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.v21i1.8611

Efeitos da densidade foliar no microclima urbano: estudo de caso em uma praça pública

Effects of foliage density on the urban microclimate: a case study of a public square

Larissa Leticia Andara Ramos
Universidade Vila Velha| Vila Velha| Brasil | larissa.ramos@uvv.br
Pedro Vitório Burini Marconcini
Universidade Vila Velha| Vila Velha| Brasil | pedrovbmarconcini@gmail.com
Elias Alves Sathler
Universidade Vila Velha| Vila Velha| Brasil |eliasarq30@gmail.com
Luciana Aparecida Netto de Jesus
Universidade Federal do Espírito Santo | Vitória | Brasil | luciana.a.jesus@ufes.br
Luísa Viana Lessa Natali
Universidade Federal do Espírito Santo | Vitória | Brasil | luisa.natali@edu.ufes.br

Resumo

Este estudo analisa os efeitos microclimáticos de um espaço público urbano, com o objetivo de mitigar as ilhas de calor e os impactos das mudanças climáticas em escala local. O recorte espacial é a praça Henrique Meyerfreund, localizada no bairro Glória, em Vila Velha–ES, inserida em área urbana densa, caracterizada por baixa arborização e altas temperaturas de superfície. A metodologia baseia-se em simulações no *software* ENVI-met, nas quais foi avaliado o desempenho térmico do cenário atual e de dois cenários prospectivos com incremento de arborização, considerando árvores de copas densas e de copas esparsas. As análises compararam a temperatura do ar, a temperatura de superfície e o índice de temperatura fisiológica equivalente (PET), utilizado para avaliar a sensação térmica em ambientes externos. Os resultados indicam que o cenário com árvores de copas densas proporciona melhorias significativas no microclima, evidenciando a importância da adequada especificação de espécies arbóreas para a promoção do resfriamento e do conforto térmico.

Palavras-chave: Espaço livre público. Simulações. ENVI-met. Conforto térmico. Arborização.

Abstract

This study analyzes the microclimatic effects of an urban public space, aiming to mitigate urban heat islands and the impacts of climate change at the local scale. The spatial focus is Henrique Meyerfreund Square, located in the Glória neighborhood, in Vila Velha, Espírito Santo, Brazil, situated within a dense urban area characterized by low tree cover and high surface temperatures. The methodology is based on simulations performed using the ENVI-met software, in which the thermal performance of the current scenario and two prospective scenarios with increased tree cover were evaluated, considering dense-canopy and sparse-canopy trees. The analyses compared air temperature, surface temperature, and the Physiological Equivalent Temperature (PET) index, used to assess outdoor thermal comfort. The results indicate that the scenario with dense-canopy trees provides significant improvements in the local microclimate, highlighting the importance of appropriate tree species selection for promoting cooling and thermal comfort in urban public spaces.

Keywords: Public open space. Simulations. ENVI-met. Thermal comfort. Urban trees.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8611

INTRODUÇÃO

Os acelerados processos de urbanização, frequentemente marcados pela ausência de um planejamento urbano sustentável, transformam as dinâmicas atmosféricas das cidades ao substituir superfícies naturais por materiais impermeáveis [1]. A supressão da cobertura vegetal e sua substituição por infraestruturas cinzas e materiais com alta absorção de calor favorecem o adensamento construtivo e a formação de ilhas de calor urbanas [1] e [2]. Essas mudanças alteram o balanço energético superficial e geram ambientes externos com baixo conforto térmico, afetando a qualidade ambiental urbana [2].

Nesse contexto, a escassez de infraestrutura verde e de espaços públicos arborizados, associada à predominância de superfícies impermeáveis, intensifica a retenção de calor e o desconforto térmico dos usuários [3]. Como consequência, além dos impactos no microclima local, observa-se também aumento do consumo energético com climatização artificial nos edifícios adjacentes [3].

A arborização urbana atua na redução da temperatura do ar e da radiação incidente por meio do sombreamento e da evapotranspiração, diminuindo o ganho térmico em fachadas e coberturas [4]. Diante disso, a análise de estratégias voltadas à melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos torna-se fundamental, uma vez que a adequada inserção de espécies arbóreas pode auxiliar no equilíbrio das temperaturas, com reflexos diretos tanto no ambiente externo quanto no interior das edificações vizinhas [3,4]. Para avaliar o impacto dessas soluções e prever o comportamento microclimático local, o uso de s*oftware*s de simulações microclimáticas tem se consolidado como um recurso indispensável. A modelagem e simulação com o *software* ENVI-met possibilitam uma leitura aprofundada da interação entre atmosfera, vegetação e superfícies naturais e construídas, gerando produtos gráficos detalhados dos cenários simulados [5].

Com base nessas premissas, o presente estudo analisa, por meio de simulações microclimáticas com o *software* ENVI-met, a influência da densidade foliar da arborização no equilíbrio do microclima urbano. Para isso, utiliza-se como estudo de caso o espaço público da praça Henrique Meyerfreund, localizada no bairro Glória, município de Vila Velha–ES. As análises contemplam o cenário atual da praça e dois cenários de intervenção prospectivos com incremento da arborização: um composto por árvores de copas densas e outro por árvores de copas esparsas.

METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem quanti-qualitativa e natureza exploratória-descritiva, organizada em cinco etapas descritas na sequência:

ESTUDO E MANUSEIO DO SOFTWARE ENVI-MET

Para adaptabilidade inicial e introdução ao programa ENVI-met foram utilizados, em especial, os estudos realizados por [6], [7] e [8]. Devido à complexidade do programa,

realizou-se também uma ampla revisão de literatura sobre o seu funcionamento e aplicação, utilizando, sobretudo, os documentos didáticos elaborados por [9].

SELEÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A praça Henrique Meyerfreund, com superfície de cerca de 720 m² - situada no bairro Glória, Regional Centro do município de Vila Velha-ES (Figura 1) - foi identificada como recorte deste estudo por estar localizada em um contexto urbano de alta densidade construída e elevadas temperaturas de superfície terrestre (TST)[1]. Seu entorno é caracterizado por uso misto e gabarito predominante de dois a três pavimentos.

