

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CAMPO TÉRMICO URBANO
EM CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS: ESTUDO DE CASO EM VIÇOSA,
MINAS GERAIS**

Saraline Eduarda da Silva
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

SARALINE EDUARDA DA SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CAMPO TÉRMICO URBANO
EM CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS: ESTUDO DE CASO EM VIÇOSA,
MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Clarissa Ferreira Albrecht

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S586a
2025
Silva, Saraline Eduarda da, 1994-
Análise da influência da vegetação na regulação térmica
urbana em cenários climáticos futuros: estudo de caso em
Viçosa, Minas Gerais / Saraline Eduarda da Silva. – Viçosa, MG,
2025.

1 dissertação eletrônica (119 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Clarissa Ferreira Albrech.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2025.

Referências bibliográficas: f. 109-115.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.316>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Microclimatologia - Viçosa (MG). 2. Climatologia
urbana - Viçosa (MG). 3. Ilha de calor urbana - Viçosa (MG).
4. Vegetação urbana - Viçosa (MG). 5. Mudanças climáticas -
Viçosa (MG). I. Albrech, Clarissa Ferreira, 1981-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDD 22. ed. 551.66098151

SARALINE EDUARDA DA SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CAMPO TÉRMICO URBANO
EM CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS: ESTUDO DE CASO EM VIÇOSA,
MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de fevereiro de 2025.

Assentimento:

Saraline Eduarda da Silva
Autora

Clarissa Ferreira Albrecht
Orientadora

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 19/05/2025 às 12:58:41 e pela orientadora em 19/05/2025 às 17:33:58. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **UVNY.JV4J.FUNS** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e amigos.

À orientadora Clarissa Ferreira Albrecht.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Aos pesquisadores do Laboratório de Tecnologias em Conforto Ambiental e Eficiência Energética pelo auxílio no desenvolvimento da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

SILVA, Saraline Eduarda da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2025. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CAMPO TÉRMICO URBANO EM CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS: ESTUDO DE CASO EM VIÇOSA, MINAS GERAIS.** Orientadora: Clarissa Ferreira Albrecht.

As cidades enfrentam impactos socioambientais crescentes decorrentes das mudanças climáticas, com projeções de aumento de temperatura acima de 2°C até o fim do século XXI. Nesse cenário, a vegetação urbana se configura como estratégia essencial de mitigação e regulação térmica. Portanto, este estudo buscou analisar a influência da vegetação no campo térmico de um trecho central da malha urbana de Viçosa (MG), a Avenida Peter Henry Rolfs, no microclima atual (2023 e 2024) e em cenário futuro projetados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). A pesquisa foi conduzida em duas etapas: coleta de dados climáticos reais com instrumentos fixos e transecto móvel; e simulações microclimáticas no ENVI-met, baseadas nas projeções futuras de aquecimento, contemplando três tipologias vegetais: arborização viária, cobertura e fachadas vegetadas. Os dados de campo revelaram aumento térmico significativo em relação aos registros do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, sobretudo no verão, quando a temperatura do ar (T) atingiu 32,34°C no ponto mais crítico (diferença de 5,49°C). A umidade relativa do ar (UR) diminuiu, chegando a 47,05%, 18,45% abaixo dos valores de referência. As simulações futuras indicaram intensificação do aquecimento, com T média de até 43°C e UR próxima a 32%. As imagens termográficas mostraram que a ventilação exerce papel decisivo na distribuição da umidade, transportando a UR gerada pela lagoa próxima para fora da malha urbana, enquanto riachos internos apresentaram maior eficácia na regulação microclimática. As intervenções simuladas indicaram efeitos moderados, com variações térmicas inferiores a 1°C e aumentos modestos de UR, sugerindo a necessidade de maior detalhamento no tipo, densidade e distribuição da vegetação. Os resultados reforçam a importância de um planejamento urbano sustentável que vá além da introdução de áreas verdes, incorporando fatores de caracterização da vegetação e conectividade ecológica entre os espaços vegetados, voltadas à adaptação climática e resiliência das cidades.

Palavras-chave: microclima urbano; vegetação urbana; mudanças climáticas; simulações microclimáticas

ABSTRACT

SILVA, Saraline Eduarda da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2025. **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VEGETATION ON THE URBAN THERMAL FIELD IN FUTURE CLIMATE SCENARIOS: CASE STUDY IN VIÇOSA, MINAS GERAIS (BRAZIL)**. Adviser: Clarissa Ferreira Albrecht.

Cities face increasing socio-environmental impacts resulting from climate change, with projections of temperature increases above 2°C by the end of the 21st century. In this scenario, urban vegetation is an essential strategy for mitigation and thermal regulation. Therefore, this study sought to analyze the influence of vegetation on the thermal field of a central section of the urban network of Viçosa (Brazil), Avenida Peter Henry Rolfs, in the current microclimate (2023 and 2024) and in future scenarios projected by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The research was conducted in two stages: collection of real climate data with fixed instruments and mobile transect; and microclimate simulations in ENVI-met, based on future warming projections, contemplating three plant typologies: street trees, roofs and vegetated facades. Field data revealed a significant increase in temperature compared to the records of the National Institute of Meteorology (INMET), especially in summer, when the air temperature (T) reached 32.34°C at the most critical point (a difference of 5.49°C). Relative humidity (RH) decreased, reaching 47.05%, 18.45% below the reference values. Future simulations indicated an intensification of warming, with an average T of up to 43°C and RH close to 32%. Thermographic images showed that ventilation plays a decisive role in the distribution of humidity, transporting the RH generated by the nearby lagoon out of the urban area, while internal streams were more effective in microclimate regulation. Simulated interventions indicated moderate effects, with thermal variations of less than 1°C and modest increases in RH, suggesting the need for greater detail in the type, density and distribution of vegetation. The results reinforce the importance of sustainable urban planning that goes beyond the introduction of green areas, incorporating factors of vegetation characterization and ecological connectivity between vegetated spaces, aimed at climate adaptation and resilience of cities.

Keywords: urban microclimate; urban vegetation; climate change; microclimate simulations

APRESENTAÇÃO

A presente dissertação, insere-se no campo interdisciplinar do planejamento urbano climático, com ênfase na análise microclimática urbana. Seu objetivo é investigar como diferentes tipologias vegetais (arborização viária, coberturas e fachadas verdes) influenciam o campo térmico de um trecho da malha urbana de Viçosa (MG) considerando tanto as condições climáticas atuais quanto futuras.

O desenvolvimento da pesquisa ocorreu em duas etapas principais. A primeira consistiu na coleta de dados microclimáticos em campo, por meio de sensores fixos e de um transecto móvel realizado ao longo da Avenida Peter Henry Rolfs, eixo central da cidade. A segunda etapa envolveu a modelagem e simulação de cenários climáticos no software ENVI-met, incorporando projeções de aquecimento futuro e diferentes configurações de vegetação urbana, visando quantificar os impactos dessas intervenções sobre o microclima local.

A dissertação está organizada em seis tópicos. O primeiro apresenta a introdução geral ao tema, abordando o aquecimento global, a urbanização e a importância da vegetação para o equilíbrio térmico urbano. O segundo tópico reúne o referencial teórico, com foco em simulações microclimáticas e nas bases conceituais do uso do ENVI-met. O terceiro tópico descreve a metodologia aplicada, incluindo a delimitação da área de estudo, os métodos de monitoramento climático e a configuração dos cenários simulados. O quarto tópico apresenta os resultados obtidos tanto nas medições em campo quanto nas simulações computacionais e discute os resultados, destacando os limites e contribuições da pesquisa. Por fim, o sexto tópico apresenta a conclusão, propondo diretrizes para futuras investigações e para o aprimoramento do uso de simulações no Envi-met no planejamento urbano climático.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1. Aquecimento Global e Mudanças Climáticas.....	9
1.2. Urbanização e Campo Térmico Urbano.....	12
1.3. Vegetação e Microclima Urbano.....	15
1.4. Viçosa, Minas Gerais.....	19
1.5. OBJETIVOS.....	22
1.5.1. Objetivo Geral.....	22
1.5.2. Objetivos Específicos.....	22
1.6. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA.....	22
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1. Simulação Microclimática no ENVI-met.....	23
2.2. Simulação da Vegetação no ENVI-met.....	25
3. METODOLOGIA.....	34
3.1.1. Delimitação da Área de Estudo.....	35
3.1.1.1. Pontos de Monitoramento.....	37
3.2. MONITORAMENTO CLIMÁTICO.....	40
3.2.1. Método e Equipamentos.....	40
3.2.2. Período do Monitoramento climático.....	42
3.3. SIMULAÇÃO.....	42
3.3.1. Modelagem da Área de Estudo.....	43
3.3.2. Configuração das proposições de vegetações urbanas.....	45
3.3.3. Cenários Climáticos Simulados.....	48
3.3.4. Período Simulado.....	50
4. RESULTADOS.....	51
4.1.1. Estações Meteorológicas Fixas.....	51
4.1.2. Transecto Móvel.....	69
4.1.3. Estação Meteorológica Fixa e Transecto Móvel.....	74
4.1.4. Cenários Simulados.....	82
5. CONCLUSÃO.....	107
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

1. INTRODUÇÃO

O estilo de vida industrial, a partir do século XVIII, impulsionou o desenvolvimento econômico global por meio da intensa exploração dos recursos naturais. No entanto, esse avanço ocorreu à custa de profundos impactos nos ecossistemas, acelerando fenômenos naturais como o efeito estufa e as ondas de calor, em função do aumento contínuo da emissão de gases de efeito estufa (GEE), com destaque para o dióxido de carbono. Esse desequilíbrio atmosférico tem sido um dos principais responsáveis pelo agravamento do aquecimento global e, conseqüentemente, das mudanças climáticas (Busca e Revelli, 2022).

Essas mudanças globais afetam diretamente as condições microclimáticas locais, intensificando eventos extremos como secas, chuvas intensas e, particularmente nas cidades, o aumento das ilhas de calor (Yau et al., 2013). Esses fenômenos geram uma cadeia de impactos ambientais e sociais, comprometendo a qualidade de vida, sobretudo em centros urbanos densamente povoados (Souza et al., 2019).

A urbanização acelerada e muitas vezes desordenada agrava esse cenário ao substituir áreas naturais por superfícies impermeáveis e edificações densas, alterando o balanço energético urbano e favorecendo a retenção de calor. Esse processo resulta em temperaturas elevadas, redução do conforto térmico e, conseqüentemente, maior vulnerabilidade socioambiental (Brússolo et al., 2017). Além disso, a eliminação da vegetação compromete a capacidade de infiltração da água no solo, aumentando o risco de enchentes e degradação ambiental.

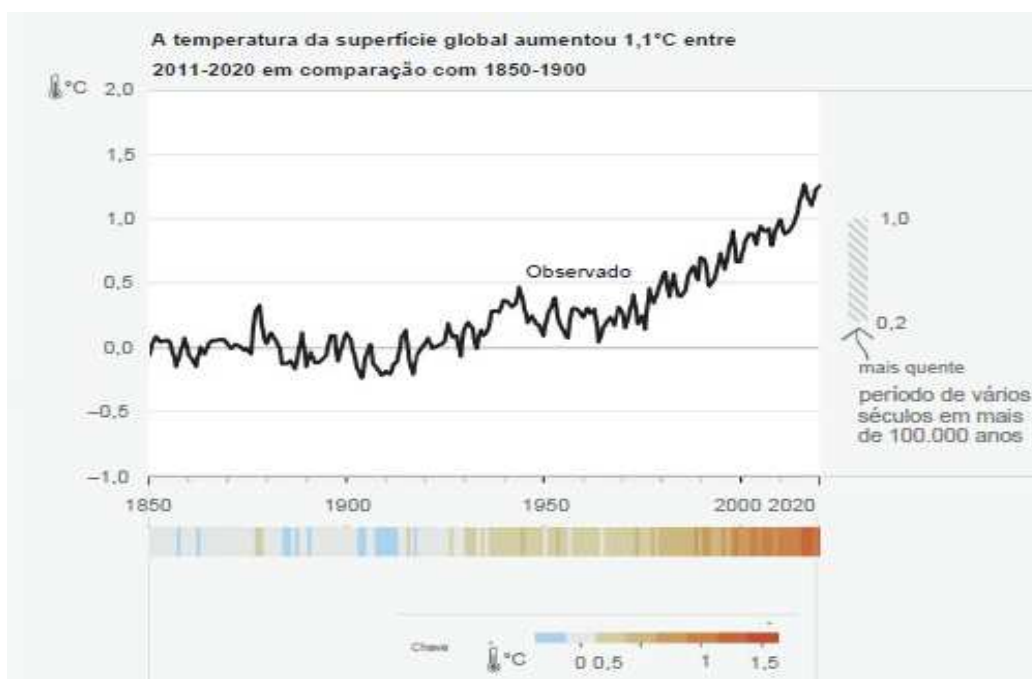
Diante desses desafios, o design urbano sensível ao clima surge como uma estratégia sustentável e eficaz. A incorporação de áreas verdes com arborização urbana, telhados e coberturas verdes, contribui significativamente para o resfriamento das cidades, a regulação do microclima e a adaptação às mudanças climáticas, promovendo ambientes urbanos mais saudáveis e resilientes (Liu et al., 2021).

Esta introdução está organizada em três capítulos temáticos. O primeiro aborda o Aquecimento Global e as Mudanças Climáticas, com foco nas causas antrópicas e nos impactos ambientais. O segundo discute Urbanização e o Campo Térmico Urbano, analisando os efeitos da expansão urbana nas dinâmicas microclimáticas. O terceiro capítulo trata da Vegetação e do Microclima Urbano, destacando o papel das infraestruturas verdes na mitigação térmica e na construção de cidades sustentáveis.

1.1. Aquecimento Global e Mudanças Climáticas

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*IPCC* em inglês), nas duas primeiras décadas do século XXI, a temperatura de superfície global aumentou mais rapidamente se comparada a qualquer outro período de 50 anos, atingindo média de 0,99 °C a mais que entre os anos de 1850 a 1900 (Figura 1). Devido às emissões de GEE serem apontadas como a principal causa, as projeções de emissões globais para 2030, tornam provável que o aquecimento exceda 1,5°C até 2030, dificultando limitá-lo abaixo de 2°C até final do século XXI, afetando a qualidade de vida na Terra.

Figura 1. Registro do aumento da temperatura global de superfície de 1850 a 2020



Fonte: IPCC (AR6), 2023.

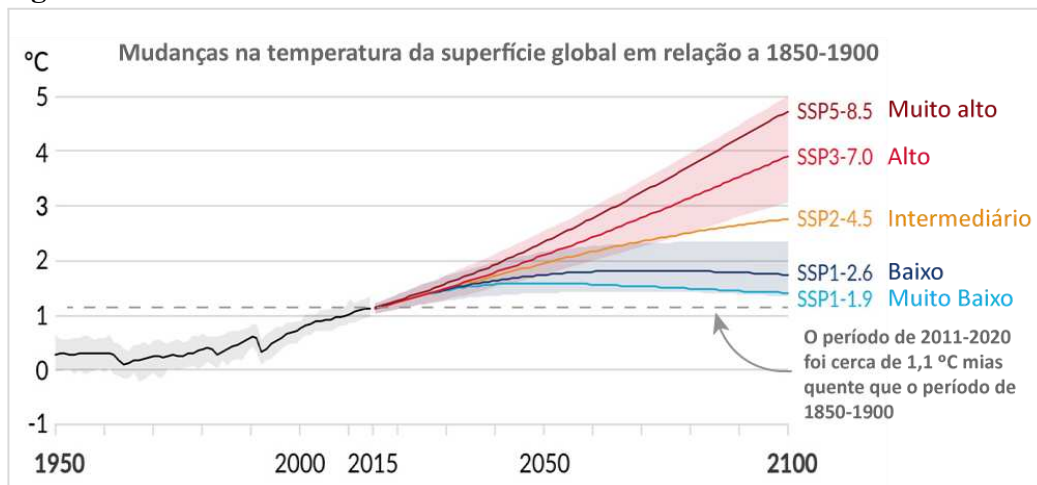
A síntese do *IPCC* (2023) indica que o aumento da temperatura média global eleva o risco de eventos extremos, como secas, chuvas intensas, ondas de calor e frio, além de eventos de grande escala ainda desconhecidos. Esse cenário, caracterizado por uma variabilidade climática mais intensa e eventos contrastantes ocorrendo sucessivamente, destaca a importância de um planejamento adequado e da adaptação das infraestruturas, principalmente no meio urbano em que se concentra maior parte da população mundial (Silva et al, 2013).

Com um maior aquecimento, prevê-se que todas as regiões experimentem cada vez mais mudanças múltiplas e simultâneas nos fatores de impacto climático. Cada incremento do aquecimento global intensificará riscos múltiplos e simultâneos em todas as regiões do

mundo. As pesquisas do IPCC apontam que as ondas de calor e as secas prolongadas se tornarão mais frequentes, incluindo eventos simultâneos em vários locais (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, 2023).

Nesse sentido, para não incorrer em previsões futuras generalistas, o *IPCC* trabalha a partir de cenários climáticos futuros baseados nas projeções futuras de emissões de GEE, juntamente com as mudanças climáticas, impactos e riscos relacionados (Figura 2 e Tabela 1). A construção desses cenários se baseia em uma série de pressupostos de dados, incluindo variáveis socioeconômicas, baseados em abordagens custo-efetivas relacionados às emissões. No total foram criados 8 cenários representativos, que são divididos em duas categorias de projeções: Percursos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs) e Caminhos de Concentração Representativos (RCP). Esses cenários são utilizados para estudo de análise e quantificação de impactos e possíveis estratégias de mitigação e adaptação.

Figura 2. Gráfico dos cenários de emissões modelados no relatórios AR6 do IPCC



Fonte: Adaptado do IPCC, 2023.

Tabela 1. Tabela dos cenários de emissões modelados no relatório AR6 do IPCC

Cenários de emissões de GEE (SSP)	Descrição da categoria
Muito baixo (SSP 1-1.9)	Limitar o aquecimento a 1,5°C (>50%) com nenhum ou limitado aquecimento
Baixo (SSP 1-2.6)	Limitar o aquecimento a 2°C(>67%)
Intermediário (SSP 2-4.5)	Limitar o aquecimento a 2,5°C(>50%)
Alto (SSP 3-7.0)	Limitar o aquecimento a 3°C(>50%)
Muito Alto (SSP 5-8.5)	Exceder o aquecimento a 4°C(>50%)

Fonte: Autoral, editado do sexto relatório (AR6) do IPCC, 2023.

Ao todo foram avaliados um grande número de trajetórias de emissões globais modeladas, em que 1.202 trajetórias foram categorizadas com base na avaliação do

aquecimento global ao longo do século XXI. As categorias variam de caminhos que limitam o aquecimento para 1,5°C com mais de 50% de probabilidade (observado >50% neste relatório) sem ou com ultrapassagem limitada (C1) nas vias que excedam 4°C (C8).

Os Percursos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs), descreve as tendências socioeconômicas subjacentes aos cenários e ao nível de forçamento radiativo resultante do cenário do ano 2100. Nos cenários de emissões muito elevadas (SSP 3-7.0 e SSP 5-8.522) as emissões de CO² são quase o dobro em relação aos níveis atuais até 2100 e 2050, respectivamente. O cenário intermédio de emissões de GEE (SSP 2-4.5) mantém as emissões de CO² próximas dos níveis atuais até meados do século, sendo, portanto, o cenário mais representativo das condições atuais de emissões. Os cenários de emissões de GEE muito baixas (SSP 1-1.9 e SSP 1-2.6) têm emissões líquidas de CO² diminuindo para zero líquido por volta de 2050 e 2070 (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, 2023).

O relatório salienta que para limitar o aquecimento global causado pelo homem requer emissões líquidas zero de CO², mitigação ampla e uma implementação acelerada de ações de adaptação, ainda nesta década. Os resultados da implementação dessas mudanças no âmbito global, reduzirá as perdas e os danos previstos para os seres humanos e os ecossistemas e proporcionará muitos benefícios, especialmente para a qualidade do ar e a saúde humana. Logo, a análise do microclima urbano com base nos cenários do IPCC, tem se tornado uma ferramenta de planejamento urbano estratégia para enfrentamento às mudanças climáticas e ao aumento das temperaturas no âmbito local, urbano, e global.

Nesse sentido, no Brasil, um estudo recente de Da Silva et al. (2024) analisou a caracterização climática e bioclimática do território nacional com base em dados do ERA5-Land de 2008 a 2022. Os resultados indicaram uma variação significativa de temperatura nesses últimos anos, em conformidade com as tendências globais de mudanças climáticas, acompanhada por uma redução nos níveis de umidade relativa e precipitação. A Temperatura de Bulbo Seco - TBS (*DBT – Dry Bulb Temperature* em inglês) média na maioria das cidades brasileiras variou entre 22 °C e 26 °C, porém quase 50% do país registrou temperaturas médias de pelo menos 26 °C. Em grande parte do território, houve um aumento médio da TBS entre 0,4°C e 0,8 °C. Embora os níveis de umidade relativa tenham se mantido relativamente estáveis, a precipitação foi reduzida em mais de 50% nas regiões com maior aquecimento. O aumento das condições mais quentes e secas também afetou a classificação

de Köppen–Geiger, resultando em um crescimento do número de áreas classificadas como Semiáridas e Áridas.

No âmbito nacional e global, o processo de aumento da temperatura global também tende a impactar a demanda de energia das cidades, relacionados à maior utilização de sistemas de resfriamento e aquecimento para amenizar o desconforto térmico em edificações (Yh Yang e Hasbi, 2012). Em países desenvolvidos, os sistemas de condicionamento do ar, já são responsáveis por 50% do consumo de energia dos edifícios e 20% do consumo total de energia nacional (Yau e Hasbi, 2013). Esse aumento da demanda energética também poderá ser intensificada quando relacionada à projeção de aumento populacional e expansão urbana futura, sendo incorporadas a esse consumo as ondas de calor locais nos períodos do verão e períodos de estresse térmico, principalmente nas regiões de clima tropicais por serem regiões naturalmente mais quentes (Pengyuan; Meilin; Junhuan e Yuchen, 2022). Logo, pode-se inferir que o aquecimento global e as mudanças climáticas impactarão significativamente na demanda energética das cidades nos próximos anos, gerando ainda mais impactos sócio ambientais.

