III SIMPOSIO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA HUMANA
26 a 28 de agosto de 2026

# SIMULAÇÃO MICROCLIMÁTICA COM O ENVI-MET PARA O ESTUDO DA PRAÇA CAMÕES EM BRAGANÇA (PORTUGAL)

**Lucas Borges Silva Santos (1); Sueli Tavares de Melo Souza (2); Artur Jorge de Jesus Gonçalves (3)**

(1) Investigador, Instituto Politécnico de Bragança - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, lucasborges467@gmail.com
(2) Professora, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, suelisouza@utfpr.edu.br
(3) Professor Adjunto, CIMO - LA SusTEC - Instituto Politécnico de Bragança - Campus de Santa Apolónia, ajg@ipb.pt

## RESUMO

As transformações decorrentes do crescimento populacional e da expansão urbana alteram o clima local, criando microclimas que impactam o ambiente e a saúde pública. Nesse contexto, este estudo avaliou as condições microclimáticas da Praça Camões, em Bragança, e os benefícios da aplicação de Soluções Baseadas na Natureza (SBNs) por meio do software ENVI-Met. A metodologia incluiu a caracterização da área e do clima local, coleta de dados microclimáticos para validação do modelo e elaboração de cenários base e alternativo em ambiente 3D. Os resultados mostraram boa concordância entre os dados simulados e medidos, indicando que as SBNs contribuíram para melhorar o conforto térmico, com reduções de até 1,35 °C na temperatura do ar e 39,9 °C na temperatura média radiante em comparação ao cenário base.

Palavras-chave: conforto térmico, ENVI-met, modelação, soluções baseadas na natureza.

## 1. INTRODUÇÃO

A constante evolução na configuração do ambiente construído, impulsionada pelo crescimento populacional e pela expansão urbana, e influenciada por diversas formas de ocupação do solo, modifica os padrões meteorológicos, fazendo com que ocorram alterações no clima, originando microclimas distintos e contribuindo para o desequilíbrio nos ecossistemas. Estes desequilíbrios são ocasionados pela impermeabilização do solo, pela presença de materiais urbanos que conduzem calor, pela poluição do ar, pelo aumento da urbanização e, sobretudo, pela diminuição da cobertura vegetal (Feitosa, 2011).

As alterações ambientais decorrentes do processo de expansão urbana podem manifestar-se de diversas formas, incluindo mudanças no clima, aumento do estresse bioclimático, modificações nos fluxos de vento e variações nos padrões de precipitação. Esses efeitos se refletem na atmosfera local, podendo impactar a saúde humana, causar danos às edificações e elevar o consumo de energia devido à maior necessidade de climatização artificial (Assis, 2006).

Neste contexto, a cidade cria seu próprio microclima, resultado da interação de diversos fatores que afetam a paisagem urbana e modificam o clima em nível local. A qualidade do ar, o efeito das chuvas e o conforto térmico são os impactos mais perceptíveis para a população (Monteiro, 1976). Diante desse cenário, os estudos sobre o microclima urbano tornam-se fundamentais para compreender os impactos das transformações no ambiente construído e subsidiar estratégias capazes de melhorar o conforto térmico e a qualidade ambiental das cidades. Além disso, essas iniciativas contribuem para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os objetivos 3, 11, 13 e 15.

Entre as estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, destacam-se as Soluções Baseadas na Natureza (SBNs), promovidas desde o final dos anos 2000 por organizações internacionais e pela União Europeia. As SBNs integram processos naturais ao planejamento urbano para aumentar a resiliência das cidades e gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos. Em 2018, a International Union for Conservation of Nature (IUCN) reforçou sua importância ao reconhecer as mudanças climáticas como um dos principais desafios globais (Stöberl et al., 2019).

## 2. OBJETIVO

O estudo tem como objetivo avaliar as condições microclimáticas em uma área central da cidade de Bragança, especificamente na Praça Camões, e estimar os benefícios decorrentes da implementação de Soluções Baseadas na Natureza (SBNs), utilizando o software ENVIMet.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1. Área de estudo

O estudo foi realizado na Praça Camões, localizada na região central da cidade de Bragança, em Portugal. A escolha da área se deu por sua relevância como espaço público de uso intenso, representando adequadamente as interações típicas entre elementos urbanos e condições microclimáticas. Além disso, a praça apresenta configuração espacial diversificada, com variações de sombreamento, materiais de superfície e densidade arbórea, o que a torna um ambiente propício para análise das dinâmicas microclimáticas e avaliação de estratégias de mitigação térmica. A Figura 1 mostra a localização da praça.