Figura 1: Localização de Vila Velha-ES, do bairro Glória e da praça Henrique Meyerfreund



Fonte: Desenvolvidos pelos autores com imagens extraídas do Google Earth, 2025.

MODELAGEM DA PRAÇA E DO ENTORNO

As investigações foram conduzidas por meio de simulações computacionais utilizando o *software* de modelagem microclimática ENVI-met, em sua versão Student 5.9.0. A área de estudo foi configurada em um domínio tridimensional com dimensões de 90 m de largura x 90 m de comprimento, abrangendo a praça e seu entorno imediato, delimitado a partir de imagens de satélite extraídas do *Google Earth*, utilizando um arquivo *bitmap* para a entrada de dados.

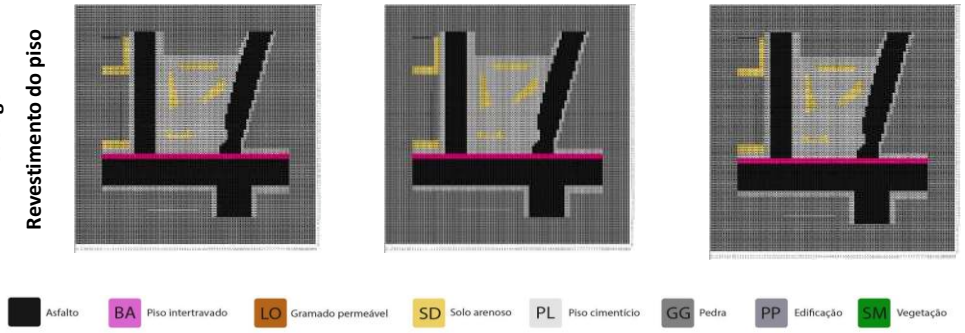
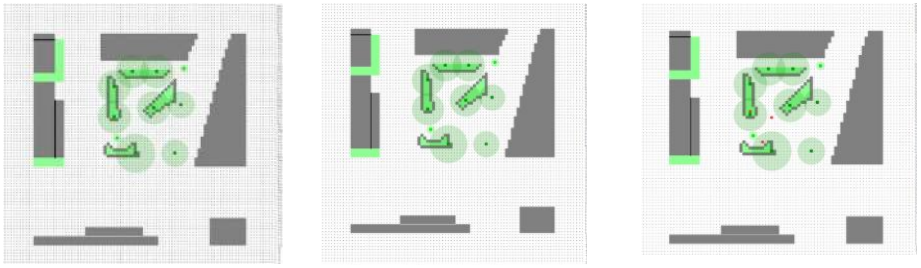
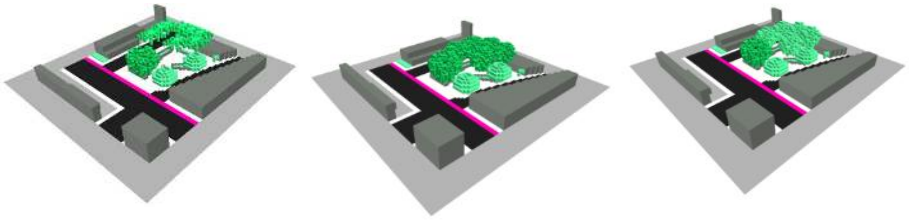
A malha de simulação (90 × 90 × 30 células) adotou a resolução espacial uniforme de 1 metro para garantir maior precisão. Foram modelados três cenários: o Cenário Real (CR), representando a configuração original da praça, além de dois cenários prospectivos de intervenção (C1 e C2). A praça apresenta, em seu Cenário Real (CR), oito palmeiras, duas árvores de pequeno porte e três árvores de médio porte, em uma área permeável de cerca de 12%. O Cenário 1 (C1) considerou a mesma área permeável, porém foram substituídas as palmeiras por cinco árvores de médio porte com copas densas, visando maior sombreamento. Já o Cenário 2 (C2) manteve a

[1]A Temperatura de Superfície Terrestre mede o calor irradiado pela superfície do solo e é utilizada em pesquisas sobre os impactos da urbanização no clima local. É um indicador na avaliação sobre ilhas de calor urbanas [10], fenômeno que apresenta temperaturas mais elevadas em áreas densamente construídas quando comparadas às zonas periféricas da cidade.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8611

quantidade e posicionamento das árvores do C1, porém foram introduzidas árvores de médio porte com copas esparsas, permitindo avaliar especificamente o efeito da densidade foliar em comparação ao CR .

Quadro 1- Composição e modelagem dos cenários

Cenário	CR	C1	C2
Modelagem Revestimento do piso			
Modelagem da vegetação			
Modelagem 3D			
Composição da arborização	**8 palmeiras imperiais** ***(palms, large trunk, dense, 15m)*** 2 árvores de pequeno porte (spherical, small trunk, sparse, 5m) 1 árvore de médio porte *(jacaranda mimosifolia, legacy, 12m)* 1 árvore de médio porte *(heart-shaped, small trunk, 15m)*	**5 árvores densas de médio porte** ***(spherical, medium trunk, dense, 15m)*** 2 árvores de pequeno porte (spherical, small trunk, sparse, 5m) 1 árvore de médio porte *(jacaranda mimosifolia, legacy, 12m)* 1 árvore de médio porte *(heart-shaped, small trunk, 15m)*	**5 árvores densas de médio porte (spherical, medium trunk, sparsa, 15m)** 2 árvores de pequeno porte (spherical, small trunk, sparse, 5m) 1 árvore de médio porte *(jacaranda mimosifolia, legacy, 12m)* 1 árvore de médio porte *(heart-shaped, small trunk, 15m)*

Fonte: Autores através do *software* ENVI-Met, 2026.