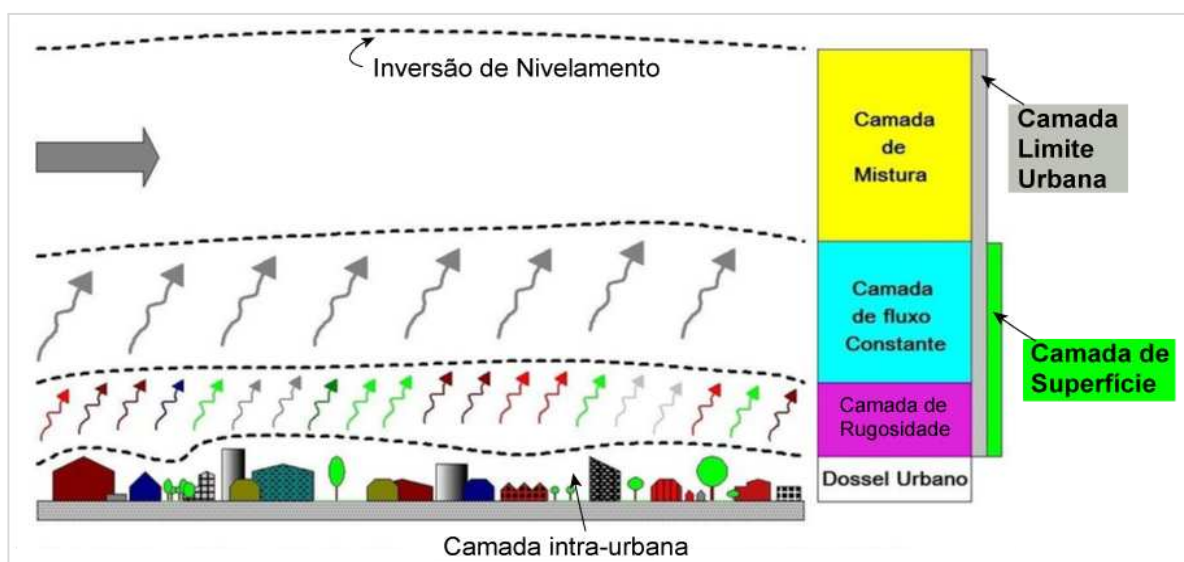
1.2. Urbanização e Campo Térmico Urbano

Estudar o campo térmico urbano requer o entendimento do conceito de balanço térmico urbano, que se refere ao conjunto de trocas e transformações de energia térmica entre os diferentes componentes do ambiente urbano (como edificações, pavimentos, vegetação e corpos d'água) e a atmosfera. Essas trocas energéticas resultam da interação entre a radiação solar, o calor sensível, o calor latente e o calor antropogênico, que são fortemente influenciadas por fatores climáticos e pelas características físicas do espaço construído (Oke, 1988). Trata-se, portanto, de um processo dinâmico e multifatorial, que regula as condições térmicas locais e molda os microclimas urbanos (Monteiro, 1976; Oke, 1988).

Nesse contexto, destaca-se a complexidade tridimensional das áreas urbanas, formadas por uma variedade de superfícies verticais (paredes) e horizontais (telhados, ruas, calçadas, copas das árvores, solo exposto), cuja composição morfológica interfere diretamente nos fluxos de energia e, conseqüentemente, na formação do microclima urbano. A atmosfera urbana, localizada no interior do dossel da camada urbana, sofre influência direta das temperaturas dessas superfícies, que variam conforme a materialidade, o grau de impermeabilização e a presença ou ausência de vegetação (Brússolo et al., 2017). Os

processos microclimáticos são resultados da interação entre as diferenças térmicas e as turbulências geradas entre a Camada do Dossel Urbano e a Camada Limite Urbana (ponto limite vertical da atmosfera em que determinada cidade consegue exercer influência no padrão da temperatura de superfície e do ar), como mostra a Figura 3 abaixo:

Figura 3. Divisões da Camada Limite Urbana.



Fonte: Brússolo et al., (2017) adaptado de Arnfield (2006).

Nesse sentido, as problemáticas de aquecimento urbano são intensificadas pelo adensamento populacional e consequente aumento das atividades urbanas, como aumento da frota de veículos e de emissões industriais de gases de efeito estufa (GEE), juntamente com a crescente supressão áreas vegetadas (que desempenham papel essencial na regulação térmica por meio da evapotranspiração, sombreamento e retenção de poluentes). Esses fenômenos em conjunto estão diretamente associados à intensificação das ilhas de calor urbanas, especialmente em regiões tropicais, devido ao clima natural mais quente (Filho et al., 2021).

Souza et al. (2019) definem que as ilhas de calor urbanas são caracterizadas pelas diferenças substanciais nas temperaturas do ar entre áreas urbanas e suburbanas, em comparação com áreas rurais adjacentes. Os autores classificam essas ilhas de calor em duas categorias principais:

I) Ilhas de calor de superfície: Essas ilhas são geralmente mais intensas durante o dia e no verão, podendo apresentar diferenças de temperatura de até 12 °C entre áreas urbanas e rurais.

II) Ilhas de calor atmosférica: Observadas principalmente durante a madrugada e à noite, especialmente no inverno, essas ilhas são subdivididas em:

- Camada de dossel UHI: Refere-se à camada de ar onde as pessoas vivem, que se estende do solo até o topo das árvores e telhados.
- Camada limite UHI: Estende-se do topo dos telhados até aproximadamente 1,5 km de altura, com variações de temperatura entre 7-12 °C.

Fonte: Souza et al. (2019)

As ilhas de calor impactam diversos aspectos a nível local, como temperaturas do ar elevadas, alterações na precipitação e umidade, conforto externo, qualidade do ar e consumo de água, além do desempenho térmico e energético dos edifícios. (Pengyuan et al, 2022). Portanto, para caracterizar o clima urbano local, são essenciais o estudo de variáveis climáticas como radiação solar, pluviosidade, nebulosidade, direção e intensidade dos ventos, umidade relativa do ar e a temperatura do ar e da superfície (Fernandes, 2023). Entre as variáveis mais estudadas estão a temperatura do ar (T_a), que representa o grau de aquecimento do ar no ambiente e é essencial para a avaliação do conforto térmico; a temperatura da superfície (T_s), que revela o calor acumulado nas superfícies urbanas e influencia diretamente a camada inferior da atmosfera; e a umidade relativa do ar (UR), que expressa a quantidade de vapor d'água presente e interfere na percepção térmica humana (Emmanuel, 2005). A velocidade e a direção do vento são igualmente importantes, pois a movimentação do ar favorece a dissipação de calor e a renovação do ar em ambientes urbanos.

A radiação solar é a principal fonte de calor urbano, sendo que a quantidade de radiação absorvida pelas superfícies urbanas está diretamente relacionada ao albedo dos materiais, ou seja, à sua capacidade de refletir ou absorver a radiação incidente (Monteiro, 1976; Oke, 1987). Materiais com baixo albedo (como asfalto e telhados escuros) absorvem grandes quantidades de calor, contribuindo para o aumento das temperaturas locais. Por outro lado, superfícies com alto albedo (como pavimentos claros) refletem a maior parte da radiação solar, reduzindo o aquecimento superficial. Outro aspecto relevante é a emissividade térmica dos materiais urbanos, que se refere à capacidade de emitir radiação infravermelha. Materiais com alta emissividade, como os cerâmicos, dissipam mais calor, enquanto os metálicos tendem a retê-lo (Mills, 1997).

A dinâmica da umidade também exerce papel relevante no balanço térmico urbano. A UR é diretamente influenciada pela presença de vegetação, corpos d'água e pelas características do solo. Em regiões onde a impermeabilização é predominante, a capacidade de retenção e infiltração da água da chuva é reduzida, o que resulta na diminuição da

evaporação e, conseqüentemente, da UR. A baixa UR intensifica a sensação de calor e o desconforto térmico, especialmente durante ondas de calor. Por outro lado, em áreas urbanas com maior cobertura vegetal, solos permeáveis ou a presença de áreas alagadas permanentes ou sazonais, a evaporação da água contribui para elevar os níveis de UR, amenizando as temperaturas e melhorando o conforto térmico (Monteiro, 1976; Emmanuel, 2005). A pluviometria, nesse contexto, influencia diretamente a reposição de água no solo e nos corpos d'água urbanos. Em episódios de chuvas intensas, áreas com infraestrutura deficiente ou baixa permeabilidade podem sofrer alagamentos recorrentes, o que, além dos riscos sociais e sanitários, modifica temporariamente os padrões de umidade do ar e da superfície, impactando o microclima local.

No que tange a morfologia urbana, a presença de materiais urbanos com baixo albedo e a verticalização excessiva alteram a rugosidade superficial, dificultando ou a circulação dos ventos e reduzindo a ventilação natural (Araújo et al., 2019). A configuração espacial das edificações e das vias, também exerce influência sobre o microclima. A razão entre a altura dos edifícios e a largura das ruas (razão H/W) afeta diretamente a quantidade de sombreamento e a ventilação natural disponível, alterando os fluxos de calor e a retenção térmica nas áreas urbanas (Oke, 1988). Dessa forma, a densidade do tecido urbano e o grau de verticalização interferem na formação de microclimas distintos dentro da cidade.

Diante desse contexto, o planejamento urbano sustentável emerge como estratégia central para mitigar os impactos climáticos nas cidades. A implementação de áreas verdes permeáveis, por exemplo, contribui não apenas para regular o microclima, mas também para conservar o ciclo hidrológico, reduzir alagamentos, sequestrar carbono e oferecer espaços de lazer e bem-estar à população (Herzog e Rosa, 2010). Busca e Revelli (2022) reforçam que a vegetação urbana desempenha papel crucial na promoção da qualidade de vida e na adaptação às mudanças climáticas, sendo capaz de absorver até 10% menos energia do que áreas construídas com concreto armado, graças à sua menor condutividade térmica e maior capacidade de evapotranspiração.

1.3. Vegetação e Microclima Urbano

A vegetação urbana desempenha um papel essencial na regulação térmica das cidades, sendo amplamente reconhecida como uma das principais estratégias de adaptação às mudanças climáticas. Por meio de mecanismos como evapotranspiração e sombreamento, as áreas verdes contribuem para o resfriamento do ar, redução das temperaturas superficiais e

aumento da umidade relativa, o que melhora significativamente o conforto térmico e o microclima urbano (Bowler et al., 2010). Segundo revisão conduzida por Bowler et al. (2010), áreas vegetadas em ambientes urbanos podem apresentar temperaturas entre 1,0 °C e 2,5 °C mais baixas do que áreas construídas adjacentes, dependendo da densidade e do tipo de vegetação. Esses efeitos tornam-se ainda mais relevantes diante do avanço das ilhas de calor urbanas e do aumento das ondas de calor associadas ao aquecimento global.

Estudos mais recentes confirmam a eficácia da vegetação no resfriamento urbano. Liu et al. (2021), por meio de uma análise comparativa em diferentes cidades chinesas, demonstraram que grandes parques e corredores verdes podem reduzir a temperatura do ar em até 4,0 °C, estendendo seus efeitos por até 350 metros além dos limites da vegetação.

A arborização urbana representa uma das estratégias mais eficazes para a mitigação das ilhas de calor e a melhoria do microclima nas cidades. Copas densas promovem sombreamento, bloqueando a radiação solar direta e reduzindo a absorção de calor pelas superfícies urbanas, enquanto o processo de transpiração libera vapor d'água, promovendo resfriamento evaporativo e aumentando a umidade relativa do ar (Shinzato et al., 2016). Esses efeitos contribuem diretamente para o conforto térmico e, segundo Souza et al. (2019), podem reduzir em até 20% o consumo de energia com climatização artificial em áreas urbanas arborizadas. A arborização, portanto, desempenha um papel duplo ao atuar na regulação térmica e na eficiência energética dos ambientes urbanos.

No contexto brasileiro, estudos têm demonstrado de forma consistente os benefícios da vegetação urbana para a regulação microclimática. Por exemplo, Monteiro et al. (2018) analisaram diferentes bairros da cidade de São Paulo e constataram que áreas com maior cobertura vegetal apresentaram redução de até 3 °C na temperatura do ar em relação a zonas densamente construídas. Os autores destacam que a presença de árvores de grande porte e parques urbanos contribui significativamente para o conforto térmico, especialmente em bairros periféricos com alta vulnerabilidade socioambiental.

Além das árvores, outras tipologias de infraestrutura verde têm sido incorporadas ao planejamento urbano com resultados positivos. Coberturas verdes e fachadas vegetadas, por exemplo, oferecem isolamento térmico adicional, reduzem a incidência de radiação sobre as superfícies construídas e possibilitam o aproveitamento de áreas subutilizadas em edifícios (Shinzato et al., 2016). Estudos apontam que telhados verdes podem reduzir a temperatura

superficial das coberturas em até 30 °C e a temperatura do ar ao seu redor em até 1,5 °C, contribuindo para o arrefecimento urbano e a mitigação das ilhas de calor (Sailor et al., 2011; Santamouris, 2014). Já as fachadas verdes, além de diminuir a temperatura interna das edificações em até 4,4 °C, também promovem um resfriamento do ambiente externo imediato entre 0,5 e 2,0 °C, sobretudo em ruas estreitas e áreas densamente construídas (Perini et al., 2011; Hunter et al., 2014).

No âmbito local, destaca-se o estudo de Martins (2022), que investigou os efeitos da arborização urbana sobre o microclima em diferentes setores da cidade de Viçosa (MG). A pesquisa, baseada em coletas microclimáticas e análise espacial, revelou que regiões com maior cobertura arbórea apresentaram uma redução média de temperatura do ar de até 2,8 °C nos horários de maior insolação, em comparação a áreas com baixa presença de vegetação. Além disso, observou-se aumento da umidade relativa e a formação de ilhas de frescor em trechos bem arborizados, sobretudo nas vias públicas. Esses resultados reforçam a importância da arborização no planejamento urbano de cidades médias, especialmente frente à intensificação de eventos extremos e à expansão urbana desordenada.

Para além da regulação térmica, a vegetação urbana oferece uma ampla gama de serviços ecossistêmicos essenciais à sustentabilidade das cidades. Entre os principais, destacam-se a melhoria da qualidade do ar, o sequestro de carbono atmosférico, a contenção de sedimentos, a absorção de águas pluviais e a redução do escoamento superficial — o que contribui para o controle de enchentes e para a conservação de corpos hídricos (Herzog; Rosa, 2010). A integração de infraestruturas verdes e azuis, como telhados verdes, sistemas de drenagem natural, áreas úmidas restauradas e silvicultura urbana, também contribui para a mitigação de gases de efeito estufa e para a resiliência urbana frente a eventos climáticos extremos, como ondas de calor e precipitações intensas (IPCC, 2023). Nesse sentido, a cobertura vegetal não apenas melhora o conforto térmico e a saúde urbana, mas também constitui uma ferramenta estratégica para o planejamento urbano sustentável, articulando benefícios ambientais, sociais e climáticos.

A vegetação urbana que compor as áreas verdes urbanas, é também referenciadas na literatura como infraestruturas verdes (Vasconcellos, 2011) e soluções baseadas na natureza, se referem a uma rede multifuncional de ativos ambientais públicos e privados que desempenham diversos serviços ecossistêmicos ao longo das cidades. São exemplos os

parques, jardins, reservas, cemitérios, vias verdes, corredores fluviais, riachos, campos esportivos, praças, zonas úmidas, fazendas, hortas, entre outras (Filho et al. 2021).

De acordo com o Art. 8º, § 1º, da Resolução CONAMA Nº 369/2006, As áreas verdes urbanas, referem-se a espaços de domínio público com vegetação e áreas livres de impermeabilização, que desempenham funções ecológicas, paisagísticas e recreativas, contribuindo para a qualidade estética, funcional e ambiental da cidade. Esse conceito abrange espaços livres urbanos, públicos ou privados, compostos por vegetação arbórea e arbustiva, com solo desprovido de edificações ou coberturas impermeáveis. Tais áreas devem cumprir, minimamente, funções ecológicas (como aumento do conforto térmico, controle da poluição do ar e sonora, interceptação de águas pluviais e abrigo à fauna), estéticas (valorização visual, ornamental e diversificação da paisagem) e de lazer (recreação) (Bargos e Matias, 2011).

Desse modo, Scheuer e Da Silva Neves (2016) afirmam que a implementação de áreas verdes urbanas, também estão diretamente relacionadas à promoção da qualidade de vida no âmbito ambiental, econômico e social. Na perspectiva ambiental, os espaços vegetados contribuem para retenção da umidade do solo e do ar, abrigo para a fauna, reciclagem de gases tóxicos, melhorias nas condições microclimáticas, entre outros serviços ecossistêmicos. No âmbito econômico podem proporcionar redução de internações hospitalares e gastos financeiros relativos à saúde, devido a absorção de ruídos, redução da poluição, amenização do estresse, conforto térmico, etc. No âmbito social, através das áreas verdes constituem-se em espaços sombreados de descompressão urbana, configurando em espaços para integração, lazer e convívio social, diminuindo o sentimento de opressão/angústia em relação às construções (Scheuer e Da Silva Neves, 2016).

Outra contribuição relevante está na reconversão de vazios urbanos em hortas comunitárias e áreas verdes, bem como na arborização de espaços públicos como calçadas, canteiros, praças e parques. Além disso, o incentivo à agricultura urbana e periurbana de base agroecológica pode promover a segurança alimentar, gerar renda e fortalecer a inclusão social de populações em situação de vulnerabilidade (Ximenes e Maglio, 2022).

Diante dos desafios impostos pela urbanização acelerada e pelas mudanças climáticas, o planejamento da vegetação urbana consolida-se como uma estratégia central para a construção de cidades mais resilientes, saudáveis e ambientalmente equilibradas. Em contraste com o modelo tradicional baseado em infraestruturas cinzas impermeáveis, que intensificam problemas como enchentes, ilhas de calor e degradação ambiental, a integração

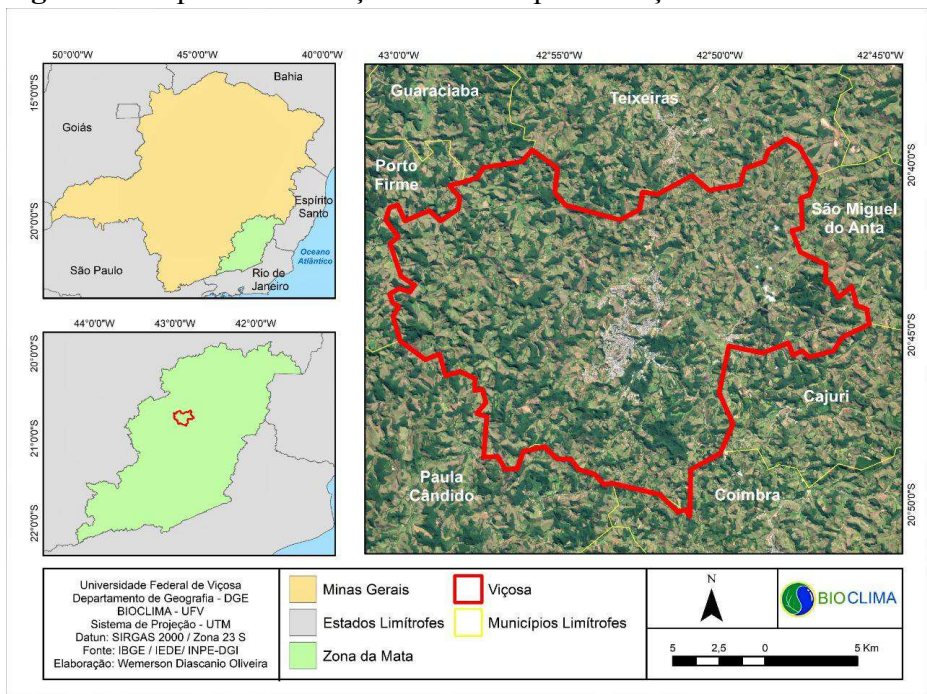
de elementos naturais ao tecido urbano oferece múltiplos benefícios ecossistêmicos e sociais (Vasconcellos, 2011).

1.4. Viçosa, Minas Gerais

Atualmente, 55% da população mundial reside em áreas urbanas (Relatório Mundial das Cidades, 2022). No Brasil, 84,72% da população vivia em áreas urbanas em 2015, de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2015). As cidades, como centros de atividade humana, são tanto contribuintes para os problemas ambientais quanto essenciais para a implementação de soluções eficazes. Logo, se torna urgente o enfrentamento aos desafios ambientais relacionados às mudanças climáticas e urbanização.

Nesse contexto, está inserida a cidade de Viçosa, localizada na Zona da Mata Mineira, no estado de Minas Gerais (Figura 4). O município possui uma área territorial de 299,4 km², está a uma altitude de 649 metros e conta com uma população estimada de 79.910 habitantes (IBGE, 2021), com uma densidade demográfica de 241,20 hab/km² (IBGE, 2010).

Figura 4. Mapa de localização do município de Viçosa-MG



Fonte: Fialho e Santos (2022) com base no IBGE (2020)

Viçosa está situada no domínio morfoclimático dos Mares de Morros e apresenta características de um clima tropical de altitude, com estações de verão e inverno bem definidas (Ferreira; Fialho, 2016). As temperaturas mais elevadas ocorrem no verão, entre os meses de dezembro e março, enquanto as mais baixas são registradas no inverno, entre junho

e agosto. A temperatura média anual é de 20,4°C, com variações anuais de 5,7°C. Os períodos de maior precipitação ocorrem entre novembro e março, sendo dezembro o mês com maior umidade relativa do ar (80%) e maior índice pluviométrico. Por outro lado, julho apresenta o menor número de dias chuvosos (2,67 dias), sendo também o mês mais seco e com a menor temperatura do ano (13,1°C) (Climate-Data, 2024).

O clima local é classificado como subtropical quente ou temperado, com invernos secos e verões quentes, conforme a classificação de Köppen Cwa. No entanto, um estudo recente que analisou os Sistemas de Classificação Climática (SCC) de Köppen e Thornthwaite para o estado de Minas Gerais, considerando projeções futuras do clima entre 2011 e 2100, indicou uma possível transição para o tipo Aw (tropical com seca no inverno). Essa mudança sugere um agravamento das condições de inverno mais seco (Martins, 2018).

O município, assim como grande parte das cidades mineiras, foi se desenvolvendo ao longo dos vales dos rios, mas sem um planejamento urbano adequado, ocupando áreas verdes estratégicas da bacia hidrográfica, com impermeabilização do solo urbano e supressão de áreas verde que desempenham papel fundamental na manutenção de serviços ecossistêmicos locais. Isso acarreta diversos impactos ambientais como os alagamentos recorrentes das vias nos períodos de chuvas, contaminação dos riachos com efluentes domésticos, supressão de mata ciliar, erosão das encostas, risco de assoreamento dos corpos d'água e indícios de impactos climáticos (Sanches; Fialho; Quina, 2017).

Atualmente, mesmo sendo um município de pequeno porte populacional, sua área central se encontra em constante processo de verticalização e concentração urbana (taxa de urbanização em 2010 foi de 93,2% de acordo com o DATASUS, 2020). Sua mancha urbana continua se desenvolvendo sobre as áreas de vale, encostas e expandindo horizontalmente para os topos de morros em bairros periféricos como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5. Imagem aérea da área central verticalizada de Viçosa



Fonte: Arthur Vieira, (2021).

De acordo com estudos de Sanches, Fialho e Quina (2017), a partir da análise de dados climáticos no período de 1968 a 2015, é possível perceber diversos indícios de impactos climáticos locais relacionados às mudanças climáticas em Viçosa. A elevação das temperaturas máximas observadas na primavera, verão, outono e, sobretudo, das temperaturas mínimas em praticamente todos os meses do ano, prolongamento da estação seca no inverno associada ao aumento das temperaturas na transição para o verão hidrológico no mês de outubro, são algumas das modificações climáticas locais observadas no estudo. Verificou-se ainda que esse aumento das temperaturas, é compatível com a tendência de aumento das temperaturas encontradas em diversos trabalhos, bem como nos relatórios do IPCC e do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC).