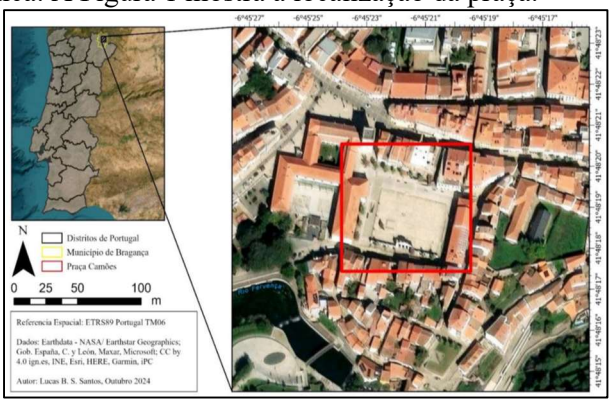



Figura 1 – Mapa de localização Praça Camões.

### 3.2. Medições de dados espaciais e climáticos

A etapa de coleta de dados foi fundamental para a construção e validação do modelo. Foram realizadas medições microclimáticas em campo em três datas distintas (22/03/2024, 15/04/2024 e 17/07/2024), representando diferentes condições sazonais. Nessas campanhas, foram utilizados uma estação Datalogger, Delta Ohm 32.1, três estações Delta Ohm 32.3 e um sensor de monitoramento fixo (TINYTAG TGP-4500) para registrar variáveis como temperatura do ar (Ta), temperatura média radiante (Tmr) umidade relativa (HR) e velocidade do vento (Va). Os pontos de monitoramento foram distribuídos estrategicamente na área de estudo para captar a variabilidade espacial do microclima urbano.

Além dos dados climáticos, foram levantadas informações físicas e espaciais da área, incluindo dimensões dos edifícios, características da vegetação (como tipo, porte e distribuição das árvores) e classificação das superfícies e do solo. Esses dados foram essenciais para a construção de um modelo tridimensional fiel da área no software ENVI-met.

### 3.4. Cenários

Com base no conjunto de dados espaciais coletados, foram modelados dois cenários principais para a realização da simulação. O primeiro, denominado cenário base (CB), representa as condições reais atuais da praça, considerando sua configuração urbana existente, incluindo edificações, pavimentação e vegetação presente. O segundo, chamado cenário alternativo (CA), foi desenvolvido a partir da introdução de Soluções Baseadas na Natureza, com destaque para o aumento da cobertura vegetal e melhorias na arborização, visando gerar maior sombreamento e promover o resfriamento do ambiente. Os cenários estão na Figura 2.

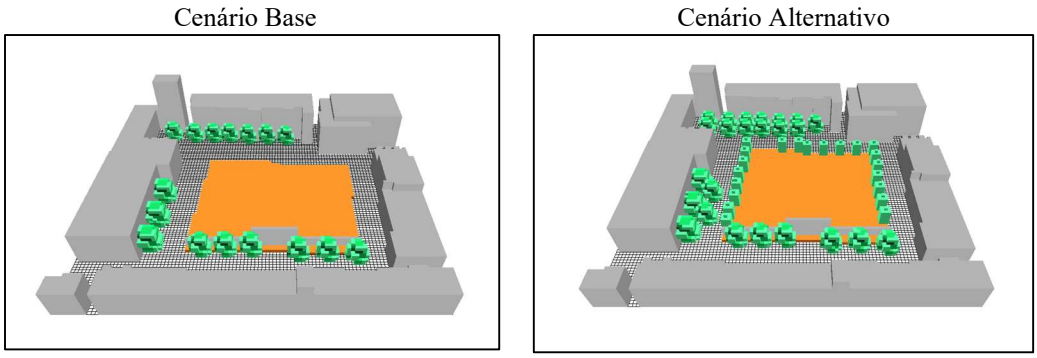



Figura 2 - Cenário Base e Alternativo.