SIMULAÇÕES DOS CENÁRIOS

Para simulações dos cenários foram configurados os parâmetros climáticos de temperatura e umidade do ar, além da velocidade e direção dos ventos fornecidas, respectivamente, pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a Estação Automática de Vitória “A612” e pela Plataforma Nacional *Projeteee* - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. A data escolhida para as simulações foi 14 de fevereiro de 2025, considerado o dia mais quente daquele ano, sendo realizada uma

simulação de 28 horas, iniciada às 20h do dia anterior. As primeiras quatro horas foram descartadas por entender que nesse período o programa estava se estabilizando.

ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS

Após a simulação dos cenários, foram gerados mapas comparativos por meio do *plugin* Leonardo. Neste artigo, são analisados os parâmetros: Temperatura do ar, Temperatura de superfície e o índice de Temperatura Equivalente Fisiológica, conhecido como PET *(Physiological Equivalent Temperature)* - parâmetro utilizado para avaliação do grau de conforto térmico em ambientes externos. As análises contemplaram os horários de 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h, abrangendo os períodos de manhã, tarde e noite.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

TEMPERATURA DO AR

A análise da temperatura do ar no interior da praça (Tabela 1, Gráfico 1 e Figura 2) evidencia variações significativas entre os cenários avaliados, sobretudo nos períodos de maior aquecimento ao longo do dia. No início da manhã (6h), as temperaturas do ar mantêm-se semelhantes entre os cenários, indicando comportamento térmico equivalente, quando a influência direta da radiação solar ainda é reduzida. A partir das 9h, as diferenças entre os cenários tornam-se mais evidentes, especialmente em relação ao cenário real (CR). Nesse horário, CR apresenta temperatura média do ar de 26,04°C, enquanto C1 e C2 registram valores inferiores, de 25,30 °C e 25,34 °C, respectivamente, correspondendo a reduções de 0,74 °C para o C1 e 0,71 °C para o C2.

Tabela 1. Comparação das temperaturas do ar registradas na simulação dos cenários.

TEMPERATURA DO AR										
HORÁRIO		**6h**			**9h**			**12h**		
CENÁRIOS		**CR**	**C1**	**C2**	**CR**	**C1**	**C2**	**CR**	**C1**	**C2**
PRAÇA	MÍN (°C)	23,77	24,23	24,23	25,46	25,09	25,12	33,5	32,53	32,6
	MAX (°C)	24,2	24,41	24,41	27,99	25,78	25,81	35,91	33,18	33,32
	MÉD (°C)	**24,1**	**24,29**	**24,3**	**26,04**	**25,3**	**25,34**	**34,24**	**32,82**	**32,95**
	ΔT MED x CR (°C)		**0,19**	**0,2**		**-0,74**	**-0,7**		**-1,42**	**-1,29**
HORÁRIO		**15h**			**18h**			**21h**		
CENÁRIOS		**CR**	**C1**	**C2**	**CR**	**C1**	**C2**	**CR**	**C1**	**C2**
PRAÇA	MÍN (°C)	35,59	34,53	34,56	32,27	31,93	31,94	28,94	28,93	28,96
	MAX (°C)	37,67	35,33	35,44	32,81	32,21	32,23	29,2	28,99	29,01
	MÉD (°C)	**36,14**	**34,82**	**35,01**	**32,56**	**32,05**	**32,12**	**29,12**	**28,96**	**28,98**
	ΔT MED. x CR (°C)		**-1,32**	**-1,13**		**-0,51**	**-0,44**		**-0,16**	**-0,14**

* Variação quando comparado com o cenário real (CR)

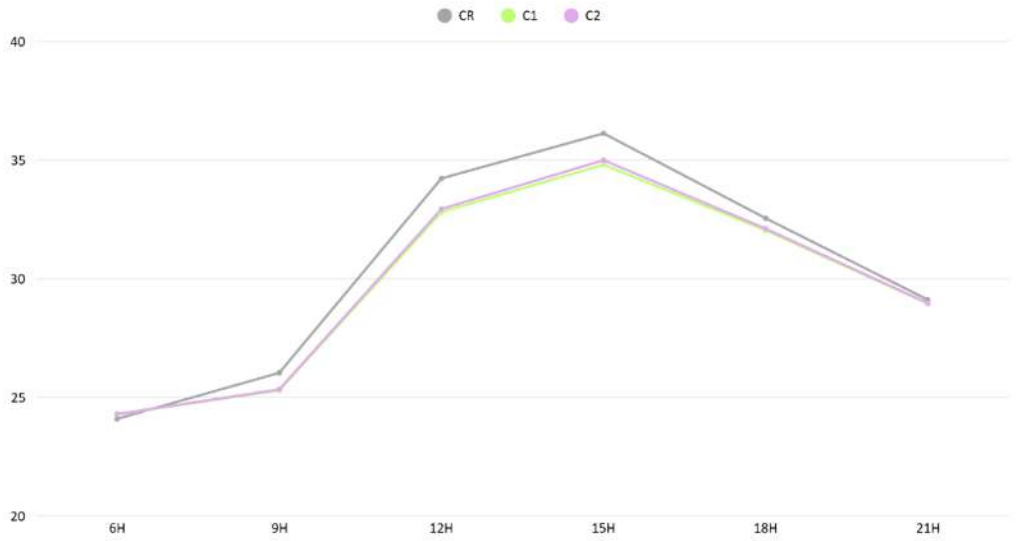
Fonte: Autores, 2026 com base nas simulações no ENVI-met.

O cenário C1, caracterizado pela presença de árvores de copa densa, apresenta o melhor desempenho térmico, destacando-se principalmente nos horários de maior carga térmica (12h e 15h). Nesse período, a temperatura do ar no C1 é inferior à do CR em 1,42 °C às 12h e 1,32 °C às 15h, além de apresentar valores inferiores ao C2 em

0,13 °C às 12h e 0,19 °C às 15h. Tal comportamento pode estar associado à maior capacidade das copas densas de promover sombreamento e evapotranspiração, mecanismos fundamentais para a mitigação do aquecimento urbano.