Nesse sentido, Viçosa apesar de ser um município de pequeno porte populacional, estudos indicam um possui impactos no seu microclima urbano relacionados ao processo de ocupação urbana e as modificações climáticas globais, sendo uma área estratégica para se repensar o planejamento de infraestruturas cinzas tradicional e a proposição de alternativas mais sustentáveis e resilientes para seu desenho urbano, como a proteção e a implementação de áreas verdes, não somente para mitigação das problemáticas microclimáticas atuais, mas também para enfrentamento às mudanças climáticas futuras.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo Geral

Como a vegetação pode influenciar na regulação térmica urbana em um trecho da área central de Viçosa (MG), especificamente na Avenida Peter Henry Rolfs, considerando as condições microclimáticas atuais e os cenários futuros de aumento de temperatura simulados no ENVI-met com base nas projeções do IPCC?

1.5.2. Objetivos Específicos

- I. Levantar dados meteorológicos de Viçosa, para contextualização climática da cidade de Viçosa a partir de bibliografias e dados de estações meteorológicas local;
- II. Identificar e analisar diferentes microclimas ao longo da área de estudo para contextualização do clima atual a partir de coleta de dados em campo;
- III. Levantar e selecionar, a partir de revisão bibliográfica, aspectos das tipologias de vegetação para uso em cidades inseridas no clima tropical;
- IV. Levantar e selecionar arquivos climáticos atuais e futuros com base em pesquisas anteriores para a cidade de Viçosa-MG;
- V. Modelar e simular no *software* ENVI-met cenários microclimáticos representativos dos microclimas atuais e futuros, com a incorporação de estratégias verdes para a cidade de Viçosa-MG;
- VI. Identificar desafios e potencialidades na incorporação da vegetação para adaptação das cidades às mudanças climáticas, principalmente ligadas ao aumento de temperaturas;

1.6. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

A originalidade da pesquisa está em possibilitar uma integração entre planejamento e legislação urbana municipal a um estudo aplicado à realidade local, especificamente a cidade de Viçosa, MG. Ao desenvolver um diagnóstico urbano, o projeto pode proporcionar subsídios para o planejamento local, que se alinham a compromissos nacionais e internacionais, como a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009) e os objetivos discutidos na 26ª Conferência das Partes (COP26). Dessa forma, a pesquisa promove um diálogo entre cientistas e gestores, podendo ser um suporte para políticas

públicas de urbanização sustentável local, visto que Viçosa já apresenta indícios de intensificação de eventos climáticos extremos.

Além disso, a pesquisa contribui para o desenvolvimento de uma avaliação do uso do solo urbano mais consciente e resiliente frente aos desafios ambientais relacionados ao clima, promovendo uma ocupação urbana que valorize a sustentabilidade, o conforto térmico e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas, podendo servir de modelo de referência para análise de outras cidades de porte similar que enfrentam desafios semelhantes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Simulação Microclimática no ENVI-met

Nesse sentido, estudos microclimáticos que utilizam o software ENVI-met para simulação têm crescido nos estudos acadêmicos. Revisão sistemática conduzida por Carvalho e Bueno da Silva (2024) constatou um aumento significativo nas pesquisas sobre o tema entre 2017 e 2020, observando um crescimento de 100% nas buscas, indicando um interesse crescente na aplicação dessa ferramenta para análises microclimáticas, refletindo a preocupação global com as mudanças climáticas e seus impactos em áreas urbanas. Esse crescimento é especialmente perceptível em periódicos científicos voltados ao urbanismo, que concentram a maior parte das publicações, reforçando a relevância do ENVI-met como uma ferramenta essencial de simulação no campo científico e no planejamento urbano sustentável.

Vieira Zezzo, Coltri e Dubreuil (2023) também destacam o crescente uso do ENVI-met em estudos urbanos na América Latina, mas ressaltam que sua aplicação enfrenta limitações significativas em alguns países da região, especialmente devido à escassez de dados climáticos confiáveis e às dificuldades operacionais associadas à coleta de dados em campo. A ausência de séries históricas robustas, a baixa densidade de estações meteorológicas e as limitações técnicas para medições microclimáticas em áreas urbanas comprometem a calibração e a validação de modelos como o ENVI-met. Nesse contexto, a revisão aponta que, no Brasil, o sensoriamento remoto tem se consolidado como uma importante ferramenta complementar, suprimindo parcialmente a falta de dados meteorológicos locais. Além disso, os autores enfatizam a necessidade urgente de desenvolver softwares e metodologias que sejam mais sensíveis às condições climáticas tropicais e subtropicais, incorporando as particularidades atmosféricas, urbanas e ecológicas desses contextos para garantir maior precisão nas simulações microclimáticas.

O ENVI-met é um modelo tridimensional baseado na resolução de dinâmica de fluidos computacional (*Computational Fluid Dynamics - CFD em inglês*) das equações de Navier–Stokes por métodos numéricos de diferenças finitas. Com uma interface gráfica (GUI) para criar domínios de modelagem e visualizar resultados, o modelo abrange pontos de superfície 2D e pontos atmosféricos 3D, com resoluções espaciais de 0,5 a 10 metros e temporais de 1 a 10 segundos. Ele realiza cálculos de fluxos de radiação de ondas curtas e longas, considerando sombreamento, reflexão e re-radiação de edifícios e vegetação, além de processos como transpiração, evaporação, fluxo de calor sensível, dispersão de poluentes em diferentes níveis e parâmetros biometeorológicos. O modelo computacional também leva em conta edifícios com materiais variados, tipos de vegetação com diferentes espécies e geometrias, superfícies permeáveis e impermeáveis, além de camadas configuráveis de umidade do solo (Balany et al., 2020).

O sistema oferece dados sobre as condições microclimáticas e como os fatores ambientais afetam o planejamento urbano, especialmente no que diz respeito ao controle de temperatura de edifícios e ao bem-estar térmico das pessoas. Ele desempenha um papel fundamental na avaliação do potencial de novas construções, áreas verdes e no planejamento urbano para reduzir os impactos das mudanças climáticas. Isso é alcançado por meio da criação de simulações em 3 dimensões (3D) que representam cenários específicos, utilizando modelos da área de estudo como base. Com esses conceitos, o *software* permite fazer simulações de cenários microclimáticos atuais e futuros, a partir da inserção de parâmetros climáticos holísticos com inserção de vegetação à modelagem. O sistema simula a interação entre superfícies, plantas e atmosfera urbana, sendo uma das ferramentas computacionais mais utilizadas para análise de microclimas, permitindo comparações múltiplas de cenários que de outra forma seriam inviáveis no mundo real (Liu A et. al, 2021).

Com esses cenários, o ENVI-met também possibilita não somente analisar as interações do edifício com o ambiente urbano, mas também permite a inserção de modelos e parâmetros de vegetação na modelagem, como árvores, telhados verdes e fachadas verdes, simulando os efeitos térmicos da vegetação e as interações das plantas com o ambiente urbano. O *software* possui uma ferramenta de modelagem de plantas chamada de *Greening* que permite a personalização de parâmetros fisiológicos da vegetação como evapotranspiração, o que permite uma aproximação com os fenômenos biológicos reais que a vegetação urbana impacta no microclima urbano (Liu et. al, 2021).

O fluxo de trabalho do ENVI-met opera em 3 etapas principais: etapa inicial de inserção dos dados de entrada com georreferenciamento (Módulo *Monde*) e modelagem da área de estudo (Módulo *Space*); preparação e escolha das datas e dos cenários climáticos a serem simulados (Módulo *ENVI-guide*); Simulação (Módulo *ENVI-core*); e tratamento dos dados de saída para análise dos cenários (Módulo *BIO-met* e *Leonardo*), como demonstrado na Figura 6 abaixo:

Figura 6. Fluxo de trabalho do ENVI-met com os respectivos módulos

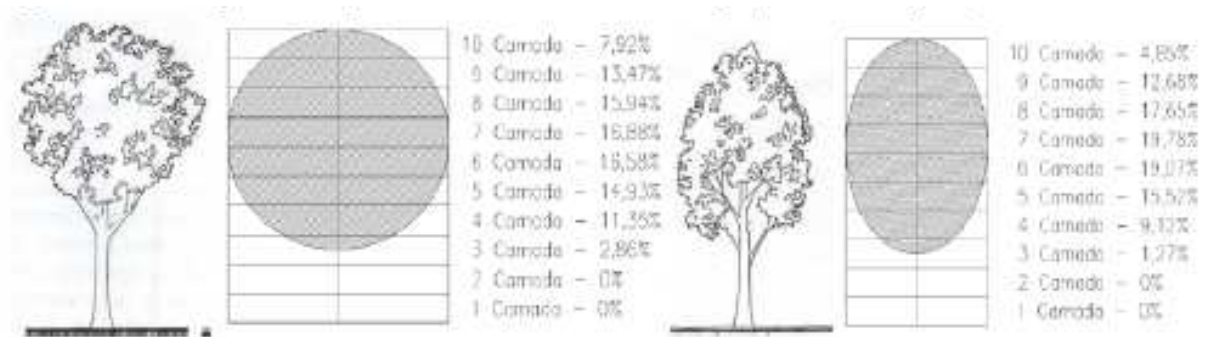


Fonte: Autoral, 2025.

2.2. Simulação da Vegetação no ENVI-met

Diversos estudos vêm analisando os efeitos da vegetação no microclima local com a utilização do software ENVI-met (Liu A. et. al, 2021). O sistema disponibiliza dois métodos de modelagem da vegetação: as "*simple plants*" e as "*3D plants*". As "plantas simples" são destinadas principalmente à representação 1D da vegetação, adequada para arbustos e gramíneas. Essas plantas são definidas com base em sua altura, densidade de área foliar - DAF (LAD – *Leaf Area Density* em inglês) e densidade de área de raiz (RAD). No banco de dados de vegetação padrão do ENVI-met, a DAF é caracterizada pela divisão da altura da árvore em dez camadas (Figura 7), que vão do solo até o topo da copa. O índice de área foliar (IAF) da vegetação é então calculado a partir do somatório da DAF de todas as camadas (Shinzato e Duarte, 2018).

Figura 7: Exemplo de distribuição da DAF para diferentes formatos de Copa (específica e elíptica) proposta por Shinzato e Duarte (2018) para configurações no ENVI-met



Fonte: Shinzato e Duarte (2018)

Para as "plantas 3D", utiliza-se o módulo *Albero*, que permite a digitalização de modelos complexos de árvores por meio de agrupamentos de células (Liu A et. al, 2021). No *Albero* é possível criar uma espécie vegetal do início ou editar uma espécie preexistente, sendo possível editar os dados de altura, largura da copa, capacidade de fixação de CO₂, albedo da folhagem, profundidade e diâmetro das raízes e DAF, parâmetros importantes para análise da vegetação no microclima urbano (Andrade, 2022)

Levantamento feito por Balany et al. (2020) sobre o uso de infraestruturas verdes, mostra que as árvores são as tipologias mais frequentemente estudadas nas simulações de mitigação do calor urbano (2009 a 2020), seguidas de gramados, arbustos, telhados verdes, paredes verdes, parques, entre outros. Em comparação com outras estratégias de infraestrutura verde, como gramados e telhados verdes, as árvores se mostraram mais eficazes na melhoria do conforto térmico devido ao seu efeito de sombreamento e evapotranspiração, podendo diminuir as temperaturas em até 2,27 °C e a temperatura fisiológica equivalente (PET) em até 14 °C, dependendo da localização e densidade da vegetação.

No contexto da urbanização crescente e do agravamento das ondas de calor, estudo conduzido por Zuckerman, Shiloah e Lensky (2025) avaliou o impacto dos sistemas de vegetação vertical (VGS) nas condições microclimáticas de cânions de rua em clima mediterrâneo (Figura 8). A pesquisa foi realizada em Ramat Gan, região central de Israel, caracterizada por verões quentes e secos e invernos amenos e chuvosos (classificação Csa de Köppen-Geiger). O estudo utilizou um monitoramento climático de campo abrangente, com sensores instalados para medir variáveis microclimáticas em dois cânions de rua orientados

leste-oeste. Um dos cânions foi equipado com 900 m² de VGS, combinando paredes verdes e floresta vertical, enquanto o outro foi utilizado como controle, sem vegetação.

Figura 8. Edifícios contendo os sistemas de vegetação vertical e pontos de monitoramento.



Fonte: Zuckerman, Shiloah e Lensky (2025)

As áreas vegetadas foram modeladas no ENVI-met, com adaptações específicas para representar as tecnologias implementadas, incluindo substratos espessos e a espécie predominante *Hedera helix*. Os resultados indicaram que os VGS reduziram significativamente a temperatura do ar (até 2,04°C) e a temperatura radiante média (T mrt), com melhorias mais pronunciadas durante condições de calor extremo. Além disso, os índices de conforto térmico, como a Temperatura Fisiologicamente Equivalente (PET) e o Índice Climático Térmico Universal (UTCI), apresentaram reduções consistentes, reforçando a eficácia dos VGS como estratégia de mitigação climática. A análise foi complementada pelo uso da ferramenta Mr.T, que avaliou fluxos de radiação, proporcionando uma visão integrada das interações entre o microclima e as tecnologias verdes. Esses achados destacam o potencial dos VGS para melhorar o conforto térmico em ambientes urbanos, contribuindo para a resiliência climática em áreas densamente ocupadas.

Outro estudo conduzido por Gai et al. (2025) avaliou os impactos das árvores e da sombra de edifícios no conforto térmico externo (OTC) em áreas urbanas de alta densidade. Utilizando medições de campo e simulações no software ENVI-met, o estudo foi realizado na área de Xiaotaoyuan, Nanquim, China (Figura 9), caracterizada por um clima subtropical úmido, com temperaturas médias de verão variando entre 26 °C e 38 °C.

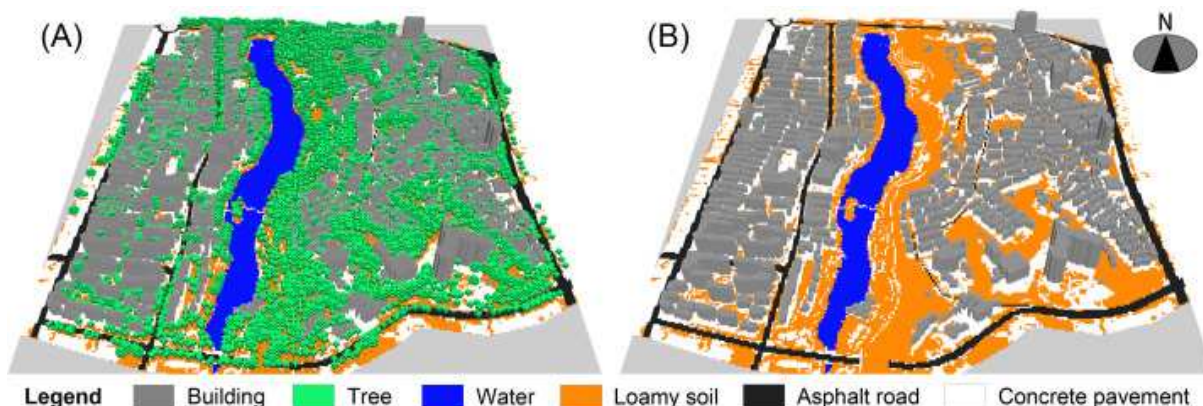
Figura 9. Localização da área de estudo em Xiaotaoyuan, Nanquim, China.



Fonte: Gai et al. (2025)

Foram comparados dois cenários: um com cobertura arbórea preservada e outro com remoção total das árvores, para avaliar os efeitos individuais e combinados da infraestrutura de sombra urbana sobre o microclima e o OTC. O *software* ENVI-met foi empregado para criar representações detalhadas das árvores e edifícios urbanos, utilizando dados morfológicos precisos (Figura 10). Para criar o modelo urbano 3D, classificaram-se os dados de Modelos Digitais de Superfície (DOM) para obter as pegadas de recursos 2D e calcular sua altura por nuvens de pontos. Os dados DOM foram classificados com o modelo AIE-Seg na plataforma AI-earth, gerando cinco categorias de recursos urbanos, incluindo “Edifício” e “Alta Vegetação”. As árvores foram modeladas individualmente com base em sua área de dossel e geometria, utilizando o Índice de Perímetro Normalizado (NPI) para garantir a identificação correta das árvores individuais e a subdivisão de grupos em hexágonos regulares, representando as espécies com formato de dossel esférico.

Figura 10. Modelagem da área de estudo no sistema ENVI-met.



Fonte: Gai et al. (2025)

As simulações demonstraram que a presença de árvores reduziu a temperatura equivalente fisiológica (PET) em até 9,4 °C durante o dia, enquanto a sombra dos edifícios contribuiu para reduções adicionais de até 9,8 °C. Sinergicamente, essas infraestruturas de sombra urbana proporcionaram uma redução no PET entre 9,4 °C e 17,1 °C, evidenciando a importância de integrar árvores e edifícios no planejamento urbano para mitigar os efeitos do calor extremo. Os resultados indicaram que a taxa de cobertura de árvores e o volume de suas copas têm maior eficácia na melhoria do OTC do que a simples cobertura horizontal das copas. O estudo destaca a necessidade de considerar a dinâmica da sombra urbana no planejamento e renovação de áreas urbanas, promovendo intervenções de baixo custo e sustentáveis. Estratégias que combinem sombra de árvores e edifícios em layouts urbanos podem melhorar significativamente o conforto térmico, contribuindo para a habitabilidade e a resiliência climática das cidades em climas quentes e úmidos.

A exemplo dos trabalhos citados acima, observa-se que a modelagem de árvores em 3D no ENVI-met exige informações detalhadas sobre suas características físicas, devido a restrições de tempo ou disponibilidade de instrumentos, a maioria dos estudos simplifica esse processo. De acordo com Liu et al (2021), quatro abordagens comumente são adotadas para adquirir as propriedades físicas das árvores, incluindo revisão da literatura, medição de árvores representativas, parametrização com base nas características físicas da árvore e seleção de modelos de árvores disponíveis no banco de dados *Albero*.

A esse respeito, embora o ENVI-met seja uma ferramenta de análise microclimática que possibilita a inserção de vegetação, a biblioteca de modelos disponíveis foi desenvolvida com base em vegetações encontradas em climas temperados, que muitas vezes não são

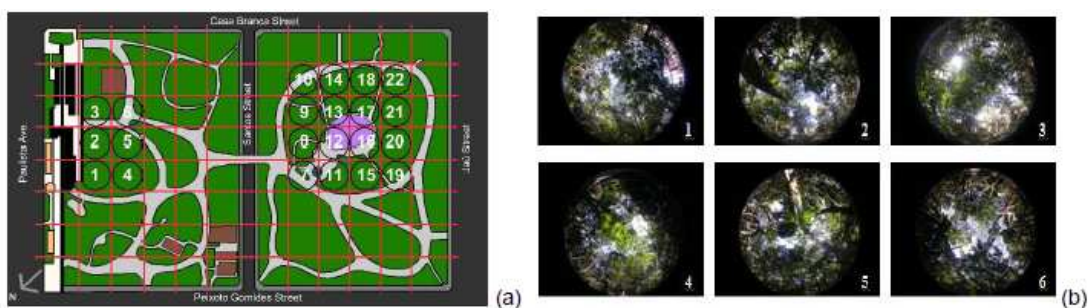
capazes de representar adequadamente a vegetação existente em climas tropicais (Liu et. al, 2021). Ademais, são poucos os estudos que fornecem recomendações específicas sobre a adaptação desses modelos no ENVI-met aos climas tropicais (Shinzato et al., 2016).

Estudo de Shinzato et al, (2016) apresenta uma metodologia de levantamento e parametrização de dados fisiológicos de plantas tropicais para inserção no ENVI-met, que tem servido de base para diversos outros autores. Para o levantamento dos dados fisiológicos das árvores da área de estudo, o estudo realizou medições de campo com ajuda de aparelhos para coleta de dados de IAF (Índice de Área Foliar), que expressa a relação entre a quantidade de total área das folhas em $1m^3$, para posteriormente ser calculado os DAFs a serem inseridos no sistema ENVI-met da vegetação.

O IAF possui uma relação direta com a quantidade de luz, energia e absorção de dióxido de carbono. Logo, o IAF é um parâmetro fundamental para determinar diversos processos ecológicos e fisiológicos, tais como a fotossíntese e a evapotranspiração. Desse modo, é possível fazer previsões das taxas de troca de energia entre a vegetação e a atmosfera, o mapeamento do crescimento futuro das plantas e a identificação de alterações na estrutura da copa devido à poluição do ar e às mudanças climáticas. (Shinzato e Duarte, 2018).

Sobre a planta da área de estudo, o Parque Tenente Siqueira Campos (Parque Trianon), situado na Avenida Paulista, foi criada uma grade de 20x20m para definir pontos de medição (Figura 11). Foram definidas duas áreas de medições, uma com pouca densidade de árvores localizada na entrada do parque (pontos 1 a 6) e a segunda localizada no segundo quarteirão do parque com alta densidade arbórea (pontos 7 a 22).

Figura 11. (a)Planta do parque com os pontos de medição e (b) fotos hemisféricas

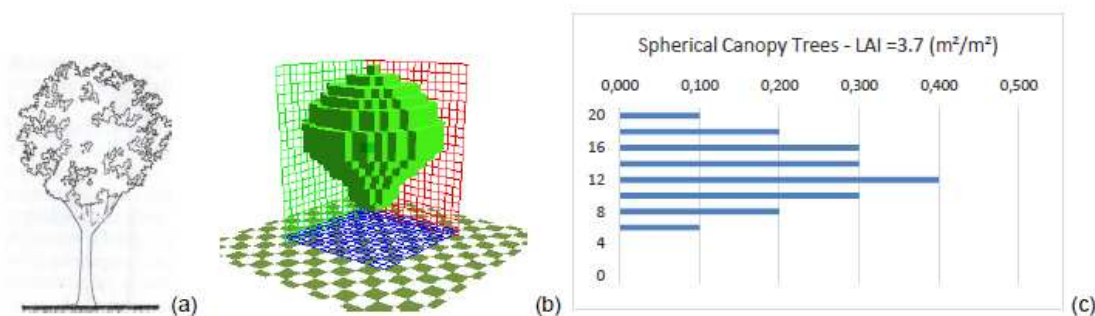


Fonte: Shinzato et al, (2016).

Foram coletadas imagens hemisféricas da copa obtidas através de uma lente hemisférica (olho de peixe) abaixo da copa. Cada imagem foi pré-processada no modelo

Can-Eye que calcula o valor do LAI verdadeiro e estima o IAF (Shinzato et al, 2016). Posteriormente, utilizando o módulo *Albero* no ENVI-met, um modelo de árvore mais semelhante à espécie (Figura 12), foi selecionado e editado para ajustar o perfil DAF para cada tipologia de árvores levantadas (Shinzato et al, 2016). Logo, esses modelos são utilizados por diversos outros trabalhos para análise de árvores com formatos e configurações mais próximas aos de clima tropical brasileiro.