## 3.5. Simulação no ENVI-met

As simulações foram realizadas no software ENVI-met, uma ferramenta de modelagem tridimensional de alta resolução capaz de simular com precisão processos microclimáticos complexos, tendo como principais variáveis a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a umidade e o fluxo do vento (Bruse, 2004). Os dados coletados em campo foram utilizados tanto como parâmetros de entrada quanto para a validação dos resultados do modelo. A partir do processamento dessas informações, foi possível comparar os valores simulados com os medidos, avaliando a confiabilidade das simulações e, posteriormente, analisar as diferenças entre os cenários estudados, especialmente em relação às variáveis térmicas, identificando os impactos das intervenções propostas no microclima local.

## 4. RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir das medições de campo e das simulações no ENVI-met demonstraram boa concordância entre os dados observados e simulados, indicando confiabilidade do modelo na representação das condições microclimáticas da área. De forma geral, as curvas de Ta e Tmr apresentaram comportamento semelhante ao longo dos três dias analisados, com aquecimento rápido no período da manhã, estabilização à tarde e resfriamento ao final do dia. Esse padrão também foi observado em estudos semelhantes realizados em diferentes contextos climáticos, como Maggiotto et al. (2014) e Alves (2020), reforçando a consistência dos resultados.

Estudos como os de Yang et al. (2013) e Duarte et al. (2015) indicam que modelos como o ENVI-met podem apresentar pequenas discrepâncias temporais, como superestimação em períodos noturnos e subestimação no período da tarde, comportamento também observado neste estudo. Ainda assim, a semelhança entre os padrões das curvas medidas e simuladas, também relatada por Carfan (2011), confirma a adequação do modelo para análises microclimáticas.

Quando comparados os CB e CA, foi observado uma redução da Ta no cenário com inserção de vegetação, com diferenças de -1,35°C nos períodos de maior aquecimento, e -0,61°C em horários de menor intensidade térmica. Essas reduções ocorreram principalmente nas áreas próximas às árvores inseridas no cenário alternativo, evidenciando o papel do sombreamento e da vegetação na modificação do microclima urbano.

Assim, a Ta no CB é mais elevada que no CA, na maioria dos pontos e horários, com maior diferença nas áreas onde houve a inserção de vegetação, com uma redução que geralmente ficou em torno de -1°C. Essa análise é corroborada pelo estudo de Tsoka et al. (2018), que demonstrou que a presença de árvores urbanas pode reduzir a temperatura máxima em até 1,0 °C em média. Os mapas estão na Figura 3.

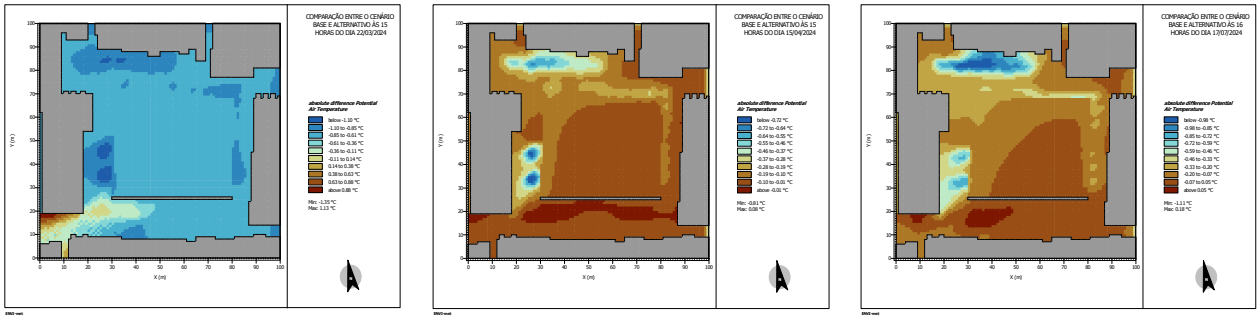


Figura 3 – Comparação de Ta entre os cenários.

Para a Tmr, as diferenças entre os cenários foram significativamente mais expressivas. As reduções chegaram a valores próximos de -39,9°C em condições de maior incidência de radiação solar, enquanto em períodos de menor carga térmica foi aproximadamente -3,2°C. Esses resultados evidenciam que a Tmr é altamente sensível à presença de obstáculos à radiação solar, como árvores e elementos urbanos, sendo diretamente influenciada pelo sombreamento gerado no CA. Os mapas estão na Figura 4.