Embora o cenário C2, composto por árvores de copa esparsa, apresente menor eficiência térmica quando comparado ao C1, os resultados demonstram melhorias relevantes quando comparado a CR. As reduções de temperatura do ar observadas (1,29 °C às 12h e 1,13 °C às 15h em relação ao CR) indicam que mesmo configurações arbóreas menos densas contribuem para o equilíbrio térmico, sobretudo durante o período de maior incidência solar. O Gráfico 1 indica que, no período noturno, CR e C1 apresentam quedam mais acentuadas de temperatura devido à dissipação mais rápida do calor, enquanto a vegetação densa tende a reter calor, retardando essa dissipação [11]. Apesar desse efeito noturno, as copas densas promovem reduções mais expressivas de temperatura nos horários mais quentes do dia.

Gráfico 1: Comparação da temperatura média do ar nos cenários CR, C1 e C2.

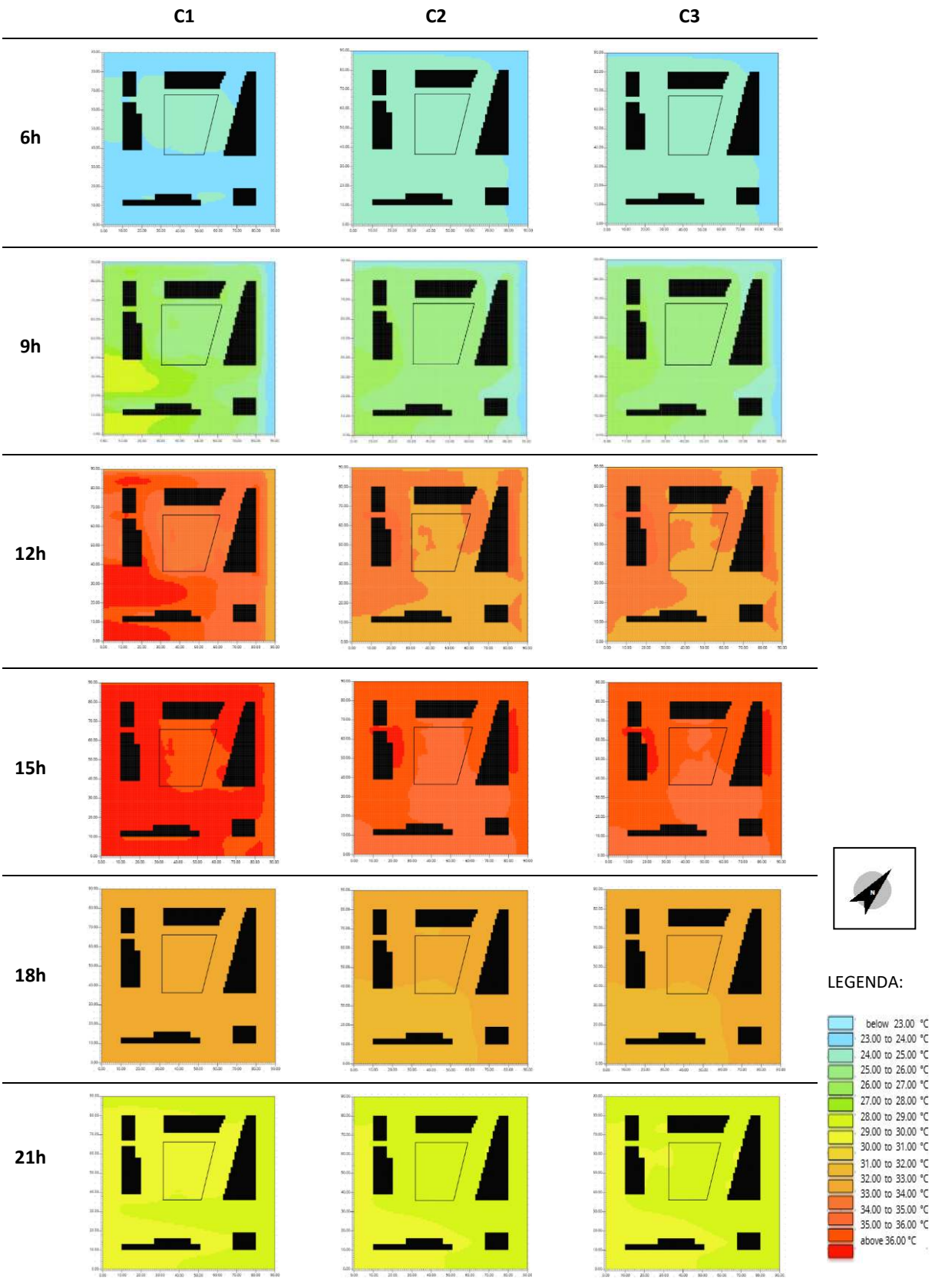


Fonte: Autores, com base nas simulações no ENVI-met, 2026.

No final da tarde (às 18h), as diferenças de temperatura do ar entre os cenários tornam-se menores, embora ainda observáveis, com reduções de 0,51 °C no C1 e 0,44 °C no C2 em relação ao CR. À noite (21h), com a diminuição da radiação solar e o resfriamento das superfícies, os três cenários passam a apresentar temperaturas semelhantes, indicando que o efeito da densidade foliar sobre a temperatura do ar é mais expressivo durante o dia, quando os processos radiativos e evaporativos são mais intensos. Também é possível observar tais variações nos mapas da Figura 3, nos quais, em especial nos horários mais quentes, a temperatura do ar nos cenários C1 e C2 é inferior e representada por uma colocação mais clara, sobretudo sob as copas das árvores.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8611

Figura 3: Resultados ilustrados em mapas de densidade de calor da simulação da temperatura do ar nos horários de 6h, 9h, 12h, 15, 18h e 21h do Cenário Real (CR), Cenário 1 (C1) e Cenário 2 (C2)



Fonte: Autores, por meio do software ENVI-Met e do plugin Leonardo, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8611

TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

A análise da temperatura de superfície evidencia diferenças expressivas entre os cenários avaliados (Tabela 2, Gráfico 2 e Figura 3), especialmente ao longo do período diurno, quando a incidência solar é mais intensa. No início da manhã (6h), os cenários arborizados (C1 e C2) apresentam temperaturas superficiais ligeiramente superiores a CR . Nesse horário, CR registra temperatura média de superfície de 22,29 °C, enquanto os cenários C1 e C2 apresentam valores de 23,28 °C e 23,12 °C, correspondendo a acréscimos de 0,99 °C e 0,83 °C, respectivamente. A partir das 9h, as diferenças entre os cenários tornam-se mais pronunciadas e passam a ressaltar o efeito positivo da arborização na redução da temperatura de superfície. Nesse horário, CR apresenta temperatura média de 31,40 °C, enquanto C1 e C2 registram 28,24 °C e 29,13 °C, simultaneamente, representando reduções de 3,16 °C no C1 e 2,27 °C no C2 em relação a CR (Tabela 2).