Figura 12. Representação do modelo de árvore com o respectivo IAF-LAI



Fonte: Shinzato et al, (2016).

Outro trabalho muito referenciado é o estudo microclimático realizado por Paula et al (2016) que realizou a caracterização das espécimes arbóreas em uma área do Mato Grosso, realizando medições de campo com mensuração de IAF. Inicialmente, a localização das árvores foi realizada por meio de medição e imagens de satélite disponibilizadas pelo Google Earth. No levantamento das espécies foram contabilizados os indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou superior a 20 cm e altura superior a 2m, proporcionando uma catalogação de 98 árvores. Também foram realizados levantamento fotográfico e extração de amostras de folhas e flores e a identificação das espécies.

A pesquisa utilizou o equipamento Ceptômetro LP-80 AccuPAR, Decagron Devices para o cálculo de IAF, medindo a interceptação de luz sob a copa das plantas. Foram medidas a radiação solar global a céu aberto e quatro medições à sombra da copa da unidade arbórea. Com base nas medições da radiação solar incidente e da transmitância da radiação através do dossel, a leitura do aparelho determinou a estimativa do IAF. Conforme distribuição uniforme deste parâmetro ao longo da copa, foram definidos as DAFs a partir dos IAFs. Para configuração das árvores no ENVI-met, foi escolhido um modelo de árvore previamente configurada do *Albedo* e modificadas as configurações de Alturas e DAF, como mostra a Tabela 2 (Paula et al, 2016).

Tabela 2. Banco de dados de elementos arbóreos levantados por Paula et, al (2016)

Espécie, quantidade	Nome científico	Altura total (m)	Altura do fuste (m)	Altura da copa (m)	IAF (m ² /m ²)	LAD (m ² /m ³)
Mangueira, 2	<i>Mangifera Indica</i>	8,350	3,150	5,200	5,265	1,013
Mogno, 35	<i>Swietenia Macrophylla</i>	9,522	7,202	2,320	4,729	2,038
Oiti, 26	<i>Licania Tomentosa</i>	7,564	2,755	4,809	4,734	0,984
Paineira, 8	<i>Ceiba Speciosa</i>	6,194	3,835	2,359	2,696	1,143
Palmeira butiá, 11	<i>Butia Eriopatha</i>	4,925	2,475	2,449	2,288	0,934
Palmeira Imperial, 3	<i>Roystonea Regia</i>	9,000	5,333	3,667	3,073	0,838
Pata de Vaca, 9	<i>Bauhinia Forficata</i>	5,762	2,941	2,821	2,428	0,861
Sete copas, 1	<i>Terminalia Catappa</i>	5,000	2,000	3,000	1,690	0,563
Língua de sogra, 3	<i>Albizia lebbbeck (L.) Benth.</i>	8,228	3,512	4,716	4,192	0,889

Fonte: Paula et, al (2016)

Devido a pouca disponibilidade de dados sobre as espécies tropicais para o sistema ENVI-met e a impossibilidade de levantamentos de campos detalhados, muitos estudos utilizam os trabalhos de Paula *et, al* (2016) e Shinzato *et al*, (2016) como referências para a modelagem a partir dos IAF e DAF coletados, para seleção das espécies de árvores a serem modeladas e simulada, como são os estudos de Werneck (2018) por exemplo, utilizou as configurações da espécie Oiti (*Licania tomentosa*), com base nos estudo de Paula et al. (2016) Outro trabalho muito referenciado é o de Rosseti *et, al* (2019) que buscou estabelecer uma metodologia de levantamento e configuração da DAF para incorporação em banco de dados de vegetação do software ENVI-met, Com base no trabalho de Shinzato (2018), para definição do fator de distribuição da DAF para as 10 camadas da copa, tendo como área de estudo o município de Cuiabá, Mato Grosso, sendo a vegetação de Cerrado a mais predominante na região.

Silva (2021) e Lima (2018) também utilizam os dados fisiológicos levantados por Shinzato et at. (2019) para a edição de indivíduos arbóreos mesclando com configurações prévias de vegetação do ENVI-met. Silva (2021) realizou levantamento quantitativo dos indivíduos arbóreos na área de estudo de Confisco em Belo Horizonte. Posteriormente, foram quantificadas a arborização, a partir das imagens de satélite disponíveis no Google Maps e Google Street View, agrupando-as em 3 tipologias: alta (acima de 7 metros de altura); média (entre 6 e 4 metros de altura); e baixa (até 3 metros de altura). (Silva, 2021)

Dentre as espécies encontradas nos espaços públicos, as árvores de porte alto, as espécies mais encontradas foram a Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*), Oiti (*Licania tomentosa*) e Leucena (*Leucaena leucocephala*). As árvores predominantes de médio e pequeno porte foram da espécie Murta (*Myrtus*) (Silva, 2021). Foram mescladas duas estratégias diferentes para configuração das árvores no *Albero*, levando em consideração o porte e espécie das árvores. Para representar a espécie Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*) de porte alto, utilizou-se a modelagem elaborada por Shinzato et al. (2019) para o Amendoim- acácia (*Tipuana tipu*), com escalonações para uma altura média considerada de 15 metros. Para representar das árvores de médio porte e arbustos foi utilizado uma árvore genérica existente no banco de dados do ENVI-met, levando em consideração o tipo de porte, densidade e formato da copa que mais se aproximava da espécie Murta - *Myrtus* (Silva, 2021).

Pesquisa realizada por Lima (2018) e Silva (2021), utilizou de edições no modelo *Albero* para adaptação da vegetação brasileira. Com base nas características da espécie disponíveis na literatura e na configuração de espécies de copa densa brasileiras adotadas por Shinzato; Durante (2012) e Rosseti (2013), foram feitas edições para representação da espécie Sibipiruna, para serem inseridas nos cenários simulados.

Devido à pouca disponibilidade de dados sobre espécies tropicais no sistema ENVI-met e à impossibilidade de levantamentos de campo detalhados, muitos estudos utilizam como referência os trabalhos de Paula et al. (2016) e Shinzato et al. (2016). Esses estudos fornecem parâmetros como Índice de Área Foliar (IAF) e Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e a porcentagem de distribuição de DAFs, que são essenciais para a modelagem e seleção de espécies arbóreas a serem simuladas.

Werneck (2018), por exemplo, utilizou as configurações da espécie Oiti (*Licania tomentosa*), baseando-se no estudo de Paula et al. (2016). Rosseti et al. (2019), que buscou estabelecer uma metodologia de levantamento e configuração do DAP para incorporação no banco de dados de vegetação do software ENVI-met, também teve como base o trabalho de Shinzato (2019) para definir o fator de distribuição do DAP ao longo das 10 camadas da copa, considerando como área de estudo o município de Cuiabá, Mato Grosso, onde a vegetação predominante é o Cerrado.

Silva (2021) e Lima (2018) utilizaram os dados fisiológicos de Shinzato et al. (2019) para editar indivíduos arbóreos no ENVI-met. No caso de Silva (2021), foi realizado um

levantamento quantitativo da arborização em Confisco, Belo Horizonte, com base em imagens de satélite do Google Maps e Google Street View. As árvores foram classificadas em três categorias: Alta (>7m): *Caesalpinia pluviosa*, *Licania tomentosa*, *Leucaena leucocephala* Média (4-6m) e Baixa (<3m): *Myrtus*. Para modelar a Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*), utilizou-se a configuração de *Tipuana tipu* (Shinzato et al., 2019), ajustada para 15m de altura. Árvores menores foram representadas por um modelo genérico do ENVI-met, considerando porte, densidade e formato da copa semelhante à *Myrtus* (Silva, 2021).

As pesquisas de Lima (2018) e Silva (2021) realizaram edições no módulo *Albero* para adaptar a vegetação brasileira para a espécie foram feitas adaptações para a representação também da Sibipiruna, possibilitando sua inserção nos cenários simulados no ENVI-met. Com base nas características das espécies disponíveis na literatura e nas configurações de espécies de copa densa adotadas por Shinzato e Durante (2018) e Rosseti (2013).

Os estudos indicam que a incorporação de mais dados ao processo de modelagem melhora a qualidade das simulações. No entanto, a falta de informações detalhadas não inviabiliza as análises, pois diversos trabalhos demonstram que é possível parametrizar modelos de vegetação com características genéricas, como altura, densidade foliar e diâmetro da copa (Liu et al., 2021). Além de padronizar pesquisas, esse método facilita análises propositivas para inserção de vegetação, simulações em climas tropicais com pouca cartografia da vegetação nativa e estudos em regiões com biomas diversos, como o Brasil.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e método experimental, ao buscar compreender, por meio de simulações computacionais, os efeitos da vegetação sobre a regulação térmica urbana em um trecho específico da cidade de Viçosa (MG). A área de estudo foi representada no software ENVI-met (versão 5.6.1) a partir da construção de um modelo tridimensional, elaborado com base em dados empíricos obtidos em campo, como cobertura vegetal, materiais de superfície, dimensões das edificações e condições meteorológicas locais. Essa modelagem busca traduzir a complexidade do ambiente urbano em uma estrutura computacional operável, permitindo a análise de variáveis microclimáticas com alta resolução espacial e temporal.

Entretanto, o ENVI-met opera com algumas simplificações necessárias para viabilizar o processo de simulação, como a representação limitada das edificações (que não contempla elementos internos nem variações construtivas mais complexas) e o uso de parâmetros predefinidos, o que pode restringir a fidelidade da representação de determinadas condições urbanas (Perini & Magliocco, 2014). Além disso, embora a licença científica utilizada não imponha restrições ao tamanho da grade, o software exige elevada capacidade computacional e apresenta longos tempos de simulação, mesmo em malhas otimizadas (Crank et al., 2018). Essas características impuseram limitações operacionais à pesquisa, como a necessidade de restringir a análise apenas à estação do verão e a um número reduzido de cenários e simulações, além de dificultar a execução da etapa de calibração do modelo, o que pode ter influenciado a precisão dos dados de saída e a representação da influência das áreas verdes propostas no modelo (Skelhorn et al., 2016).

Apesar dessas limitações, o ENVI-met mostrou-se uma ferramenta eficaz para explorar cenários urbanos e apoiar a formulação de estratégias voltadas à mitigação dos efeitos térmicos em ambientes urbanos, contribuindo para um planejamento climático mais resiliente e sustentável.

3.1.1. Delimitação da Área de Estudo

Para a análise dos microclimas, foi escolhido como campo de estudo um trecho de uma das principais vias urbanas localizada na região central de Viçosa de maior adensamento e de forte especulação imobiliária, a Avenida. Peter Henry Rolfs, abreviada para P. H. Rolfs (Figura 13), principal acesso de conexão do centro urbano da cidade ao campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Figura 13. Imagens aéreas da região central no entorno da Avenida P. H. Rolfs em Viçosa



Fonte: Adaptada do Google Earth (2024).

O trecho possui aproximadamente 530 metros de extensão na sua parte urbana (o restante está localizado dentro do campus da UFV) e interliga dois pontos centrais da cidade de Viçosa, a Praça do Rosário (próxima ao calçadão comercial) e as Quatro Pilastras, principal eixo de entrada para o campus da UFV.

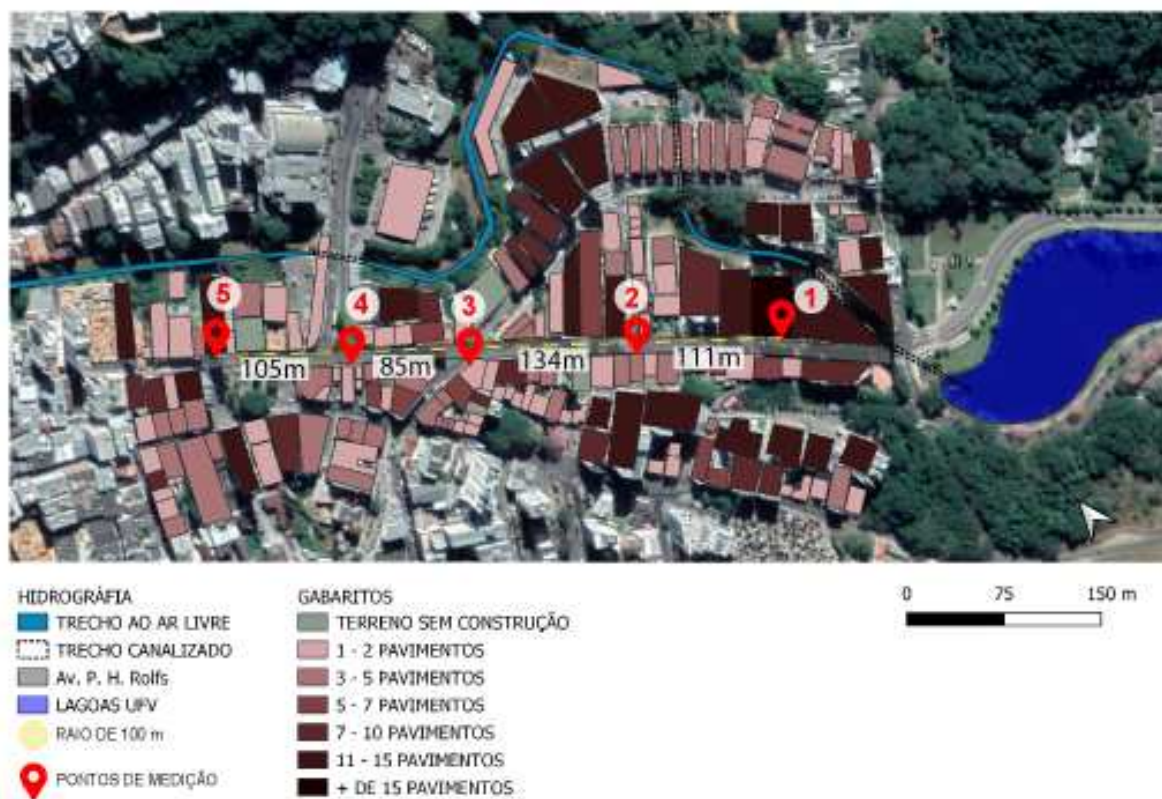
Nos últimos 20 anos (entre 2002 e 2022), a região do entorno da Av. P. H. Rolf, modificou consideravelmente sua paisagem urbana devido à intensa verticalização observada entre 2002 e 2022, sendo uma área de forte especulação imobiliária (Paula, 2019). Logo, a

avenida se configura em uma área potencial de análise de microclimas urbanos na cidade de Viçosa, tanto para análise das microclimáticas, quanto para estudos de infraestruturas verdes, principalmente em contexto de mudanças climáticas.

3.1.1.1. Pontos de Monitoramento

Para análise de campo térmico do trecho da Avenida P. H. Rolfs, foram escolhidos cinco pontos de monitoramento microclimáticos. A seleção dos pontos foi feita com base nos diferentes contextos de ocupação urbanas presentes ao longo da via (Figura 14).

Figura 14 - Mapa de gabaritos ao longo da Av. P. H. Rols em Viçosa, MG



Fonte: Autoral, 2025.

A segmentação considerou dois principais fatores: variação de gabaritos (altura e tipologia das edificações) e a presença ou ausência de infraestrutura verde, características que influenciam diretamente o campo térmico. A escolha também inclui pontos que representam condições específicas, como áreas de transição entre espaços verdes e urbanos, cruzamentos viários de diferentes configurações, além de setores com diferentes densidades e fluxos de pedestres e veículos (Quadro 1). Essa estratégia amostral assegurou a representação de distintas morfologias ao longo da avenida, abrangendo desde áreas mais arborizadas até zonas densamente verticalizadas, com diferentes graus de sombreamento e exposição ao céu aberto.

Quadro 1. Diferentes contextos urbanos presentes ao longo da área de estudo

Imagens da área de estudo	Descrição do contexto urbano
	<p>Rotatório – Transição entre área urbana e verde</p> <ul style="list-style-type: none">● Campo de visão do céu amplo.● Fluxo intenso de pedestres e veículos.● Espaço verde com vegetação densa e solo natural.● Presença de corpos d'água (lagoa), promovendo lazer e descompressão.
	<p>Início da Avenida P. H. Rolfs – Transição verde-urbana</p> <ul style="list-style-type: none">● Área de transição entre a área verde do campus UFV e a zona urbana.● Alta concentração de habitações estudantis.● Campo de visão do céu amplo.● Fluxo intenso de pedestres e veículos.
	<p>Ponto 1 – Área mais verticalizada da avenida</p> <ul style="list-style-type: none">● Formato de cânion urbano com edifícios de até 17 pavimentos.● Campo de visão do céu reduzido.● Fluxo intenso de pedestres e veículos.● Sombreamento predominante no período da manhã.
	<p>Ponto 2 – Verticalização mista</p> <ul style="list-style-type: none">● Edifícios antigos (até 5 pavimentos) misturados a novos (até 12 pavimentos).● Campo de visão do céu maior.● Fluxo intenso de pedestres e veículos.● Sombreamento no período da manhã.
	<p>Ponto 3 – Cruzamento viário amplo sem vegetação</p> <ul style="list-style-type: none">● Edifícios antigos de até 5 pavimentos.● Campo de visão do céu amplo.● Fluxo intenso de pedestres e veículos.● Ausência de vegetação.



Ponto 4 – Cruzamento viário amplo com vegetação

- Edifícios antigos de até 3 pavimentos.
- Campo de visão do céu amplo.
- Fluxo intenso de pedestres e veículos.
- Presença de vegetação arbórea e rasteira nos canteiros centrais.



Ponto 5 – Praça do Rosário

- Edifícios novos de até 12 pavimentos.
- Campo de visão do céu mediano.
- Fluxo intenso de pedestres e veículos.
- Vegetação arbórea e rasteira no centro da praça.
- Área utilizada para passagem e permanência.

Fonte: Autoral, 2025.

No Ponto 1, a área mais verticalizada da Avenida, é marcado pela presença de edifícios de até 17 pavimentos, formando um cânion urbano que reduz o campo de visão do céu. Essa configuração limita a dissipação térmica e intensifica o efeito de ilha de calor urbana, especialmente nos horários de maior insolação. Além disso, o sombreamento gerado pelos edifícios é significativo no período da manhã, reforçando as características térmicas específicas desse setor.

No Ponto 2, a presença de verticalização mista, com edifícios antigos (até 5 pavimentos) e construções mais recentes de até 12 pavimentos, oferece um campo de visão do céu mais amplo em comparação ao Ponto 1. Apesar disso, a sombra projetada pelas edificações no período matutino ainda é perceptível, mas a variação na altura dos edifícios possibilita maior dissipação térmica. O Ponto 3, por sua vez, caracteriza-se por edificações menores (até 5 pavimentos) e ausência de vegetação, resultando em um campo de visão do céu bastante amplo. Embora essa configuração possa favorecer a dissipação térmica, ela também possibilita maior incidência de radiação, que juntamente com a falta de áreas verdes, pode contribuir para temperaturas mais elevadas durante o dia.

O Ponto 4, uma área de cruzamento entre vias com edificações menores (até 3 pavimentos), combina um campo de visão do céu amplo, intenso fluxo de veículos, com pequena presença de vegetação arbórea e rasteira nos canteiros centrais. Por fim, o Ponto 5, localizado no entorno da Praça do Rosário, apresenta edificações de até 12 pavimentos, com

um campo de visão do céu mediano. A presença de vegetação arbórea e rasteira na praça central pode impactar no microclima, criando condições térmicas mais confortáveis.

3.2. MONITORAMENTO CLIMÁTICO

3.2.1. Método e Equipamentos

A pesquisa utilizou dois métodos de coleta de dados em campo: o método tradicional com instalação de estações meteorológicas fixas em pontos estratégicos da área de estudo e a partir do método de transecto móvel. O método do transecto móvel é uma abordagem utilizada para realizar medições de parâmetros climáticos ao longo de percursos feitos a pé, de bicicleta ou por veículos automotores. Esse procedimento é amplamente aplicado na climatologia urbana para analisar variações nos parâmetros climáticos em diferentes áreas de uma cidade, que podem ter diferentes tipos de ocupação do solo. O transecto móvel é empregado por sua simplicidade e baixo custo operacional, especialmente quando comparado à instalação de várias estações fixas para a coleta de dados, tornando-o uma opção prática e eficaz para estudos climáticos urbanos (Valin Júnior e Santos, 2021).

Para a coleta de dados fixos, foram contruídas estações meteorológicas fixas (EF), que foram provisoriamente instaladas em edificações nos cinco pontos selecionados para a análise (Quadro 2). As EF foram instaladas em fachadas e marquises descobertas de edifícios voltados para a via, posicionadas no ponto mais próximo possível da calçada que garantisse segurança aos equipamentos. A altura variou conforme as condições do local. Para a coleta de dados por transecto móvel, as medições foram realizadas na calçada, diretamente abaixo das EF, a uma altura de 1,50 metros da calçada (mesma altura da estação meteorológica - INMET) rente ao meio-fio.

Quadro 2 - Imagens dos locais de instalação Estações Meteorológicas Fixas nos cinco pontos

PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
Altura*: 7,5m	Altura: 4,2m	Altura: 4,68m	Altura: 3,55m	Altura: 5,7m
				
Edifício Tocqueville (nº 305)	Edifício Bela Vista (nº 260)	Edifício Boca Viçosa (nº 138)	Edifício do Posto de gasolina (nº 40)	Edifício Roberto Del Giudice (nº 01)




Marcação (em vermelho) da estação meteorológica fixa no edifício

*Alturas dos pontos em relação a calçada.

Fonte: Autoral, 2025.

Para a coleta de dados foram utilizados termohigrômetros de temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR), Hobo Data loggers e câmera termográfica (Quadro 3), fornecidos pelo Laboratório de Tecnologias em Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LATECAE) da UFV.

Quadro 3. Quadro dos equipamentos utilizados nas medições de campo

A	B	C	D
			
Hobo Data loggers Marca: Onset Comp Modelo: Hobo U10 Temp/RH Propriedade: LATECAE	Abrigo meteorológico feito com tubo de PVC recoberto com alumínio Propriedade:LATECAE	Estação meteorológica fixa, provisória, instalada em um dos pontos de medição	Câmera Termográfica pontual Marca: Flir Modelo: TG165-X Propriedade: LATECAE

Fonte: Autoral, 2025.

Para proteção do equipamento de medição das intempéries e interferências, foram construídos abrigos meteorológicos feitos com tubos de PVC (canos hidráulicos de 10 cm de

diâmetro), recobertos com papel alumínio, para reflexão da radiação solar (Quadro 3. D). Para a coleta de dados por meio de transecto móvel (TM), também foi utilizado um medidor automático, Hobos data logger/onset, com abrigo meteorológico de PVC, iguais aos das medições fixas e uma câmera termográfica (CT), como é mostrado no Quadro 3. O Transecto foi realizado a pé, seguindo as instruções do trabalho de Fialho (2009).