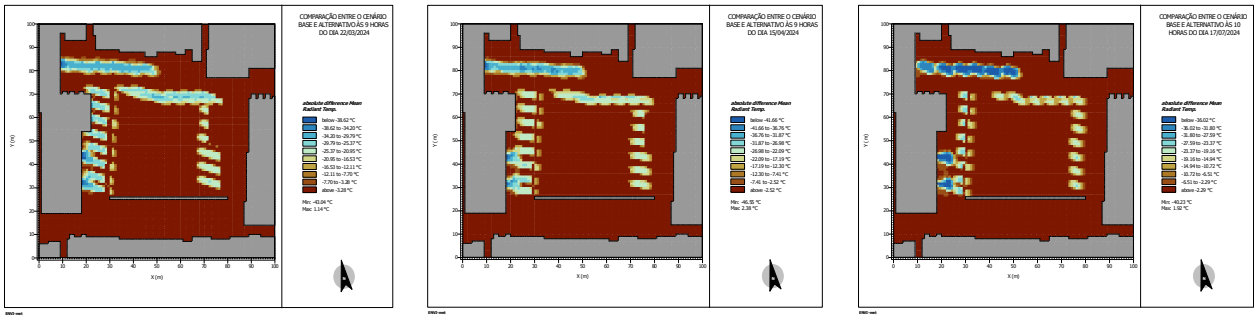


Figura 4 – Comparações de Tmr entre os cenários.

## 5. CONCLUSÕES

O estudo permitiu caracterizar o comportamento microclimático da Praça Camões e validar a aplicação do modelo ENVI-met, que apresentou boa aderência aos dados medidos, reproduzindo adequadamente as tendências térmicas ao longo dos períodos analisados. Apesar de pequenas discrepâncias pontuais, o modelo demonstrou confiabilidade para análise das variáveis microclimáticas em ambiente urbano.

A comparação entre os cenários evidenciou que a inserção de Soluções Baseadas na Natureza promoveu redução da temperatura do ar e, de forma mais significativa, da temperatura média radiante. Os resultados indicam que o sombreamento proporcionado pela vegetação é o principal fator de mitigação térmica, influenciando diretamente a redução da carga radiativa incidente e, consequentemente, o conforto térmico no espaço urbano.

Dessa forma, fica claro que intervenções baseadas no aumento da cobertura vegetal são eficazes para melhoria do microclima urbano. Os resultados reforçam a aplicabilidade dessas soluções no planejamento urbano sustentável e a importância da integração entre medições de campo e modelagem computacional para suporte à tomada de decisão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ASSIS, E. S. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade de Belo Horizonte. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, p. 21–25, 2006.

ALVES, F. M. **Modelação microclimática no contexto urbano-industrial: um caso da Zona Industrial das Cantarias (Bragança) – Portugal**. 2020. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2020.

CARFAN, A. C. **Análise de conforto térmico em áreas abertas no município de Ourinhos - SP**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BRUSE, M. **ENVI-met 3.0: updated model overview**. Bochum: University of Bochum, 2004. Disponível em: https://www.envi-met.net/documents/papers/overview30.pdf. Acesso em: 10 jul. 2024.

DUARTE, D. H. S.; SHINZATO, P.; GUSSON, C. S.; ALVES, C. A. The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. **Urban Climate**, v. 14, n. 2, p. 224–239, 2015.

FEITOSA, S. M. R.; GOMES, J. M. A.; NETO, J. M. M.; ANDRADE, C. S. P. Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina–Piauí. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 2, p. 58–75, 2011.

MAGGIOTTO, G.; BUCCOLIERI, R.; SANTO, M.; LEO, L.; SABATINO, S. Validation of temperature-perturbation and CFD-based modelling for the prediction of the thermal urban environment: The Lecce (IT) case study. **Environmental Modelling & Software**, v. 60, p. 69–83, 2014.

MONTEIRO, C. A. DE F. **Teoria e clima urbano**. n. 25. 1976. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo.

Stöberl, A. P. M., Diaz, L. T., Gadda, T. M. C., & Trajetória, L. D. **Trajetória do conceito soluções baseadas na natureza e a relação com o Brasil: Uma análise bibliográfica**. Ponta Grossa: Editora Poisson, 2019. v. 5, p. 61-73. 2019.

TSOKA, S.; TSIKALOUDaki, A.; THEODOSIOU, T. Analyzing the performance of the ENVI-met microclimate model and assessing cool materials and urban vegetation applications – A review. **Sustainable Cities and Society**, 2018.

YANG, X. et al. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. **Building and Environment**, v. 60, p. 93–104, 2013.