Tabela 2. Comparação das temperaturas de superfície registradas na simulação dos cenários

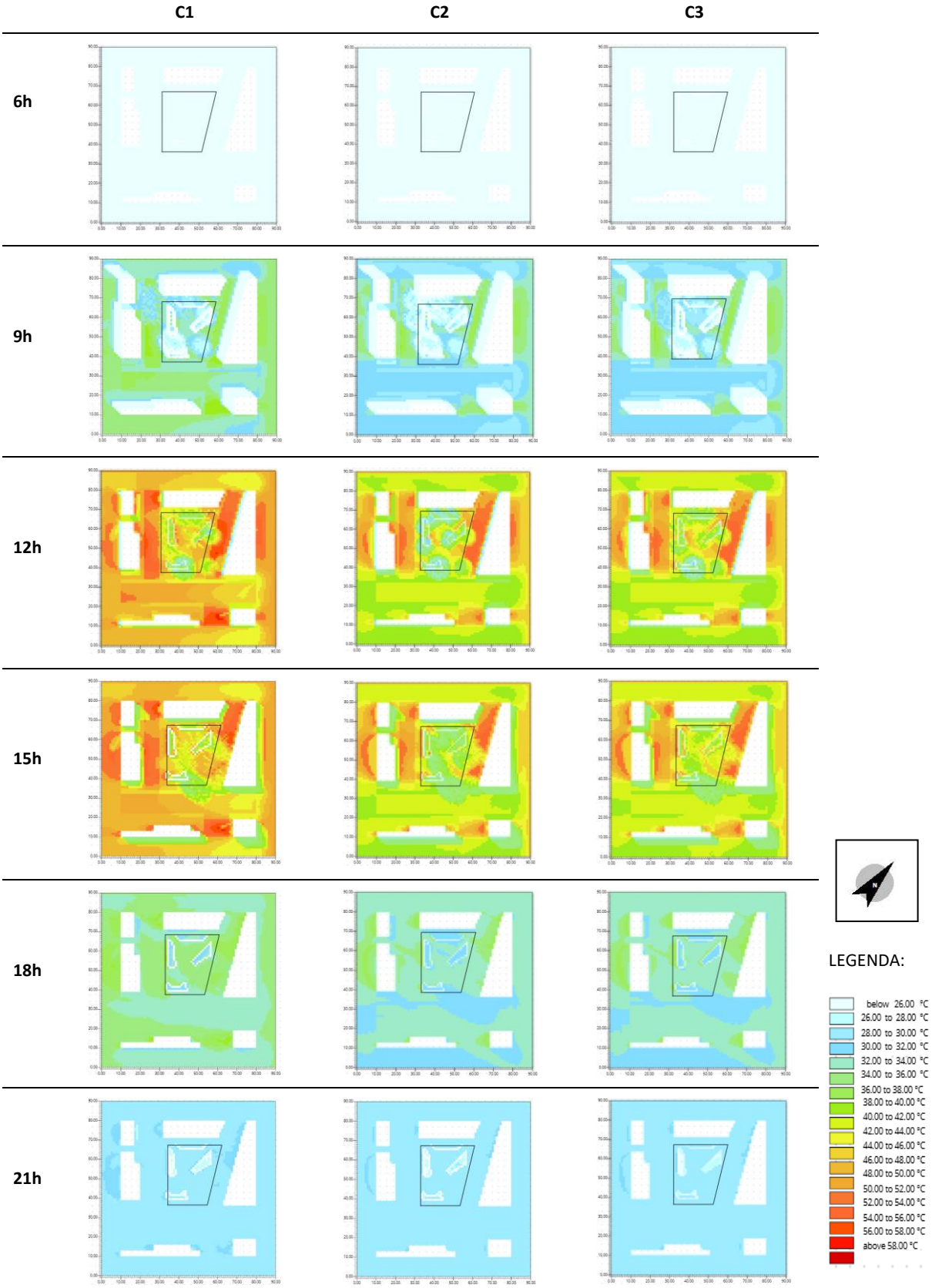
TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE										
HORÁRIO		**6h**			**9h**			**12h**		
CENÁRIOS		**CR**	**C1**	**C2**	**CR**	**C1**	**C2**	**CR**	**C1**	**C2**
PRAÇA	MÍN (°C)	18,8	19,47	19,05	22,13	22,24	22,43	33,37	31,09	32,5
	MAX (°C)	23,84	24,08	24,06	38,75	37,31	37,54	55,35	52,72	53,39
	MÉD (°C)	22,29	23,28	23,12	31,4	28,24	29,13	43,52	39,76	41,06
	ΔT MED x CR (°C) *		**0,99**	**0,83**		**-3,16**	**-2,27**		**-3,76**	**-2,46**
TEMPERATURA DE SUPERFICIE										
HORÁRIO		**15h**			**18h**			**21h**		
CENÁRIOS		**CR**	**C1**	**C2**	**CR**	**C1**	**C2**	**CR**	**C1**	**C2**
PRAÇA	MÍN (°C)	34,87	33,63	34,28	31,2	30,18	30,87	25,51	25,74	25,57
	MAX (°C)	50,72	49,24	49,82	37,67	36,29	36,42	30,62	29,96	30,02
	MÉD (°C)	44,08	38,85	41,34	34,2	32,38	32,95	29,08	28,71	28,76
	ΔT MED x CR (°C) *		**-5,23**	**-2,74**		**-1,82**	**-1,25**		**-0,37**	**-0,32**
* Variação quando comparado com o cenário real (CR)										

Fonte: Autores, com base nas simulações no ENVI-met, 2026.