3.2.2. Período do Monitoramento climático

A coleta de dados com EF, ocorreram nas duas estações representativas de extremos climáticos anuais (inverno e verão). Para representação dessas estações foram escolhidos um dos meses historicamente mais quentes do ano (janeiro e fevereiro) e mais frios (julho e agosto) da cidade de Viçosa (Climate-Data, 2025). O período de coleta de dados nas EF foi de 32 dias, para cada estação do ano. No inverno os dados climáticos foram coletados em 2023, com início no dia 18 de Julho e término em 18 de Agosto. No verão, os dados climáticos foram coletados em 2024, com início no dia 27 de Janeiro a 27 de Fevereiro. O intervalo horário programado para coleta foi de 10 minutos, medindo 24 horas por dia.

A coleta de dados com TM seguiu um intervalo médio de 4 minutos entre os pontos, permitindo uma distribuição uniforme e abrangente ao longo do trajeto. O tempo médio para percorrer toda a extensão da Avenida foi de 30 minutos, o que garantiu a execução das medições dentro de um intervalo de tempo adequado para evitar variações significativas devido a alterações climáticas pontuais. Para garantir representatividade, as medições foram realizadas em horários estratégicos: 9h, 12h, 15h e 18h, cobrindo momentos críticos do ciclo térmico diário. O medidor foi posicionado a uma altura de 1,50 m, de acordo com as normas de monitoramento ambiental, representando a altura média da percepção térmica de pedestres. O medidor foi previamente programado para coletar dados a cada 1 minuto durante o trajeto, sendo demarcado pelo pesquisador o tempo de passagem exata nos 5 pontos de análise.

Devido às altas temperaturas registradas no verão de 2024 e ao risco à saúde do pesquisador, optou-se por realizar as medições exclusivamente na estação de inverno, quando as condições climáticas são mais amenas e seguras para o trabalho de campo.

3.3. SIMULAÇÃO

Esta pesquisa utilizou a versão atual V5.6.1, projetada para analisar o microclima com uma resolução horizontal que varia de 0,5 a 5 metros e um período de tempo típico de 24 a 48

horas, com um passo de tempo de poucos segundos. Essa resolução possibilita a análise de interações em pequena escala entre edifícios, superfícies e plantas individuais. Na licença utilizada a modelagem foi ilimitada, permitindo a modelagem do entorno do estudo, simulação de telhados e fachadas verdes com camada de substrato, integração de corpos d'água e forçamento total com dados de referência climáticos, anuais.

3.3.1. Modelagem da Área de Estudo

Para modelagem da área de estudo, foram construídos quatro modelos representativos. O Modelo 1, contém a representação da situação urbana atual da área de estudo, que será o modelo de base da análise. O modelo 2, 3 e 4, consiste na representação de proposições de áreas verdes ao longo da área de estudo, a saber: arborização viária, cobertura verde e fachada verde, respectivamente.

A modelagem de base, Modelo 1, foi feita no *software* Sketchup Pro (2021) de modelagem 3D sobre uma imagem de satélite do próprio localizador geográfico do sistema. Foi delimitado para modelagem o trecho da Av. P. H. Rolfs, a área das quatro pilastras (próxima ao Ponto 1) ao ponto 5 (Praça do Rosário) e os edifícios do seu entorno imediato em um raio de 100m, gerando uma modelagem total medindo 805m por 400m (Quadro 4). A georeferenciação foi feita utilizando o localizador padrão do sistema - UTM (*Universal Transverse Mercator* em inglês) com coordenadas geográficas: Longitude: $-42,88167^\circ$ e Latitude -20.75389° . As demais configurações foram mantidas as padrão do sistema.

Quadro 4. Imagens ilustrativas das proposições de implementações de áreas verdes ao longo da Av. P. H. Rolfs para enfrentamento ao aumento de Temperatura Futuro



Fonte: Autoral, 2025.

Os gabaritos dos edifícios foram coletados a partir de imagens do Google Maps e em campo, sendo considerado todos os pés-direitos dos pavimentos com 3 metros. Para os

materiais de revestimento das superfícies e da vegetação foram selecionados modelos pré-configurados no *plugin* Envimet INX que mais se assemelham aos materiais presentes no local e utilizados na bibliografia estudada (Tabela 3).

Tabela 3. Fluxograma das etapas de simulação utilizando ENVI-met V5

Materiais	Módulo do Envimet INX	Configurações
Asfalto	Create Envimet Soil	Asphalt Road
Calçada e espaços impermeáveis	Create Envimet Soil	Concrete Pavement Gray
Solo natural com grama	Create Envimet Simple_plant	Grass 25 cm Aver. Dense
Lagoas e rios	Create Envimet Source	Water Fountain 4m legacy
Edifícios Comuns	Create Envimet Building	Nome: SKP BUILDING Wall Material: Concrete Wall (Light Weight) Roof Material: Concrete Wall (Hollow Block)
Vegetação existente	Create Envimet Plant3d	Spherical, Medium Trunk, Dense, Medium (15m)

Fonte: Autoral, retirados do sistema Envimet INX, 2024.

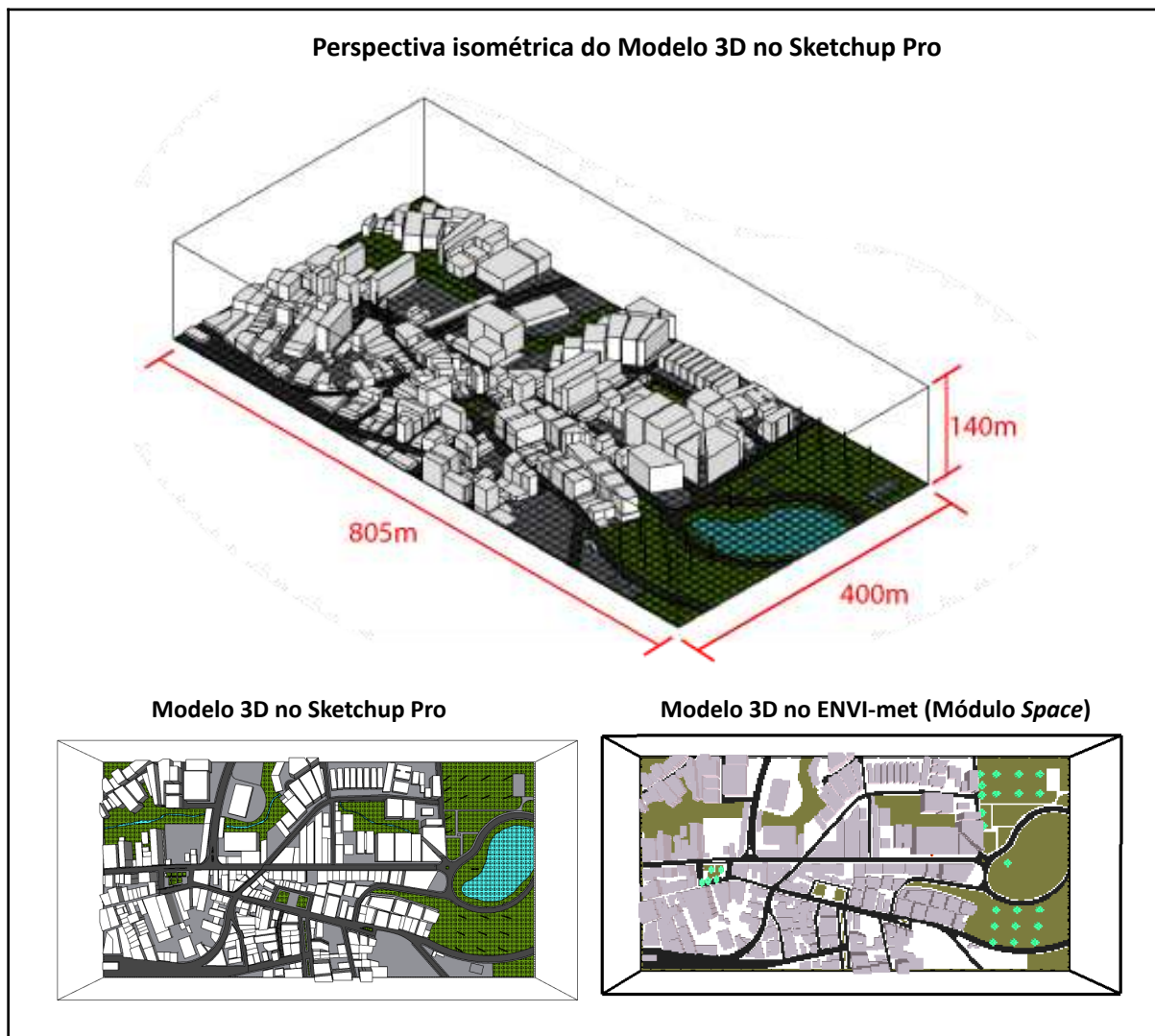
Posteriormente, a modelagem foi inserida no *grid* do ENVI-met pelo *plugin* Envimet INX (Tabela 4 e Figura 15), seguindo o guia metodológico disponibilizado pela LaSUS FAU (Frederico e Silva et al, 2022). O escopo vertical, que limita a atmosfera urbana analisada, da grade de simulação foi limitado a duas vezes a altura do edifício mais alto envolvido. No escopo horizontal da grade de simulação foi acrescentado 1m de cada lado para recuo da grade no sistema.

Tabela 4. Configuração do Grid da modelagem no Envimet INX (Create Combined Grid)

Módulo no Envi met inx	Configuração utilizada
Tipo de Grid	Combinado
Num Z cells	20
Dimensão de X (m)	3.0
Dimensão de Y (m)	3.0
Dimensão de Z (m)	3.0
Start Telescope Height	6.0 (padrão do sistema)
Telescope	8.0 (padrão do sistema)
Rotação (0°-360° anti horário) [0.0 Norte]	-322.0

Fonte: Autoral, retirados do sistema Envimet INX, 2024.

Figura 15. Imagem do Modelo representativo da área de estudo com gride atmosférico



Fonte: Autoral, 2025.

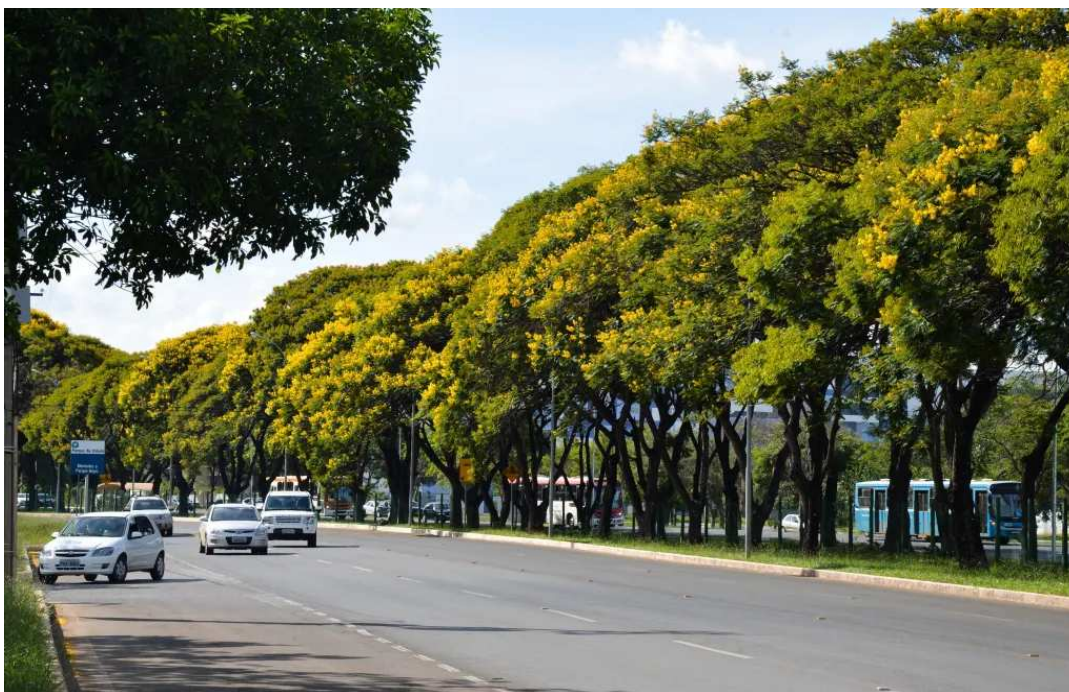
3.3.2. Configuração das proposições de vegetações urbanas

Devido à impossibilidade de se fazer a coleta de dados fisiológicos das plantas, foram utilizados modelos de vegetação pré-configurados do ENVI-met, tanto para árvores quanto para coberturas e fachadas verdes. A escolha das tipologias e dos tamanhos considerou fatores como o porte das vegetações, o desenho urbano existente (incluindo a largura das vias), os limites dos espaços potenciais e os espaços livres nas coberturas de caixas d'água, conforme permitido pela legislação local.

Na proposição de arborização viária, os parâmetros ajustados basearam-se nos estudos de Silva (2021), Shinzato e Durante (2018) e Rosseti (2013), que forneceram dados para a representação da espécie tropical brasileira Sibipiruna (Figura 16) no sistema ENVI-met.

foram utilizados os parâmetros fisiológicos de uma árvore pré-configurada no módulo *Albero*, cuja descrição mais se aproxima da Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*), uma espécie originária da Mata Atlântica.

Figura 16. Imagem de Sibipirunas nas ruas de Brasília



Fonte: Bernadete Alves (2019). Disponível em:
<https://bernadetealves.com/2019/01/03/sibipirunas-deixam-brasilia-vestida-de-amarelo/>

A Sibipiruna, pertencente à família Leguminosae – Caesalpinioideae, pode atingir até 16 metros de altura, com tronco de 30 a 40 cm de diâmetro e coloração amarelada. É uma planta semidecídua, adaptável às condições físicas do solo e amplamente recomendada para reflorestamento, preservação ambiental, arborização urbana, paisagismo e plantios domésticos (Instituto Brasileiro de Florestas, 2023). O bloco de árvore escolhido para representar essa espécie foi o modelo abstrato (02SMDM), tipo decíduo, com copa de formato esférico, com médio tronco, folhagem densa, Medium Trunk, Dense, Medium 15 metros de altura e 11 metros de diâmetro máximo da copa (Tabela 5).

Tabela 5. Configuração dos modelos de vegetação do ENVI-met utilizados na pesquisa

Propostas	Módulo do Envimet INX	Configurações
Arborização Viária	Create Envimet Plant3d	(02SMDM) Spherical, Medium Trunk, Dense, Medium (15m)
Cobertura e Fachada Verde	Create Envimet Building	Nome: SKP BUILDING Wall Material: Concrete Wall (Light Weight) Roof Material: Concrete Wall (Hollow Block) Green Roof Material: Green + Sandy loam substrate

Fonte: Autoral, 2025.

No modelo base da área de estudo, os blocos de árvores foram dispostos ao longo do centro da avenida, com um espaçamento de 35 metros entre eles, em um canteiro central gramado de 2 metros de largura. Para não comprometer o fluxo de veículos, as áreas de cruzamento entre vias foram mantidas sem arborização. No total, foram plantadas 10 árvores na avenida, preservando as já existentes no campus da UFV e na Praça do Rosário, conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 17. Imagem do Modelo 2 da área de estudo com proposição de arborização viária



Fonte: Autoral, 2025.

Devido à modelagem ter sido realizada no SketchUp para otimizar, as configurações de cobertura e fachada verdes precisaram ser ajustadas, utilizando modelos padronizados do sistema. Isso ocorreu porque o ENVI-met INX não permite a aplicação de diferentes materiais em uma mesma superfície do bloco de edifício. Assim, foram adotadas as configurações padrão do ENVI-met, considerando a presença de substratos. De igual modo, foram

selecionados modelos pré-configurados de edifícios com fachada e cobertura verde e optou-se por intercalar os edifícios: alguns receberam vegetação em toda a cobertura, enquanto outros não. As fachadas verdes seguiram a mesma lógica de alternância, conforme ilustrado na Figura 18, representando uma possível utilização de 50% dessas superfícies em cada edifício.

Figura 18. Imagem do Modelo 3 da área de estudo com proposição de cobertura verde



Fonte: Autoral, 2025.

Ao todo, foram gerados quatro modelos representativos (Tabela 6 abaixo). O primeiro, Modelo 1, corresponde à situação atual da avenida. O Modelo 2 representa a proposta com fachadas verdes e o Modelo 3 a de coberturas verdes, com a reconfiguração dos materiais dos edifícios de forma intercalada. Por fim, o Modelo 4 incorpora a proposta de arborização viária. Todas as configurações das modelagens foram editadas no plugin ENVI-met INX antes de serem inseridas no ENVI-met para simulação.

3.3.3. Cenários Climáticos Simulados

Para a análise comparativa do impacto da vegetação, foram modelados seis cenários climáticos distintos para simulação. Os cenários 1, 2 e 3, contendo o Modelo 1 de base, representam tanto o clima atual historicamente registrado quanto o clima futuro, sem a inserção de vegetação urbana. Já os cenários 4, 5 e 6 correspondem à projeção do clima futuro, considerando a implementação das propostas de vegetação.

A fim de avaliar os efeitos das proposições de vegetação em distintos contextos climáticos, foram simulados seis cenários, organizados conforme a Tabela 6. Para a criação dos cenários climáticos, foram utilizados arquivos climáticos (AC) baseados em séries de

dados históricos do TMY (Typical Meteorological Year, ou Ano Meteorológico Típico), que representa um ano médio derivado de uma série de anos analisados. Para o cenário baseado no clima atual, foram empregados dois AC históricos: um referente à série mais recente (2008-2020) e outro da série histórica maior (1985-2014), sendo este último utilizado como base para a geração do AC futuro.

Tabela 6. Cenários climáticos a serem simulados no ENVI-met

Cenários	Modelo 3D	Arquivo climático (AC)	Fonte	DDY
C1	Modelo 1	AC Histórico de Viçosa (2008-2020)	Era5*	16/01
C2	Modelo 1	AC Histórico de Viçosa (1985-2014)	Era5	13/10
C3	Modelo 1	AC Futuro de Viçosa (2080) (IPCC - SSP 2-4.5)	IPCC**	13/10
C4	Modelo 2	AC Futuro de Viçosa (2080) (IPCC - SSP 2-4.5)	IPCC**	13/10
C5	Modelo 3	AC Futuro de Viçosa (2080) (IPCC - SSP 2-4.5)	IPCC	13/10
C6	Modelo 4	AC Futuro de Viçosa (2080) (IPCC - SSP 2-4.5)	IPCC	13/10

*Era5 é uma fonte global de dados climáticos que utiliza dados provenientes de modelos atmosféricos globais. Mais informações disponíveis em: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview> Acesso em 24/07/2024.

Fonte: Autoral, 2025.

Para simulação de cenários climáticos futuros, foi utilizado uma ferramenta de interpolação de dados, o *Future Weather Generator*, que ajusta matematicamente os parâmetros climáticos de um local para corresponder às variáveis projetadas de um cenário do IPCC, mas preservando suas tendências históricas. Para a geração do arquivo futuro é necessário um arquivo EnergyPlus Weather (EPW), contendo a localização da estação meteorológica, condições de projeto, períodos típicos/extremos, temperaturas do solo, feriados/horário de verão, período de execução, comentários, períodos de dados opcionais e os dados meteorológicos reais (Rodrigues; Fernandes; Carvalho, 2023).

Para a criação de cenários futuros, foram gerados AC para o ano de 2080, considerando o cenário intermediário de emissões 245 do IPCC (SSP 2-4.5). Esse cenário prevê a manutenção das emissões de CO₂ em níveis próximos aos atuais até meados do século, com base nas projeções de aumento da temperatura global fornecidas pelo IPCC e é considerado um cenário intermediário de referência, frequentemente utilizado em estudos que buscam avaliar impactos futuros sem recorrer a projeções extremas de mitigação ou de

agravamento climático (IPCC, 2023). Todos os arquivos climáticos foram desenvolvidos pelo Laboratório de Tecnologias em Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LATECAE), utilizando as projeções do cenário intermediário de emissões de GEE (SSP 2-4.5).

Os arquivos TMY foram inseridos no ENVI-met no módulo *Full Forcing*, que é uma configuração de Condição de Contorno Lateral que permite impor perfis meteorológicos detalhados nas bordas do modelo durante a simulação. Isso inclui parâmetros como temperatura do ar, umidade, velocidade e direção do vento, radiação (ou cobertura de nuvens) e precipitação. Ao aplicar o *Full Forcing*, os valores definidos nos AC são copiados para as bordas do modelo, garantindo que as condições externas influenciam diretamente a simulação. Assim, o *Full Forcing* melhora a precisão das simulações, especialmente em cenários que envolvem variações climáticas significativas, como mudanças no clima ou no uso do solo (ENVI-met, 2025)

3.3.4. Período Simulado

Devido à demora no tempo de processamento das simulações e visando a otimização, foi selecionado um dia representativo da estação do verão para análise. Essa escolha se deve ao fato de o verão, segundo a análise dos dados coletados em campo, apresentar os maiores incrementos de temperatura (T) e, naturalmente, temperaturas mais elevadas. Para a simulação, foi escolhido um horário representativo com base no horário médio mais quente do verão, 15h, coletados em campo em cinco pontos ao longo da Avenida P. H. Rolfs. As simulações foram realizadas para um período de 2 horas, iniciando às 14h.

Os parâmetros climáticos analisados foram: imagens termográficas, temperatura potencial do ar¹ (T) e umidade relativa do ar (UR). A análise considerou o campo térmico ao nível da rua, a uma altura de 1,50 m da calçada, que correspondente à altura da estação meteorológica local (INMET).

As simulações seguiram a abordagem do dia típico de projeto (Design Day - DDY), uma ferramenta que identifica os dias mais representativos de um período climático com base em estatísticas, auxiliando na determinação das exigências higrotérmicas de verão e inverno (Goulart, Lamberts e Firmino, 1998). Foram escolhidos dias típicos de verão para os três

¹ No ENVI-met, a variável "Potential Air Temperature" (Temperatura Potencial do Ar) representa a temperatura que uma parcela de ar teria se fosse levada adiabaticamente (sem troca de calor com o ambiente) até uma pressão de referência padrão, geralmente 1000 hPa. Essa abordagem é adotada porque o ENVI-met realiza simulações considerando uma pressão atmosférica padrão, o que torna a "Temperatura Potencial do Ar" uma representação mais precisa da variável "Temperatura do Ar" dentro do modelo (ENVI-MET, 2025).

arquivos climáticos (históricos e futuro), utilizando a ferramenta de pré-processamento *WeatherConverter* do *EnergyPlus V23-2-0*. Os DDY coletados de cada AC para o verão constam na Tabela 6 acima.

