12	26.4	21.3	29.2	18.4	29.7	19.8
13	27.2	21.9	30.5	19.1	30.0	20.1
14	27.7	22.0	31.3	19.3	30.4	19.9
15	28.0	21.6	31.5	19.2	30.7	19.9
16	28.1	20.8	31.1	18.9	30.5	20.0
17	27.3	19.9	30.1	18.6	25.6	16.4
18	25.8	17.1	25.2	17.1	23.7	15.0
19	24.8	16.1	24.6	16.4	23.3	14.7
20	24.1	15.8	24.2	16.0	23.7	14.6
21	23.5	15.5	23.9	15.7	23.4	14.8
22	22.9	15.5	23.7	15.7	23.5	14.7
23	22.3	15.4	23.5	15.6	21.0	13.1

Fonte: autores

A modelagem LCZ aproximou-se mais do TMY, com diferenças médias de 0,4 °C no verão e 0,8 °C no inverno. Os maiores desvios ocorreram de manhã devido ao *spin-up*, atingindo 4,4 °C (verão) e 2,9 °C (inverno) abaixo do TMY, com posterior convergência. O modelo real desviou-se mais do TMY, reduzindo a média em 1,5 °C no verão. Às 6h, registrou 18,7 °C ante 25,0 °C do TMY (diferença de 6,3 °C), padrão corroborado pela literatura [2], que aponta mitigações de até 7,0 °C pelo sombreamento urbano. No modelo real a topografia e as barreiras à radiação solar explicam esse atraso no aquecimento.

Na comparação direta no verão, a LCZ manteve 21,0 °C na madrugada, enquanto o modelo real atingiu a mínima de 18,2 °C às 5h, provavelmente devido a trocas térmicas devido a ventilação.

No pico (15h), a LCZ superestimou a temperatura em 3,6 °C (31,5 °C contra 28,0 °C do real) devido às suas frações fixas impermeáveis. O modelo real engloba sombreamento e evapotranspiração que protegem as superfícies.

Às 18h, a temperatura da LCZ caiu para 25,2 °C (resposta imediata), enquanto o declínio gradual real evidenciou a inércia térmica dos materiais. No inverno, a diferença média foi de -0,5 °C. O valor negativo indica que o modelo real reteve mais calor, enquanto a simplificação da LCZ acelerou a perda de calor noturna.

Logo, a LCZ omite microclimas específicos, sendo ideal para macroescala, enquanto o modelo real atende à alta fidelidade local.

CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo comparar os resultados de temperatura do ar obtidos por meio de simulações no ENVI-met, de modelos baseados em LCZs e de modelagens urbanas fundamentadas em levantamento *in loco*. Os resultados evidenciaram que, embora ambas as abordagens apresentem comportamento térmico semelhante, as diferenças na magnitude das temperaturas indicam níveis distintos de sensibilidade à morfologia urbana.

De modo geral, a modelagem baseada em LCZ foi capaz de reproduzir tendências térmicas gerais, porém apresentou limitações na representação de processos microclimáticos, como o sombreamento e a inércia térmica. Por outro lado, o modelo real demonstrou maior sensibilidade às condições do ambiente urbano, evidenciando maior capacidade de captar as variações térmicas associadas à geometria e às características físicas do sítio.

Conclui-se que a escolha da abordagem deve estar alinhada à escala e ao objetivo da análise: enquanto a metodologia LCZ mostra-se mais adequada para estudos em escala urbana ampliada, a modelagem detalhada baseada em levantamento apresenta maior potencial para investigações microclimáticas em escala local.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001; do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) 406426/2022-8; e da

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) APQ-02622-23. Além de apoiado pelo Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento – CYTED (através da Rede TRAPECIO).

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o segundo autor utilizou o Gemini como apoio à revisão textual e aprimoramento da redação acadêmica. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] SANTOS, M. **A Urbanização brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993.

[2] LEMOS, D. C.; BARBOSA, S.; LIMA, F. The influence of urban canyons on thermal comfort: the case of Juiz de Fora. **PARC**, v. 13, 2022.

[3] SOUZA, R.; ALBERTO, K.; BARBOSA, S. Efeitos da vegetação no microclima urbano de uma praça em Juiz de Fora. **PARC**, Campinas, v. 15, 2024. DOI: 10.20396/parc.v15i00.8672861.

[4] MACHADO, E.; BARBOSA, G.; VAZQUEZ, E.; DRACH, P. Avaliação dos impactos da forma urbana no microclima de bairros da cidade do Rio de Janeiro, Brasil. **PARC**, Campinas, v. 13, 2022. DOI: 10.20396/parc.v13i00.8665410.

[5] BASTOS, L.; DRACH, P.; MIYAMOTO, J. Impactos climáticos no complexo de favelas da Maré. **PARC**, Campinas, v. 13, 2022. DOI: 10.20396/parc.v13i00.8665861.

[6] ENVI-MET. Arquitetura do modelo ENVI-met: um modelo holístico de microclima. 2025. Disponível em: https://www.envi-met.info/doku.php?id=intro:modelconcept.

[7] COELHO, S.; FONTENELE, B. Rugosidade e porosidade do tecido urbano como critérios de análise qualitativa da ventilação natural na cidade de Fortaleza - CE. In: **ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE**, 20., 2018. Anais [...], 2018. ISSN: 2359-1048.

[8] STEWART, I.; OKE, T. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, 2012. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1.

[9] GÁL, T.; ALINASAB, N.; ABDULHAQ, H.; SKARBIT, N. A structured literature review of the application of Local Climate Zones (LCZ) in urban climate modeling. **Earth**, v. 7, n. 1, 2025.

[10] CARDOSO, R.; AMORIM, M. T. Urban heat island analysis using the “local climate zone” scheme in Presidente Prudente, Brazil. **Investigaciones Geográficas**, n. 69, 2018. DOI: 10.14198/INGEO2018.69.07.

[11] SANTOS, R.; BARBOSA, R. Influência da morfologia urbana nos microclimas do centro comercial de Maceió, Alagoas. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 18., 2025. Anais [...], 2025.

[12] SOBRINHO, O. M. et al. Meteorological effects of green infrastructure on a developing medium Latin American city: a numerical modeling assessment. **Sustainability**, v. 15, n. 2, 2023. DOI: 10.3390/su15021460.

[13] FERREIRA, L.; FERRETTO, D.; DUARTE, D. Mapeando a morfologia urbana: aplicações do método Local Climate Zones (LCZ) em diferentes escalas do projeto. **PosFAUUSP**, v. 30, n. 56, 2023. DOI: 10.11606/issn.2317-2762.posfau.2023.197563.

[14] FENNER, D.; MEIER, F.; BECHTEL, B.; OTTO, M.; SCHERER, D. Intra and inter "local climate zone" variability of air temperature as observed by crowdsourced citizen weather stations in Berlin, Germany. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 26, n. 5, 2017.

[15] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Regiões de Influência das Cidades 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15798-regioes-de-influencia-das-cidades.html.

[16] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

[17] PRÓ-REITORIA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO (PPO). **Relatório de Gestão da Universidade Federal de Viçosa 2023**. Viçosa: UFV, 2024. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/16c094QSzsto42w0i8xso1mabIfYjhTrT/view. Acesso em: 4 jun. 2024.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2024.

[19] DEMUZERE, M.; KITTNER, J.; BECHTEL, B. LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, 2021. DOI: 10.3389/fenvs.2021.637455.

[20] RODRIGUES, V. et al. Setting up a CFD model to evaluate the impact of green infrastructures on local air quality. **Air Quality, Atmosphere & Health**, v. 17, n. 10, p. 2151–2167, 2024.