Às 12h, a temperatura média de superfície no C1 é de 39,76 °C, valor 3,76 °C inferior ao observado no CR e 1,30 °C inferior ao C2. Esse comportamento mantém-se às 15h, quando C1 apresenta redução de 5,23 °C em relação ao CR, enquanto C2 apresenta redução de 2,74 °C, evidenciando que o sombreamento arbóreo limita a absorção direta da radiação solar pelas superfícies pavimentadas, com maior eficiência das copas densas (C1) na redução do aquecimento das superfícies expostas. As reduções de temperatura de superfície observadas indicam que a presença de arborização, mesmo com copas esparsas, contribui de forma relevante para o equilíbrio térmico das superfícies, reduzindo o acúmulo de calor durante as horas mais quentes do dia.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8611

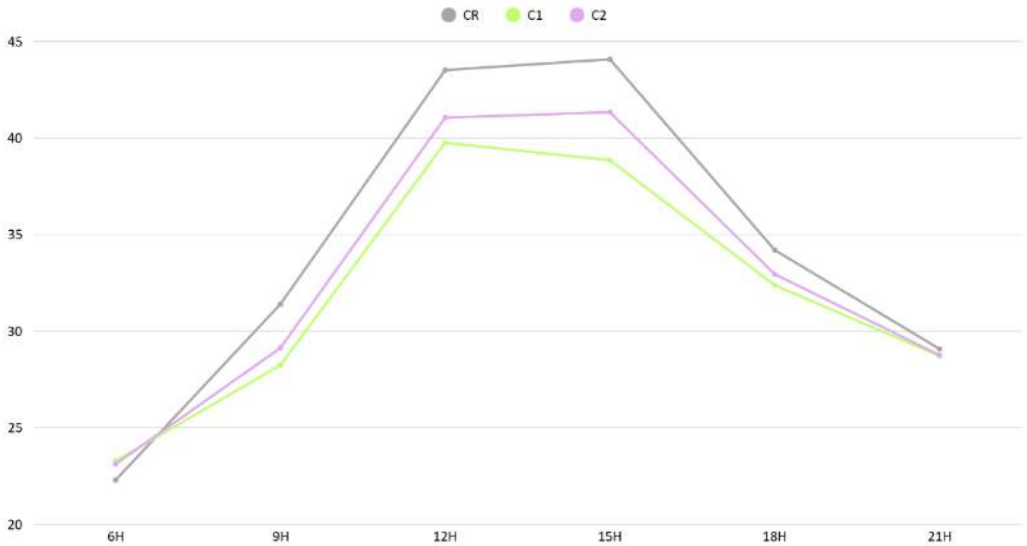
Figura 3: Resultados ilustrados em mapas de densidade de calor da simulação da temperatura de superfície nos horários de 6h, 9h, 12h, 15, 18h e 21h dos Cenário Real (CR), Cenário 1 (C1) e Cenário 2 (C2)



Fonte: Autores, por meio do software ENVI-Met e do plugin Leonardo, 2026.

No início da noite (18h), as diferenças entre os cenários tornam-se menos acentuadas, embora ainda evidentes, com reduções de 1,82 °C no C1 e 1,25 °C no C2 em relação ao CR. Às 21h, com a diminuição da radiação solar e o início do resfriamento das superfícies, os cenários passam a apresentar valores mais próximos, com reduções inferiores a 0,40 °C, em relação ao CR. Esse comportamento indica que o efeito da arborização, bem como da densidade foliar sobre a temperatura de superfície é predominantemente diurno, sendo diretamente condicionado pela incidência solar e pelo sombreamento arbóreo.

Gráfico 2: Comparação da temperatura de superfície nos cenários CR, C1 e C2.



Fonte: Autores, com base nas simulações no ENVI-met, 2026.

TEMPERATURA EQUIVALENTE FISIOLOGICA (PET)

O conforto térmico em espaços urbanos abertos não pode ser avaliado apenas pela temperatura do ar ou da superfície, pois envolve a interação entre variáveis ambientais e respostas fisiológicas. Por isso, este estudo apresenta também os resultados da simulação do índice da Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) para os três cenários. O PET integra variáveis meteorológicas e características fisiológicas humanas, sendo especialmente sensível ao sombreamento e à configuração da vegetação urbana, o que justifica seu uso em estudos de conforto térmico e planejamento urbano em espaços externos [8] e [12].

Sendo assim, a análise do PET evidencia diferenças substanciais entre os cenários, sobretudo durante os períodos de maior carga térmica (Tabela 3, Gráfico 3 e Figura 4). Os resultados reforçam que a substituição das palmeiras por uma composição arbórea promove redução significativa do estresse térmico percebido pelos usuários, com destaque para C1. No início da manhã (6h), os valores médios de PET situam-se próximos entre os cenários. A partir das 9h, as diferenças tornam-se mais expressivas, com CR apresentando PET médio de 43,71 °C, enquanto C1 e C2 registram valores inferiores correspondendo a 37,46 °C e 39,02 °C, respectivamente. Embora ainda altos, correspondem a reduções expressivas das temperaturas equivalentes em 6,25 °C no C1 e 4,69 °C no C2, em comparação a CR.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8611