4. RESULTADOS

4.1.1. Estações Meteorológicas Fixas

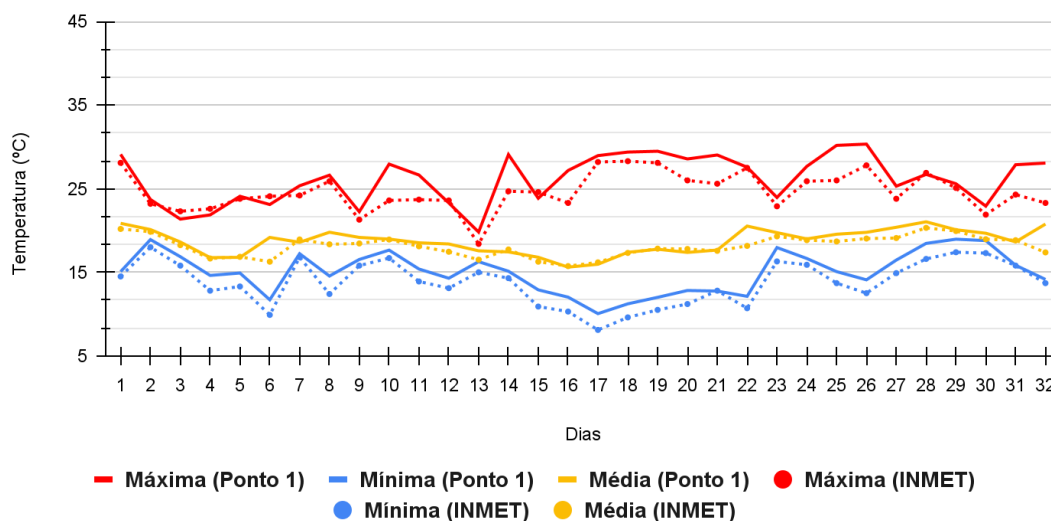
Os dados coletados nos cinco pontos de medição (Quadro 5), ao longo dos 32 dias de monitoramento, apresentaram um comportamento diário (aumento e diminuição da T e UR ao longo do dia) semelhante ao registrado pela estação do INMET. Contudo, houve variações significativas nos valores medidos nos 5 pontos com aumentos acentuados de T em ambas estações de inverno e verão, com maior variação da UR entre os pontos.

Quadro 5 - Dados diários de Temperatura e Umidade Relativa coletados nos 5 pontos da Av. P. H. Rolfs, ao longo dos 32 dias de medição, na estação de inverno, comparados aos dados coletados pela Estação Meteorológica INMET/UFV

INVERNO (2023)
PONTO 1

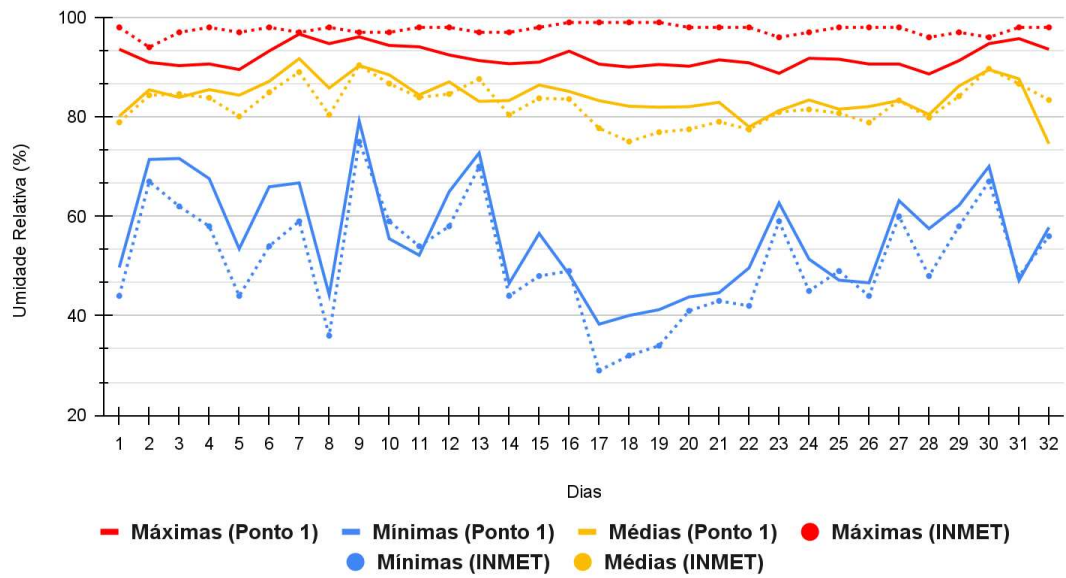
PONTO 1 - Temperaturas Diárias no Inverno

Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 1 - Umidade Relativa Média no Inverno

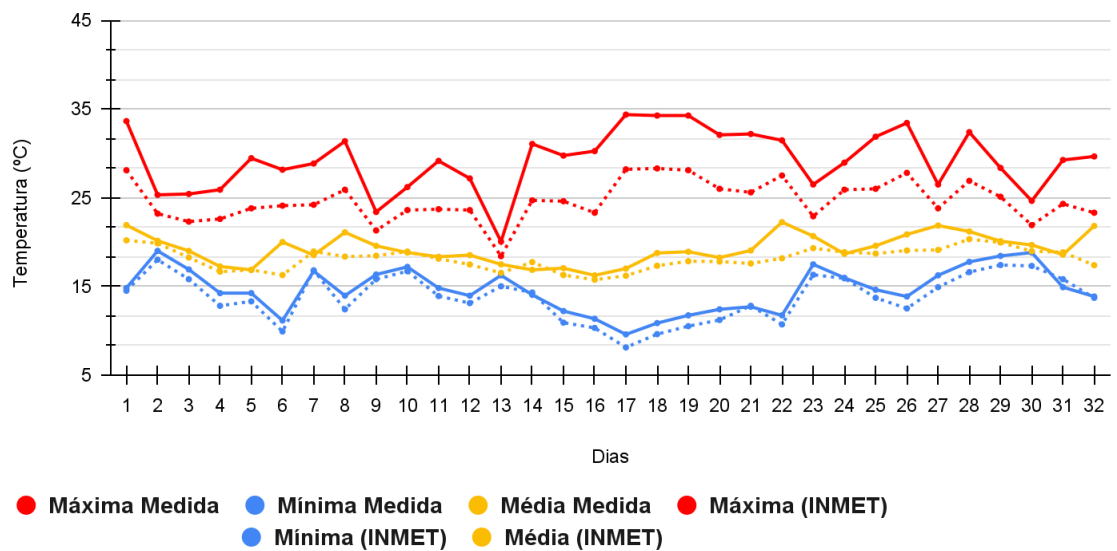
Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO2

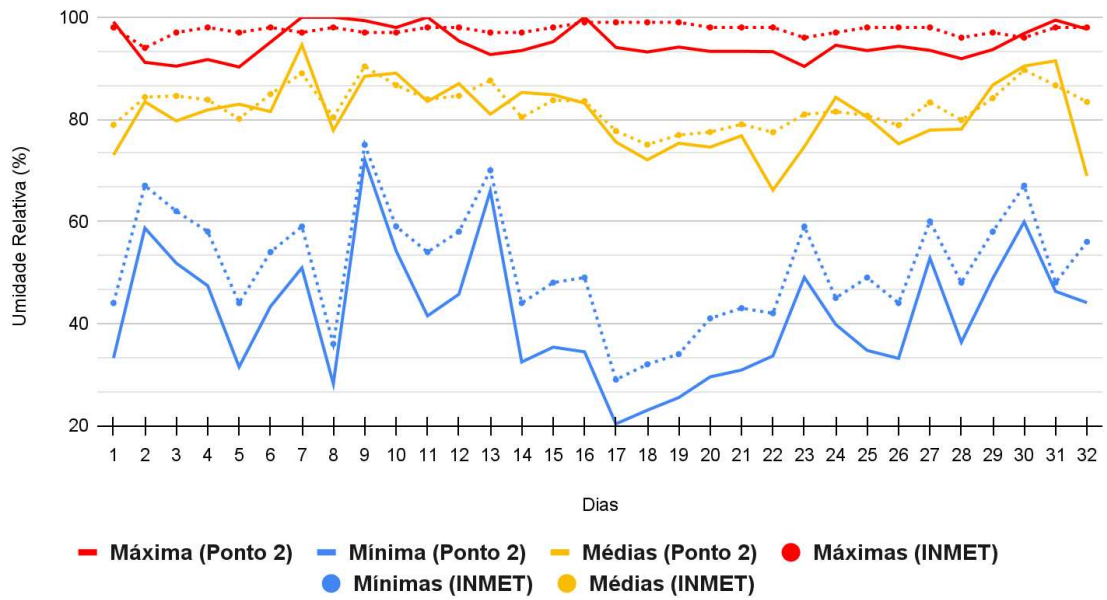
PONTO 2 - Temperaturas Diárias no Inverno

Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 2 - Umidade Relativa Média no Inverno

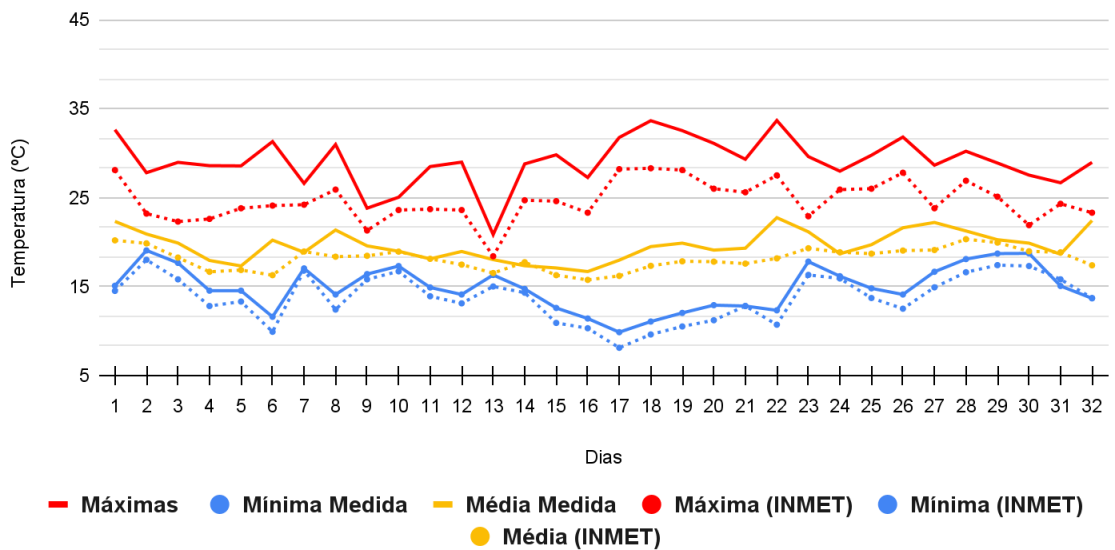
Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 3

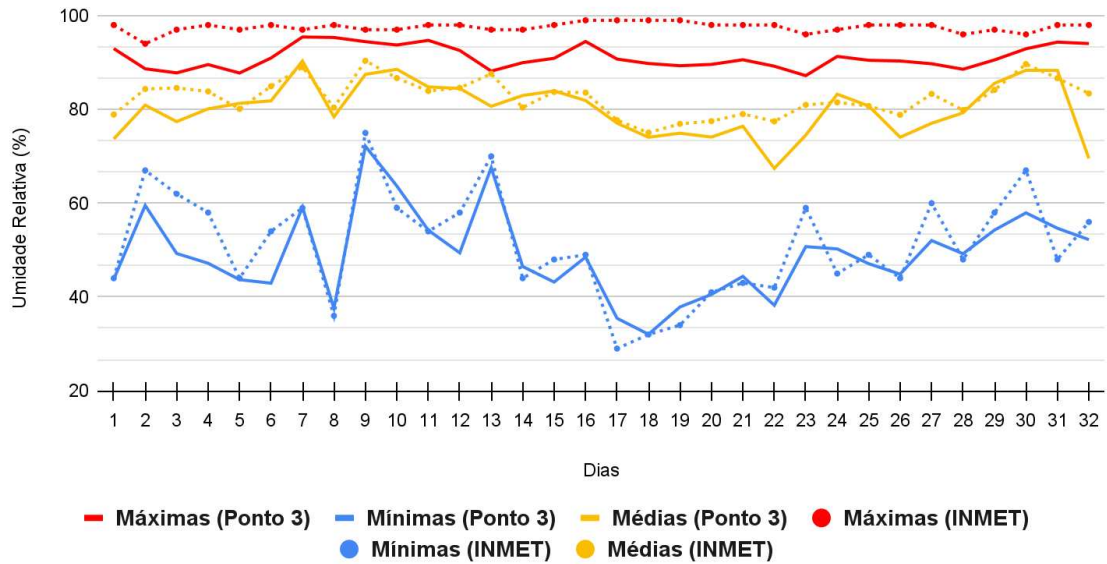
PONTO 3 - Temperaturas Diárias no Inverno

Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 3 - Umidade Relativa Média no Inverno

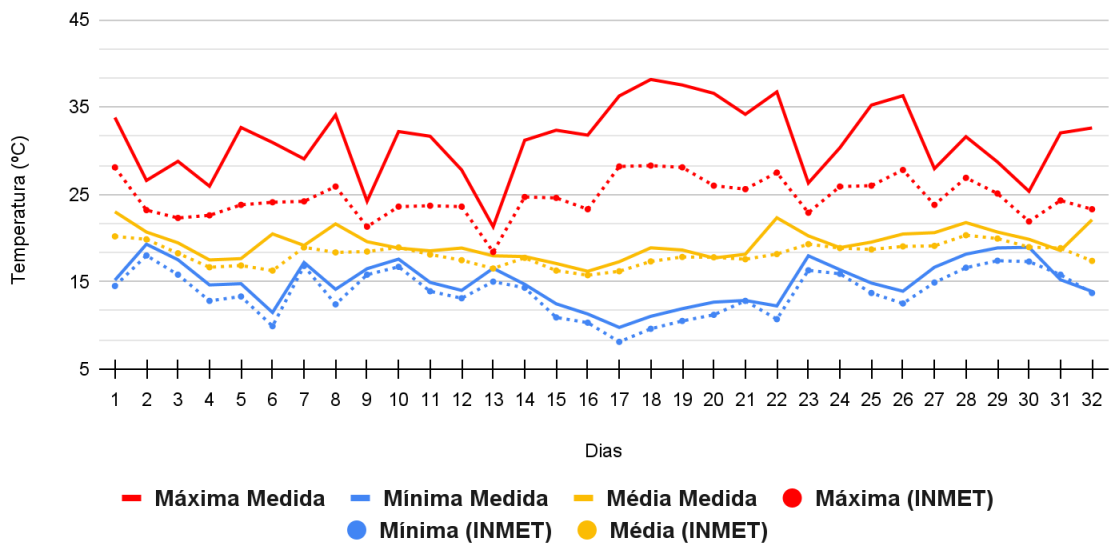
Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 4

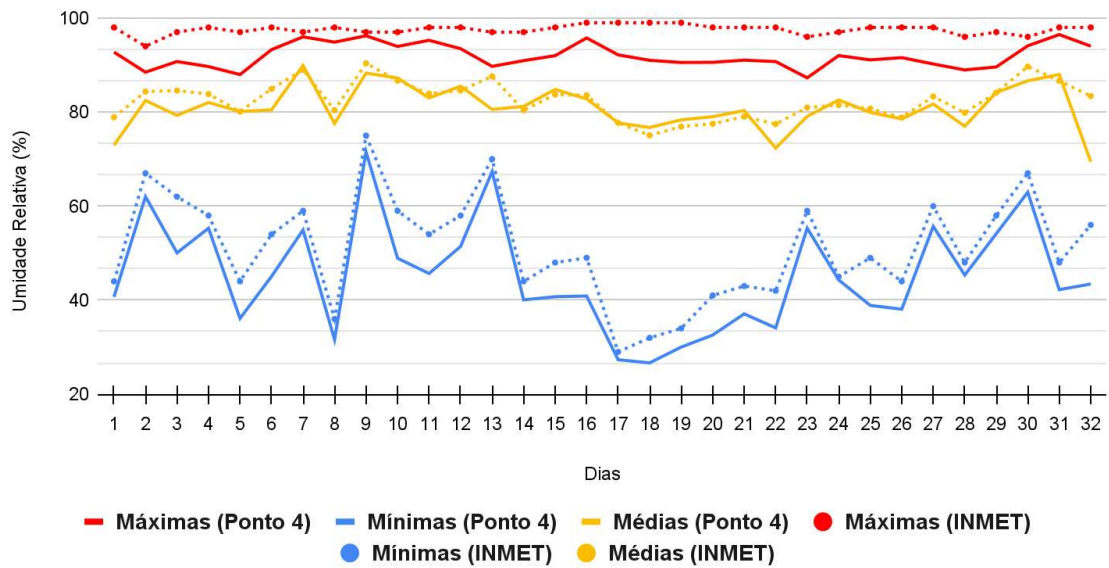
PONTO 4 - Temperaturas Diárias no Inverno

Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 4 - Umidade Relativa Média no Inverno

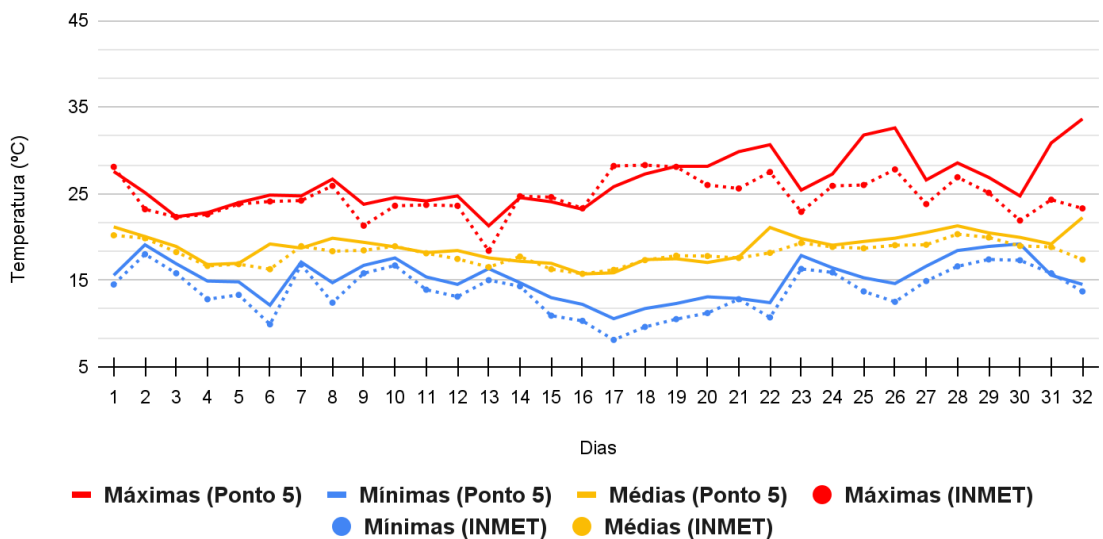
Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 5

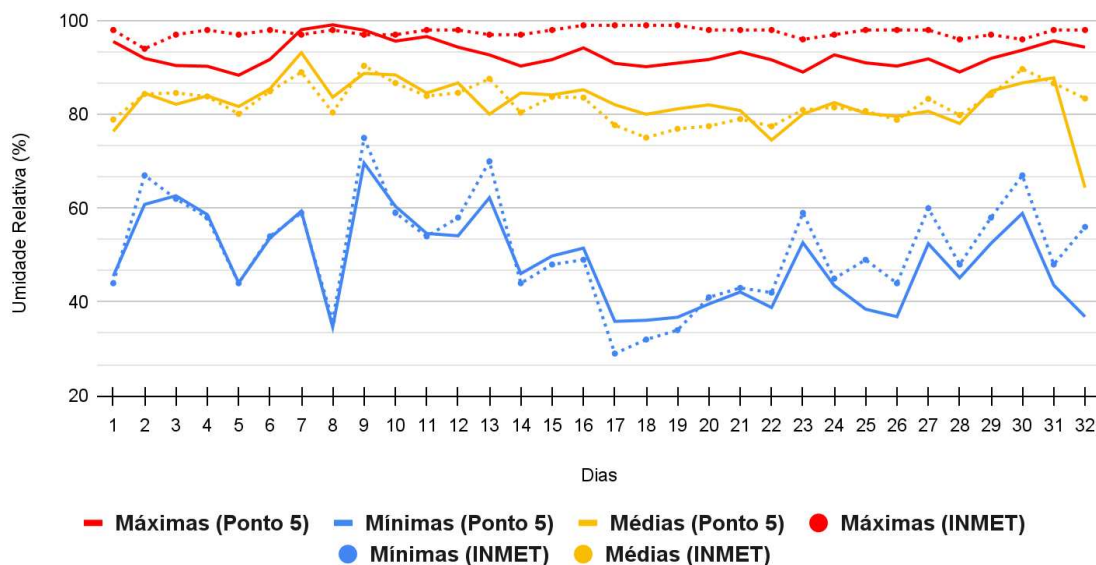
PONTO 5 - Temperaturas Diárias no Inverno

Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 5 - Umidade Relativa Média no Inverno

Dados medidos x Dados coletados do INMET



Fonte: Autoral, 2025.

No inverno, as condições climáticas entre o Ponto 1 e a estação meteorológica do INMET permaneceram próximas, indicando pouca interferência da urbanização no campo térmico. A maior oscilação ocorreu na T máxima, variando até 4,77 °C no dia 32º dia medido. A maior oscilação da T mínima ocorreu no 8º dia de medição, marcando uma diferença de 2,15°C e na T média ocorreu foi de 3,39°C, também no dia 32º da amostra. Houve dias em que as T registradas no INMET ficaram maiores do que as registradas no Ponto 1, sendo que a oscilação maior foi registrada no dia 3º da amostra, na T máxima, que variou de 22,3°C no INMET para 21,36 °C no Ponto 1, diferença de 0,9°C. Embora houve essas variações, a maior parte das medições se mantiveram aproximadas. Essa estabilidade é provavelmente atribuída à proximidade com áreas verdes e corpos d'água no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), que contribuem para o aumento da umidade. A UR no Ponto 1 reforça esse impacto, mantendo-se próximas das médias e mínimas registradas pelo INMET, com variação máxima de 11,94% no dia 6, possivelmente devido à proximidade com as lagoas.

No Ponto 2, no inverno, as T médias e mínimas permaneceram próximas tanto às registradas pelo INMET quanto aos dados do Ponto 1, mas com ligeira elevação, principalmente na T máxima. No entanto, observou-se um impacto maior nas T máximas, que ocorrem durante o dia. No Ponto 2 a maior variação de T máxima foi de 6,36°C em relação ao INMET, no 14º dia, um incremento de 1,59°C em relação ao Ponto 1, evidenciando maior

influência da urbanização sobre o campo térmico neste ponto. Na T mínima a maior variação registrada foi de 1,54°C no dia 8º enquanto que a maior variação da T média foi de 4,43°C no 32º dia. A UR também confirma esse maior impacto no Ponto 2, mantendo-se abaixo dos valores registrados pelo INMET em praticamente todos os dias, especialmente à noite, com variação máxima de 14% na T média e mínima. Esse padrão pode indicar um efeito mais acentuado da área urbana e uma influência reduzida das áreas verdes da UFV no Ponto 2.