Tabela 3. Análise do PET registrados na simulação dos cenários

TEMPERATURA EQUIVALENTE FISIOLOGICA (PET)										
HORÁRIO		6h			9h			12h		
CENÁRIOS		CR	C1	C2	CR	C1	C2	CR	C1	C2
PRAÇA	MÍN (°C)	25,68	25,14	25,17	30,24	28,56	29,52	38,41	36,74	36,8
	MAX (°C)	28,54	28,65	28,6	58,31	58,53	58,17	58,14	58,21	58,36
	MÉD (°C)	26,9	26,71	26,7	43,71	37,46	39,02	50,11	45,2	47,44
	ΔT MED x CR (°C) *		**-0,19**	**-0,2**		**-6,25**	**-4,69**		**-4,91**	**-2,67**
TEMPERATURA EQUIVALENTE FISIOLOGICA (PET)										
HORÁRIO		15h			18h			21h		
CENÁRIOS		CR	C1	C2	CR	C1	C2	CR	C1	C2
PRAÇA	MÍN (°C)	39,41	38,26	38,67	34,83	33,94	33,98	30,08	29,4	29,43
	MAX (°C)	58,69	58,76	58,44	37,67	37,1	37,17	33,44	32,98	33,14
	MÉD (°C)	50,59	42,74	47,04	35,73	34,8	34,93	31,14	30,79	30,66
	ΔT MED x CR (°C) *		**-7,85**	**-3,55**		**-0,93**	**-0,8**		**-0,35**	**-0,48**
* Variação quando comparado com o cenário real (CR)										

Fonte: Autores, com base nas simulações no ENVI-met, 2026.

Nos horários de maior aquecimento (12h e 15h), as diferenças entre os cenários são mais acentuadas. Às 12h, o PET médio no CR indica estresse térmico extremo (50,11 °C), enquanto C1 e C2 registram 45,20 °C e 47,44 °C, com reduções de 4,91 °C e 2,67 °C, respectivamente, em relação a CR. Às 15h, C1 apresenta o melhor desempenho térmico, com PET médio de 42,74 °C, reduzindo 7,85 °C em relação ao CR, enquanto C2 a redução é de 3,55 °C, evidenciando redução significativa do desconforto térmico, sobretudo em C1.

No início da noite (18h), o PET diminui em todos os cenários, acompanhando a redução da carga térmica ambiental: CR registra 35,73 °C, enquanto C1 e C2 apresentam 34,80 °C e 34,93 °C, com reduções inferiores a 1 °C. Às 21h, os valores tornam-se ainda mais próximos, com diferenças inferiores a 0,50 °C.

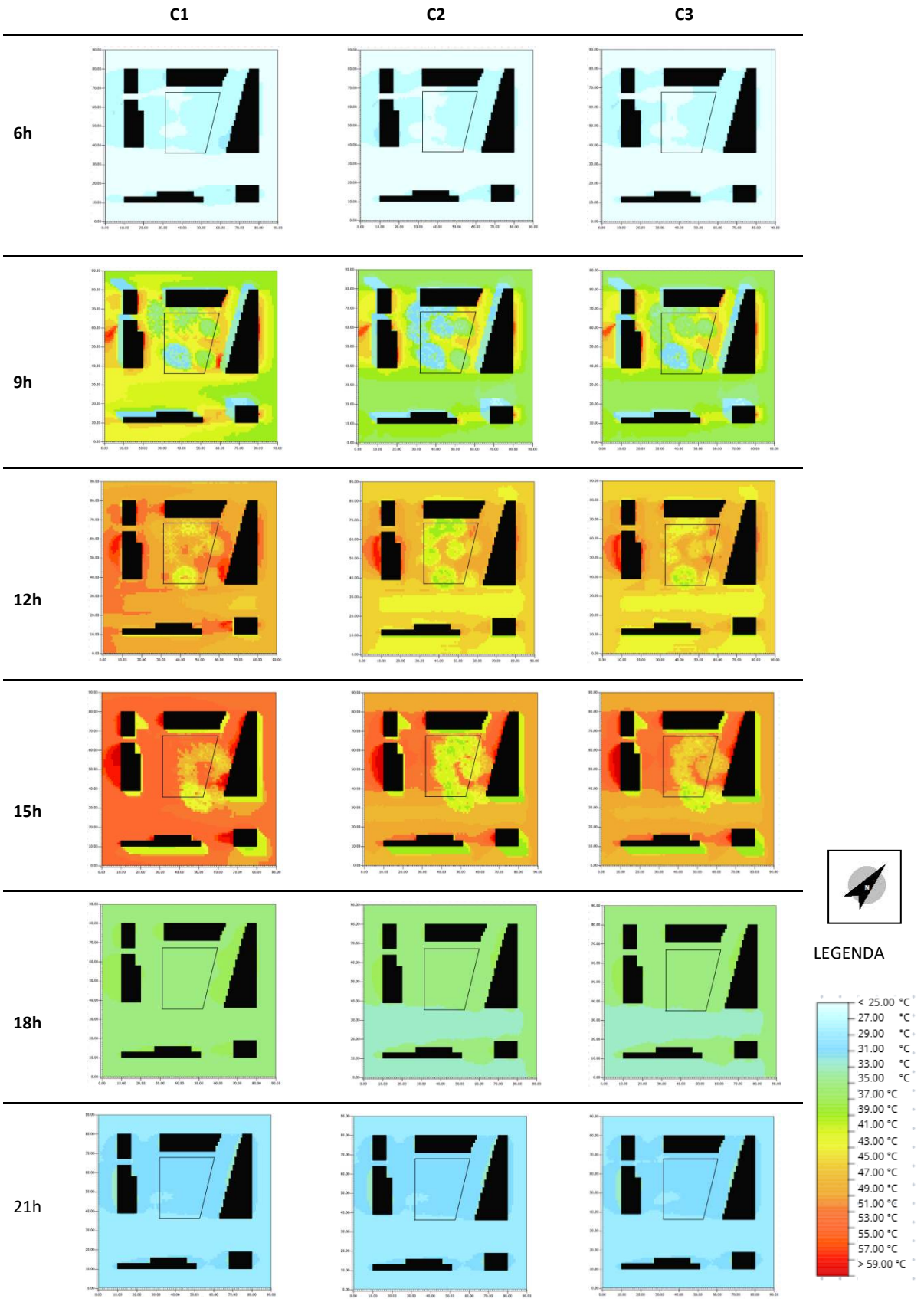
Gráfico 3: Comparação do PET nos cenários CR, C1 e C2.



Fonte: Autores, com base nas simulações no ENVI-met, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8611

Figura 4: Resultados ilustrados em mapas de densidade de calor da simulação do índice PET nos horários de 6h, 9h, 12h, 15, 18h e 21h do Cenário Real (CR), Cenário 1 (C1) e Cenário 2 (C2)



Fonte: Autores, por meio do software ENVI-Met e do plugin Leonardo, 2026.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo utilizou o *software* ENVI-met para avaliar o impacto da arborização e da densidade foliar no conforto térmico da praça Henrique Meyerfreund, município de Vila Velha–ES, com foco no resfriamento microclimático e na redução das ilhas de calor urbana. A comparação entre o Cenário Real (CR) e os cenários prospectivos de intervenção (C1 e C2) destaca os efeitos da densidade foliar e evidencia a eficácia da arborização na melhoria das condições microclimáticas .

O Cenário 1 (C1), caracterizado por árvores de copas densas, apresentou desempenho térmico superior ao longo do dia. A densidade foliar mais densa proporcionou sombreamento mais eficiente e maior evapotranspiração, resultando em melhor equilíbrio do microclima, sobretudo no horário de maior carga térmica (15h), com uma diminuição da temperatura do ar (1,32°C), da temperatura de superfície (5,23°C) e do índice PET (7,85°C). Esses resultados reforçam o papel do sombreamento arbóreo, em especial de árvores de copas mais densas, no resfriamento urbano ao interceptar a radiação solar.

O Cenário 2 (C2), apesar de apresentar melhorias em relação ao CR, mostrou-se menos eficiente que C1 devido ao maior Fator de Visão do Céu (SVF), proporcionado pela menor densidade foliar, que favorece maior penetração da radiação solar e, consequentemente, elevação das temperaturas. Embora as árvores de copas densas possam retardar a dissipação do calor no período noturno, seu desempenho é mais eficaz nos horários de maior estresse térmico.

Os resultados indicam que o índice PET responde de forma mais sensível às alterações no balanço radiativo do ambiente do que a temperatura do ar isoladamente, sendo diretamente influenciado pela redução da temperatura radiante média promovida pelo sombreamento arbóreo. Dessa forma, o melhor desempenho do cenário C1 ressalta a importância da densidade foliar no planejamento de espaços livres públicos e reforça a necessidade de uma adequada especificação, nos projetos paisagísticos de praças, de espécies arbóreas locais de porte médio e copas densas, como Oiti, Aroeira e Pau-ferro.

Conclui-se que a priorização de espécies arbóreas com copas densas é uma estratégia eficiente e de baixo custo para mitigar o efeito de ilha de calor urbana, favorecendo melhores condições de conforto térmico e, consequente, maior permanência dos usuários em espaços livres. Sendo assim, este estudo contribui cientificamente ao evidenciar, por meio de simulações microclimáticas, a influência da densidade foliar no equilíbrio térmico de espaços livres públicos, oferecendo subsídios técnicos para a gestão urbana, especialmente no que se refere ao planejamento paisagístico e às estratégias de resfriamento sobretudo em contextos urbanos densos. Como perspectiva para pesquisas futuras, sugere-se a análise de outras tipologias arbóreas e de cenários que integrem permeabilidade do solo e diferentes tipologias de vegetação, ampliando a compreensão de seus efeitos no microclima urbano.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Vila Velha, pelo apoio institucional, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), pelo financiamento da pesquisa, e ao Grupo de Pesquisa “Paisagem Urbana e Inclusão”, pelo suporte acadêmico e científico.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram a versão gratuita da ferramenta ChatGPT para revisar e aprimorar a coesão de alguns trechos do texto, bem como para auxiliar na tradução para o inglês do título, resumo e palavras-chave. 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] DIAS, M. B. G.; NASCIMENTO, D. T. F. Clima urbano e ilhas de calor: aspectos teórico-metodológicos e estudo de caso. **Fórum Ambiental da Alta Paulista,** [S. l.], v. 10, n. 12, p. 27-41, 2014.

[2] LOMBARDO, M. A.; FRUEHAUF, A. . L.; PELLEGRINO, P. R. M. Clima urbano nas metrópoles e seus impactos ambientais. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 434–448, 2022.

[3] ALMEIDA JUNIOR, N. L. **Estudo de clima urbano: uma proposta metodológica**. 2005. 94 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

[4] OKE, T. R. **The energetic basis of the urban heat island**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 108, n. 455, p. 1-24, 1982.

[5] ENVI-met . **ENVI-met: microclimate modeling software**. Essen, Alemanha, [s.d.]. Disponível em: https://envi-met.com/. Acesso em: 19 abr. 2026.

[6] DE OLIVEIRA, H. F.; RAMOS, L. L. A. Contribuição da praça para o microclima urbano. **MIX Sustentável,** 8(3), 55–66. 2022.

[7] OLIVEIRA, Hyria Fraga, M.Sc., Universidade Vila Velha - ES, março de 2021. **Microclima urbano e espaços livres de uso** público: A influência da praça em áreas adensadas.

[8] SOARES OLA, C. G.; ANDARA, L. L.; NETTO DE JESUS, L. A. Praça e microclima urbano: Simulações de temperatura do ar em cenário pré e pós-reforma. In: ENTAC, 20., 2024. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2024.

[9] SILVA, C. F. e *et al*. **Simulação microclimática com o ENVI-met 5.0: guia metodológico**. 1. ed. Brasília: Universidade de Brasília (UnB), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), Laboratório de Sustentabilidade Aplicada à Arquitetura e ao Urbanismo (LaSUS), 2022.

[10] SOUZA, L. F. et al. Estudo da temperatura superficial terrestre e suas implicações para as ilhas de calor urbanas: Uma análise para o município de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 13, n. 2, p. 489-504, 2020.

[11] TAHA, H.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H. Heat island and oasis effects of vegetative canopies: micro-meteorological field-measurements. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 44, n. 2, p. 123-138, 1991.

[12] HÖPPE, P. **The physiological equivalent temperature** – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. 1999