No Ponto 3, as T gerais voltaram a diminuir e a se aproximar dos valores registrados pelo INMET no inverno. Ainda assim, as T máximas durante o dia permanecem ligeiramente mais elevadas, mas com uma variação mais uniforme em comparação aos outros pontos. A UR diminuiu durante o dia e apresentou maior estabilidade à noite, mantendo-se muito próxima aos valores do INMET.

O maior incremento de T foi observado no Ponto 4, onde a T máxima atingiu 38,17°C no 18º dia de medição, um valor 9,8°C superior ao registrado pelo INMET no inverno. A UR manteve-se consistentemente inferior à do INMET, mas mostrou maior estabilidade nas médias. Esse impacto térmico pode estar relacionado a características específicas da área, como maior emissão de calor antropogênico devido ao intenso tráfego de veículos ou à pouca obstrução no entorno, que permite maior incidência de radiação solar no Ponto 4.

No Ponto 5 no inverno, localizado próximo à Praça do Rosário, as T voltaram a apresentar padrões muito semelhantes aos do Ponto 1, com valores próximos aos medidos pelo INMET, inclusive durante o dia, com variação média de 0,76 °C, e maior variação ocorrendo na T máxima (1,36°C). A UR também apresentou estabilidade, embora com valores ligeiramente inferiores, com média de variação de 1,02°C. Esse comportamento pode indicar que a área verde exerce um papel relevante na atenuação do campo térmico, contribuindo para a redução e o equilíbrio das condições climáticas.

De maneira geral, o ponto com maior impacto nas T gerais no inverno foi os Ponto 2 e Ponto 4, enquanto os Pontos 1 e 5 apresentaram condições climáticas mais próximas às do INMET, devido à proximidade de áreas verdes e corpos d'água. Durante o inverno, o maior incremento de T foi observado nas máximas, com os impactos mais significativos registrados nos Pontos 2 (34,37°C) e Ponto 4 (38,17°C). Em contrapartida, as T médias e mínimas mostraram maior estabilidade, com valores próximos aos medidos pelo INMET. O aumento das T entre os dias 13 e 23, acompanhado pela consequente diminuição das URs em todos os

cinco pontos, não pode ser relacionado a dias chuvosos, já que as precipitações ocorreram apenas nos dias 1, 7, 8, 9 e 31. Esses fenômenos podem estar associados a outras condições, como ventilação e radiação solar, que não foram coletadas.

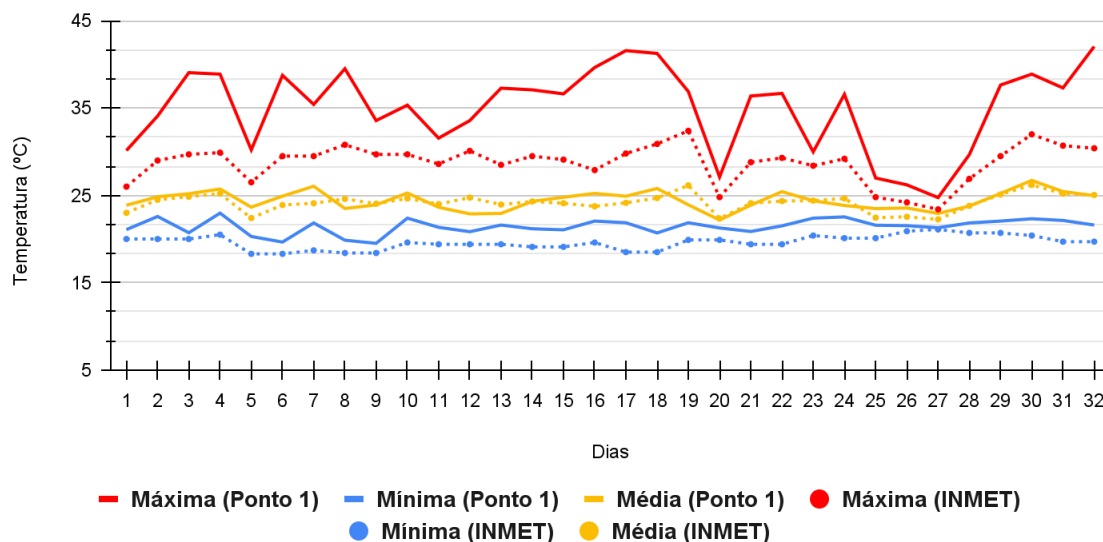
Analisando os dados da estação do verão (Quadro 6), observa-se que o comportamento semelhante dos pontos aos dados do INMET, mas contendo oscilações mais acentuadas, especialmente nas T máximas e nas URs, destacando-se o período de chuvas, com registros acima dos próximos de 40°C. As oscilações de T e UR, estão diretamente relacionadas ao período de chuvas no verão, sendo as oscilações de elevação de T máximas ocorrendo após as chuvas com registros acima dos próximos de 40°C, e a diminuição de T e aumento da UR no período chuvosos, que ocorreram próximo ao dia 9º, 12º, 20º, 21º e 27º de medição.

Quadro 6 - Dados diários de Temperatura e Umidade Relativa coletados no Ponto 2, ao longo dos 32 dias de medição, nas estações de inverno e verão, comparados aos dados coletados pela Estação Meteorológica INMET/UFV

VERÃO (2024)
PONTO 1

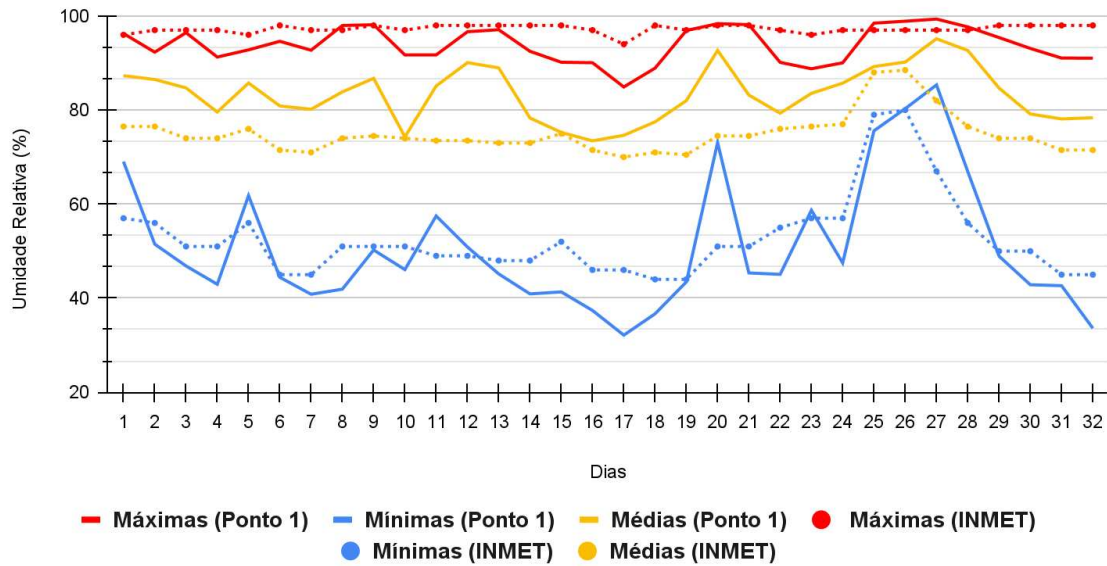
PONTO 1- Temperaturas Diárias no Verão

Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 1- Umidade Relativa Média no Verão

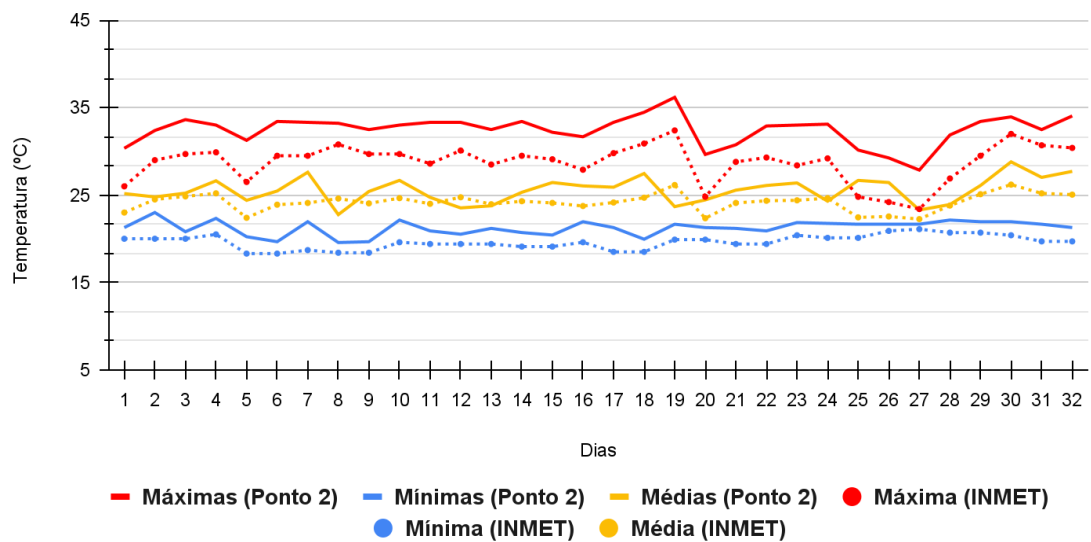
Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 2

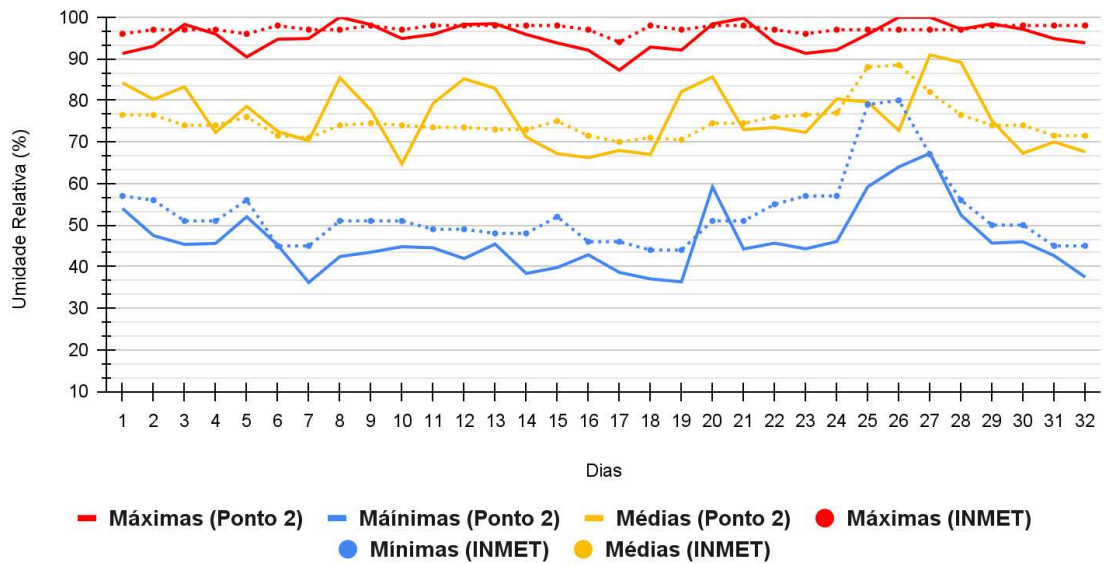
PONTO 2 - Temperaturas Diárias no Verão

Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 2 - Umidade Relativa Média no Verão

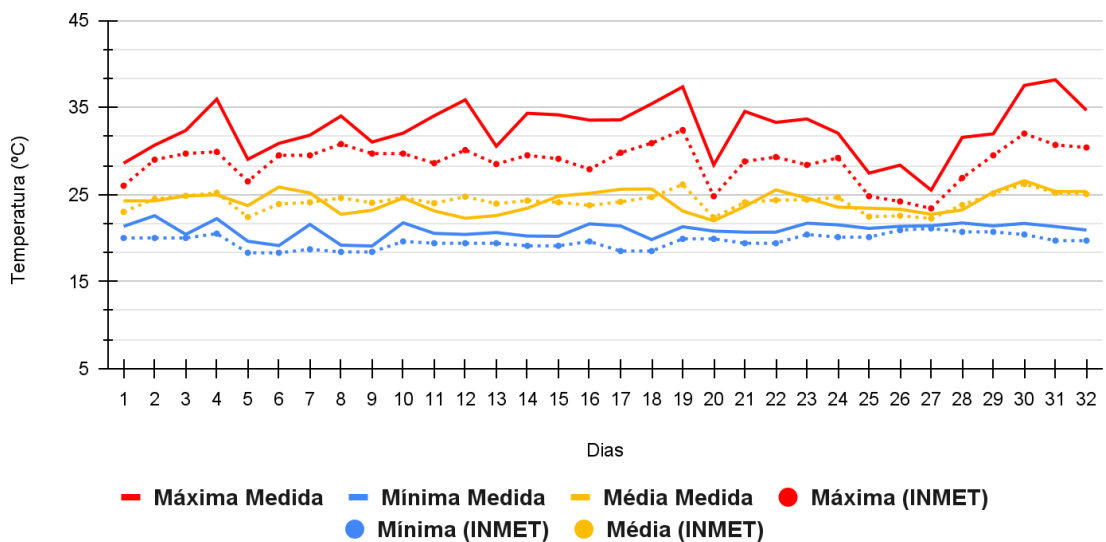
Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 3

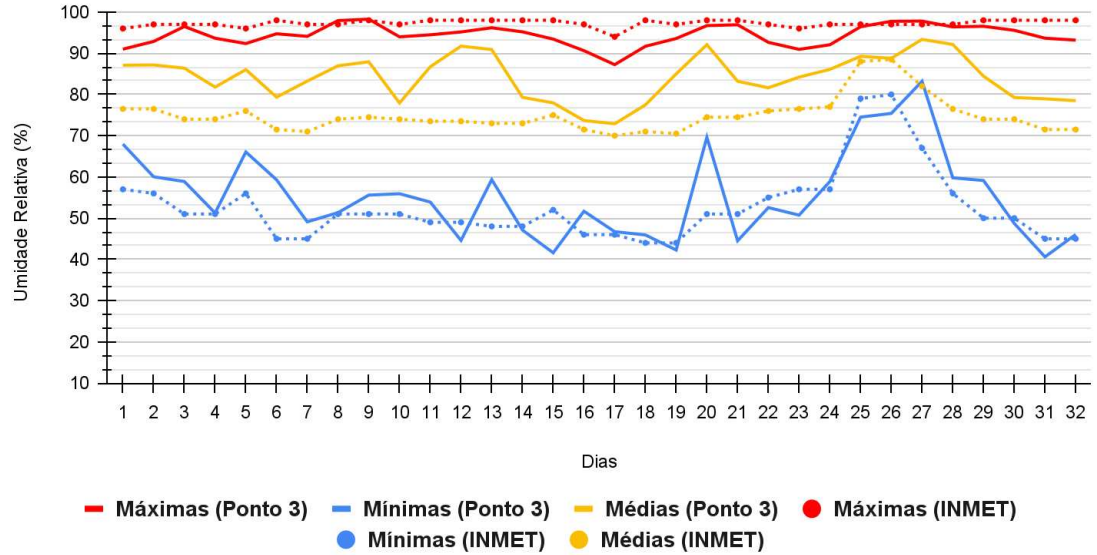
PONTO 3 - Temperaturas Diárias no Verão

Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 3 - Umidade Relativa Média no Verão

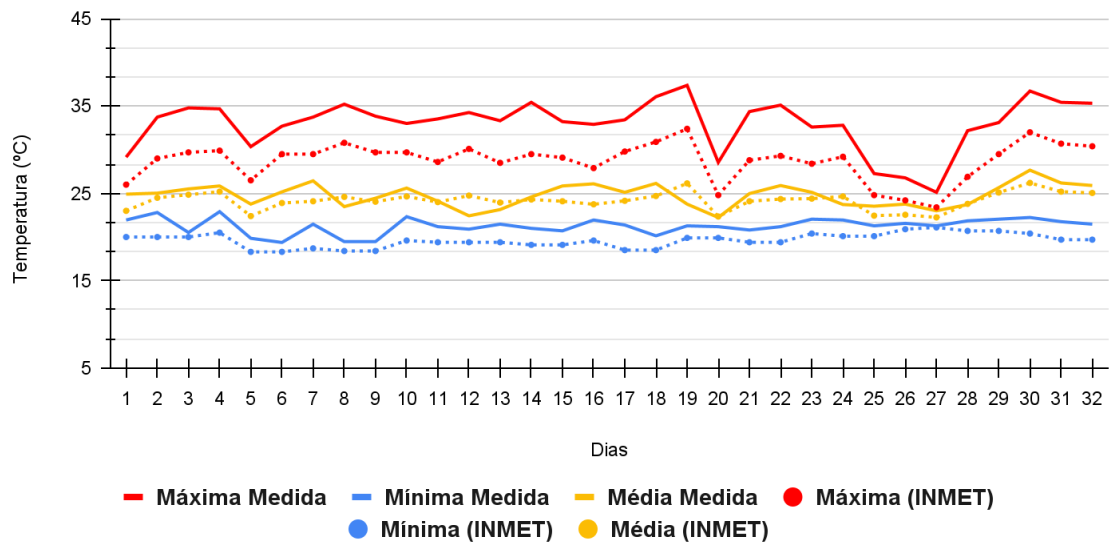
Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 4

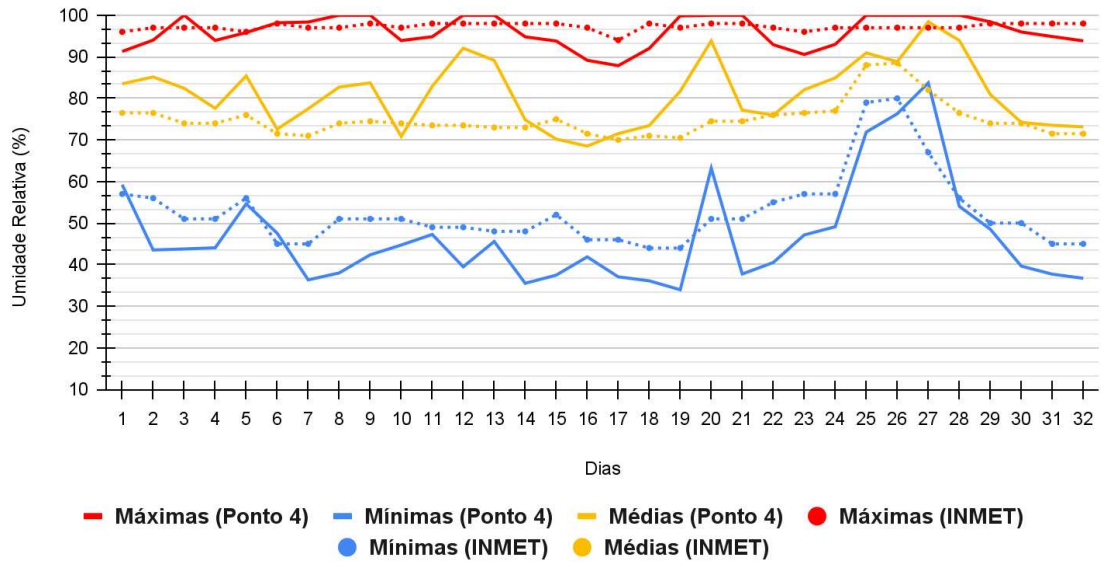
PONTO 4 - Temperaturas Diárias no Verão

Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 4 - Umidade Relativa Média no Verão

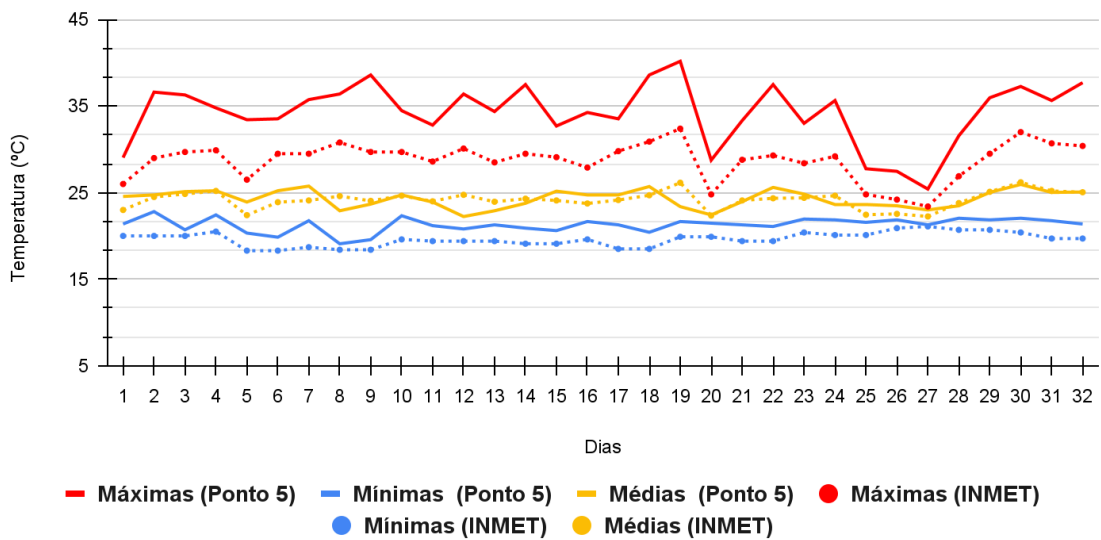
Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 5

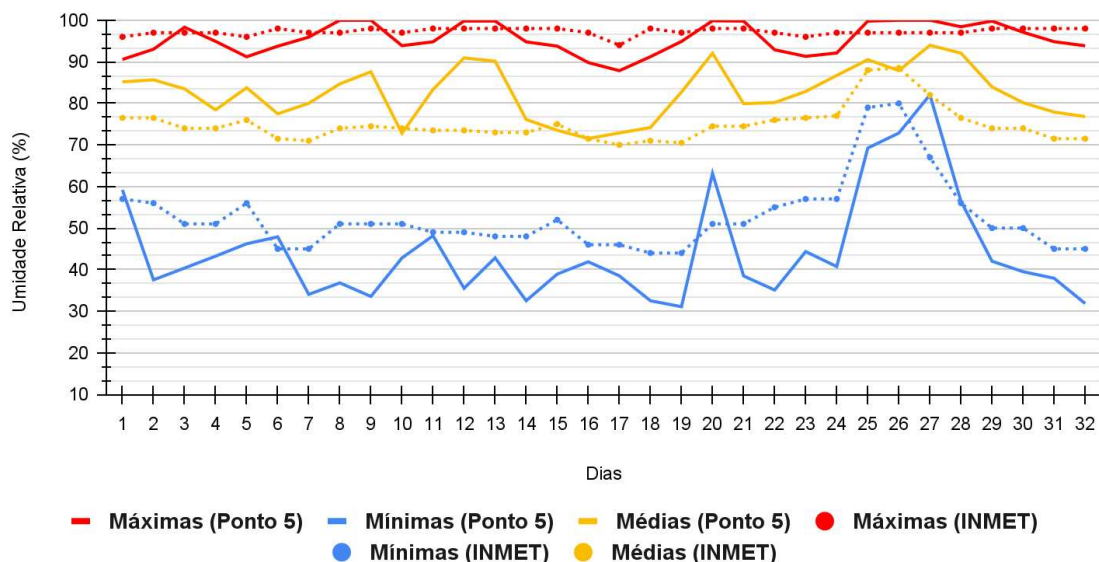
PONTO 5 - Temperaturas Diárias no Verão

Dados medidos x Dados coletados do INMET



PONTO 5 - Umidade Relativa Média no Verão

Dados medidos x Dados coletados do INMET



Fonte: Autoral, 2025.

No verão, o Ponto 1 apresentou um comportamento distinto em relação ao observado no inverno, com um incremento significativo nas T máximas, atingindo até 11,79°C acima das medições do INMET no 17º dia, quando chegou a 41,59°C. As T mínimas permaneceram estáveis, embora ligeiramente superiores às do INMET, com média de 1,9°C de aumento, enquanto as médias oscilaram mais, mas ainda se mantiveram próximas aos valores registrados pela estação. A UR apresentou variações consideráveis, especialmente nas médias e mínimas, que, na maioria dos dias, ficaram muito acima dos valores registrados pelo INMET, com maior variação ocorrendo no 20º dia medido, registrando 18,18% de variação na T média e 22,09% na T mínima. Esse padrão reforça o impacto do aumento das T diurnas e da menor umidade no período noturno.

No verão, o Ponto 2 apresentou maior estabilidade nas T e na UR em comparação ao INMET. As T, de forma geral, mostraram-se mais uniformes ao longo dos dias de medição, permanecendo abaixo de 35°C na maior parte do período, mesmo com amplitudes térmicas mais acentuadas próximas aos períodos de chuva. A UR média apresentou variações em relação ao INMET (variando até 15,75%), e a UR mínima permaneceu consistentemente mais baixa, com variação máxima de 19,78%.

Nos Pontos 3 e 4, observa-se um comportamento muito semelhante tanto nas oscilações ao longo dos dias quanto nos valores de T e UR em relação ao INMET. Em ambos os casos, as T máximas permaneceram próximas de 35°C, sendo ligeiramente mais elevadas do que as registradas no Ponto 2. As oscilações mantiveram-se relacionadas aos períodos de chuva. A principal diferença entre os dois pontos foi observada na UR mínima. No Ponto 4, a UR mínima ficou abaixo das medições do INMET durante a noite, aproximando-se mais do padrão observado no Ponto 5. Já no Ponto 3, a UR mínima manteve-se mais próxima do comportamento do Ponto 2, ainda que também inferior às medições do INMET. A UR média nos dois pontos permaneceu acima dos valores registrados pelo INMET, sugerindo uma sensação térmica de calor associada à elevada UR durante o dia.

No Ponto 5, localizado próximo à Praça do Rosário, observa-se que as T aumentaram 40,19°C no verão, com incremento de 7,79°C se comparadas às medidas no INMET. Esse padrão indica que o impacto das áreas verdes não é suficiente para promover uma maior estabilidade térmica, como observado durante o inverno. Outro fator que pode contribuir para esse maior impacto térmico é a conformação geométrica dos edifícios na região, que pode dificultar a circulação de ventilação. A UR no Ponto 5 apresenta comportamento semelhante ao do Ponto 4, com oscilações significativas em relação às medições do INMET, especialmente nas médias e mínimas, indicando noites mais quentes e secas e dias mais úmidos e quentes.

Conforme esperado, apesar da proximidade com a UFV e da presença de vegetação e corpos d'água, esses fatores não foram suficientes para manter as condições climáticas do Ponto 1 e 5 no verão semelhantes às do campo aberto, como ocorreu no inverno. Esse comportamento pode estar associado ao maior impacto da posição solar no verão, à configuração urbana da área ou à menor influência das áreas verdes e úmidas da UFV durante o período mais seco. Além disso, o ano de 2024 tem sido marcado como um dos mais quentes no Brasil, influenciado pelo fenômeno El Niño, que intensificou as temperaturas extremas. Até 15 de novembro de 2024, a máxima registrada foi de 29,85°C. Em comparação, no ano de 2023, foram registradas uma mínima anual de 8°C, no dia 7 de julho, e uma máxima de 33,43°C, em 18 de novembro.

Ao analisar os dados da média horária durante o período do dia (Quadro 7), de 9h às 18h, observa-se que os 5 pontos localizados ao longo do trecho da Av. P. H. Rolfs, como esperado, seguem as tendências de aumento de T e diminuição da UR ao longo do dia

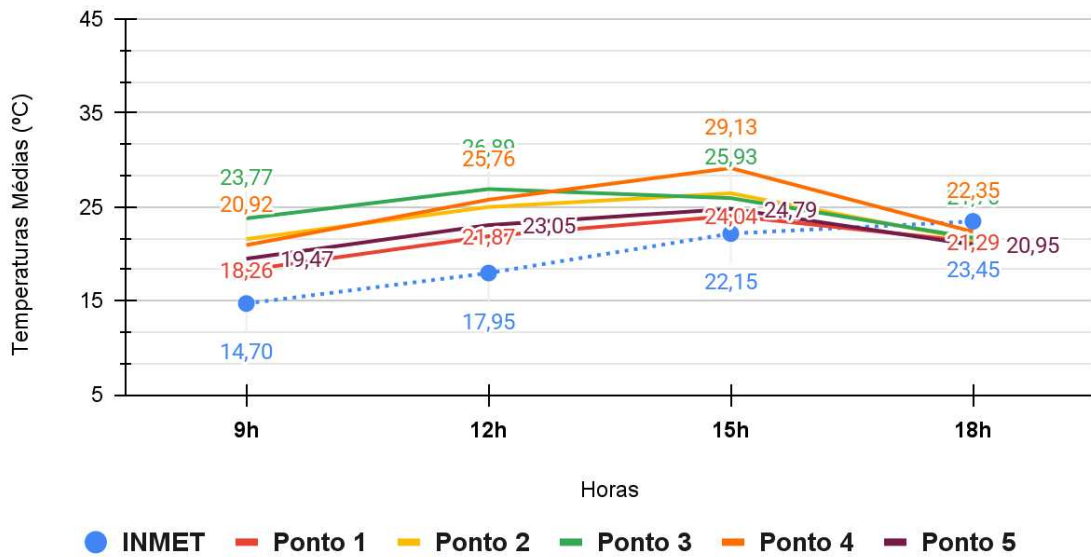
conforme registrado pela estação INMET, indicando uma correlação com os dados diários, tanto no inverno, quanto no verão.

Quadro 7 - Gráfico de Temperatura e Umidade Relativa média horária no inverno e verão da cidade de Viçosa no período analisado

INVERNO (2023)

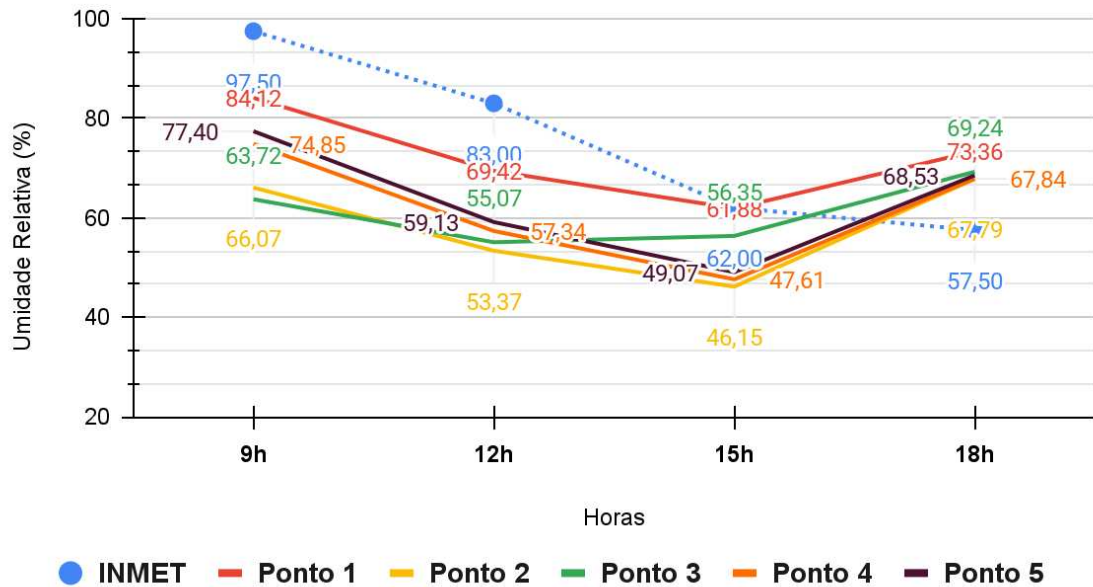
Média de Temperaturas horárias no Inverno

Dados medidos x Dados coletados do INMET



Média de Umidade Relativa horárias no Inverno

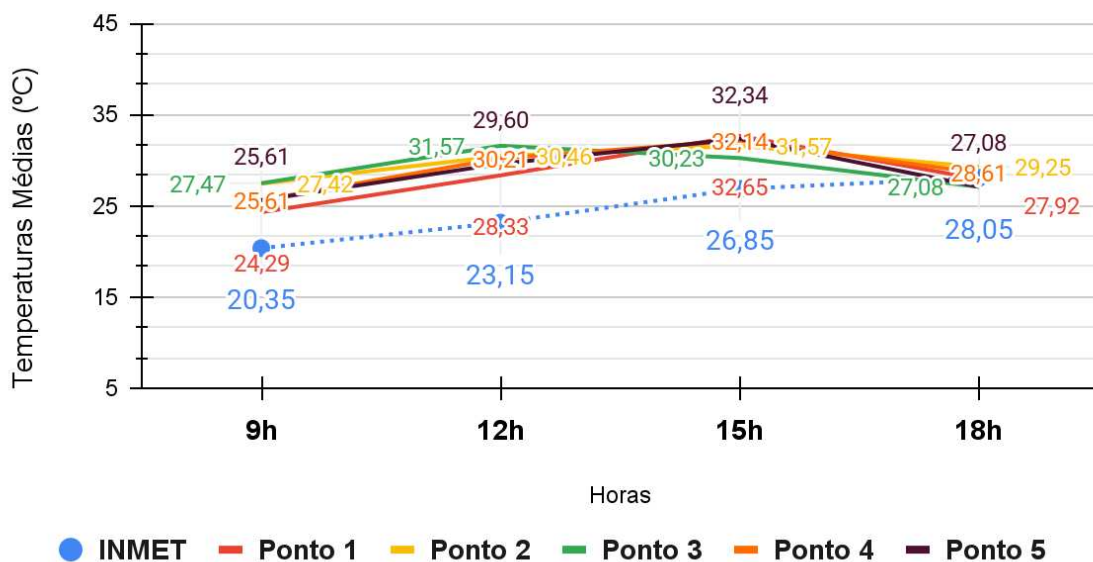
Dados medidos x Dados coletados do INMET



VERÃO (2024)

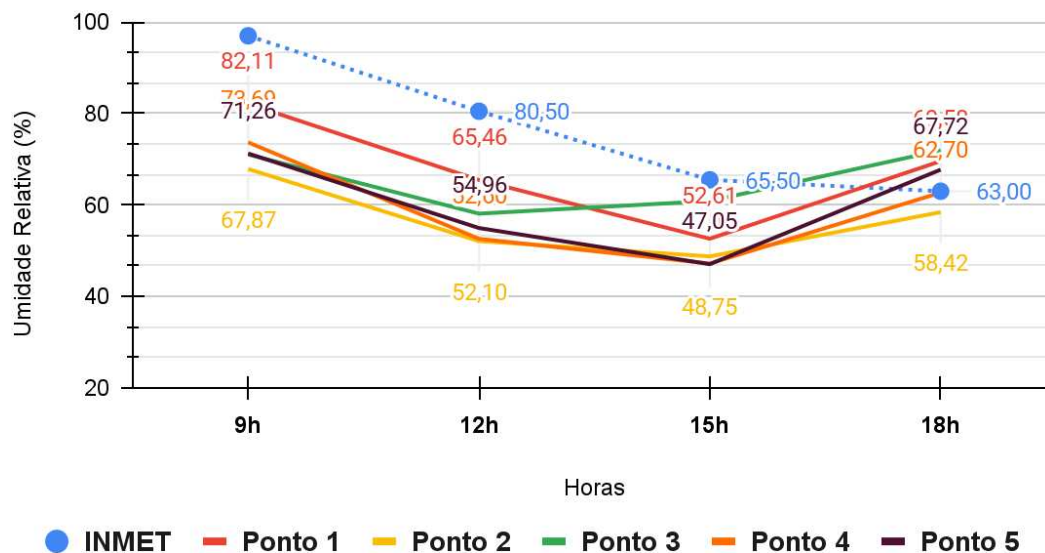
Média de Temperaturas horárias no Verão

Dados medidos x Dados coletados do INMET



Média de Umidade Relativa horárias no Verão

Dados medidos x Dados coletados do INMET



Fonte: Autoral, 2025.

No inverno, observa-se que os pontos localizados próximos à UFV, especificamente os Pontos 1, registraram T e UR mais próximas das medidas pela estação INMET-UFV. A menor variação de T foi de 1,89°C às 15h e de UR foi de 5,65% também às 15h. Isso indica um menor impacto no microclima durante essa estação, no ponto 1 em contraste com o maior impacto observado no verão. Os dados horários no inverno corroboram os resultados diários, evidenciando que os Pontos 1 e 5 apresentaram médias horárias mais próximas das registradas pelo INMET, enquanto os Pontos 3 demonstraram maior oscilação ao longo do dia, com maior variação ocorrendo às 9h, sendo 9,07°C a maior variação de T e 33,78 de UR para o mesmo horário. O Ponto 2, por sua vez, apresentou uma oscilação intermediária.

A maior variação de temperatura no inverno foi registrada no Ponto 3 às 9h, com um aumento de 9,07°C em relação às medições do INMET. Já os demais pontos apresentaram seus picos de aquecimento diurno ao meio-dia, com destaque para o Ponto 4, que registrou o maior aumento de temperatura, 6,98°C, às 15h. Após as 18h, tanto o Ponto 3 quanto o Ponto 4 passaram a apresentar valores mais próximos aos registrados pelo INMET, indicando uma redução nas diferenças térmicas ao anoitecer.

A UR seguiu um comportamento semelhante nos cinco pontos analisados, variando entre 18,05%, às 9h, e 10,2%, às 15h, apresentando um padrão de distanciamento em relação

às tendências do INMET por volta das 18h. Nesse horário, enquanto a UR registrada pelo INMET continua a diminuir, os valores dos pontos começam a aumentar, sugerindo um impacto específico das condições locais sobre o microclima no final da tarde. Entre os pontos, o Ponto 1 se manteve como o mais próximo da UR média registrada pelo INMET. Por outro lado, o Ponto 2 apresentou os valores mais distantes. O Ponto 3 destacou-se por registrar os maiores afastamentos da UR do INMET no horário das 9h, mas, ao longo do dia, sua UR foi se aproximando dos valores do INMET, atingindo maior similaridade às 18h.

No verão, observou-se um aumento das T em todos os horários analisados, embora com impacto menor que os registrados no inverno. A maior oscilação de T ocorreu no Ponto 3, às 12h, com um incremento de 8,42°C em relação ao INMET. Durante o período da manhã, o Ponto 1 apresentou medições mais próximas das registradas pelo INMET, enquanto no período da tarde, o Ponto 3 se destacou como o mais semelhante. Os Pontos 2, 4 e 5 mantiveram um comportamento bastante próximo entre si, com variações em relação ao INMET, especialmente pela manhã, e atingiram maior equilíbrio às 18h. O pico de T no verão foi registrado às 15h, com um valor máximo de 32,34°C, como observado no INMET, exceto no Ponto 3, onde o maior valor foi registrado ao meio-dia, com 31,27°C.

Em relação à UR no verão, a maior variação foi observada no Ponto 2, que registrou 29,13% a menos do que o INMET, seguido pelos Pontos 4 e 5. O Ponto 1 se manteve mais próximo do INMET no período da manhã, enquanto o Ponto 3 se destacou no período da tarde, acompanhando o mesmo padrão observado para as temperaturas ao longo do dia.

De modo geral, as T e UR horárias apresentaram maior variação no inverno do que no verão. As maiores oscilações ocorreram durante o período da manhã, seguindo um padrão de aumento ao longo do dia até se aproximarem dos valores registrados pelo INMET ao entardecer, por volta das 18h. Nesse horário, as T no inverno chegam a ficar abaixo das registradas pelo INMET. No caso da UR, o maior desvio foi observado às 9h em ambas as estações. Outro padrão consistente nas duas estações é o aumento mais acelerado da UR nos pontos analisados após as 15h, em comparação com as medições do INMET. Esse comportamento sugere a influência de fatores locais, como a proximidade das lagoas próximas ao Ponto 1, onde o crescimento da UR é mais acentuado, e a configuração urbana, que favorece maior sombreamento sobre os pontos nesse horário, contribuindo para a retenção de umidade no microclima.

4.1.2. Transecto Móvel

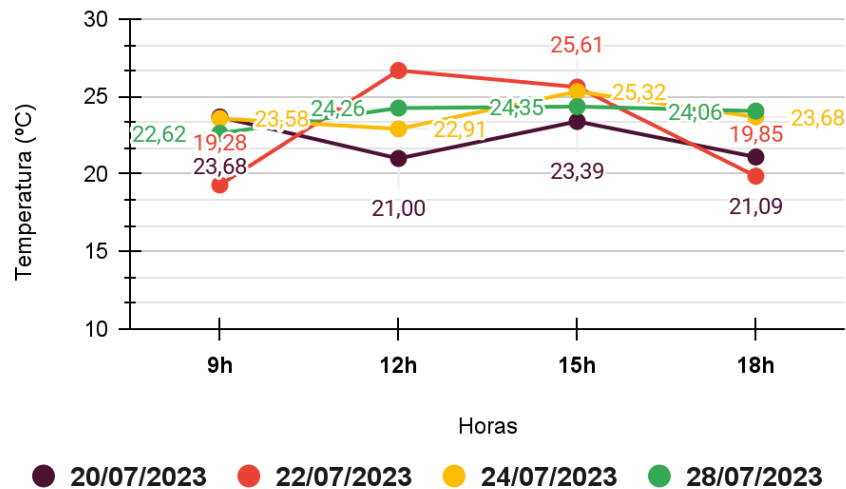
A análise dos dados coletados pelo método de transecto móvel (Quadro 8) revelou que as T e UR apresentaram comportamentos semelhantes ao longo dos dias avaliados, mas com valores distintos entre os pontos. Observou-se um padrão térmico típico de elevação diurna, com máximas por volta das 15h, seguido de declínio térmico ao entardecer, às 18h. Entretanto, nos dias 20 e 24, houve uma exceção com uma queda de T registrada ao meio-dia, mais acentuada no Ponto 1, seguida por um aumento até às 15h.

Quadro 8 - Gráfico de Temperatura e Umidade Relativa média horária coletadas por meio do transecto móvel na estação do inverno da cidade de Viçosa

INVERNO (2023)

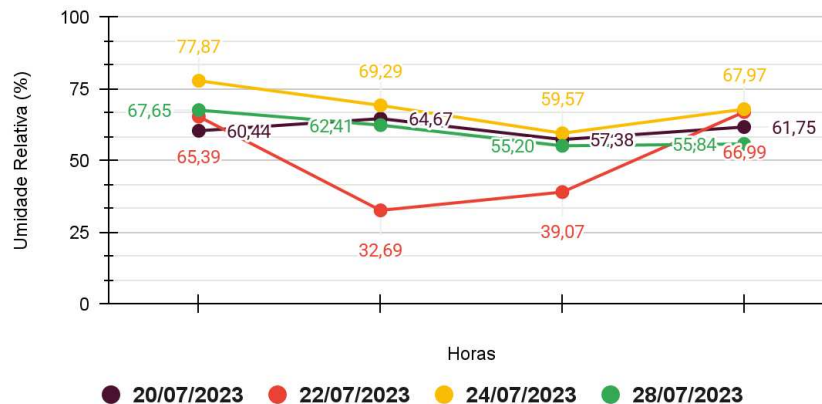
PONTO 1 - Temperaturas horárias no Inverno

Transecto Móvel nos 4 dias de Inverno



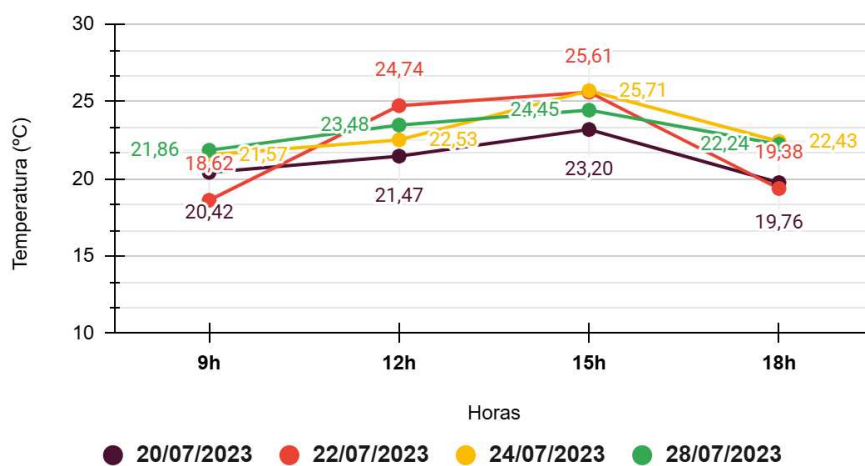
PONTO 1 - Umidades Relativas horárias no Inverno

Transecto Móvel nos 4 dias de Inverno



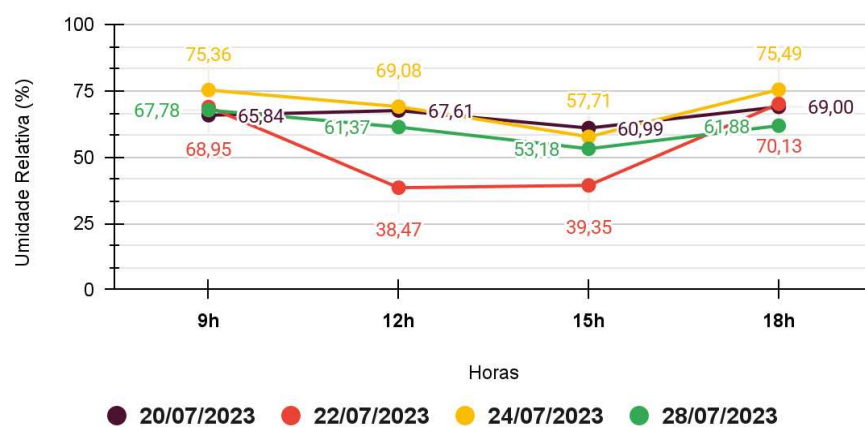
PONTO 2 - Temperaturas horárias no Inverno

Transecto Móvel nos 4 dias de inverno



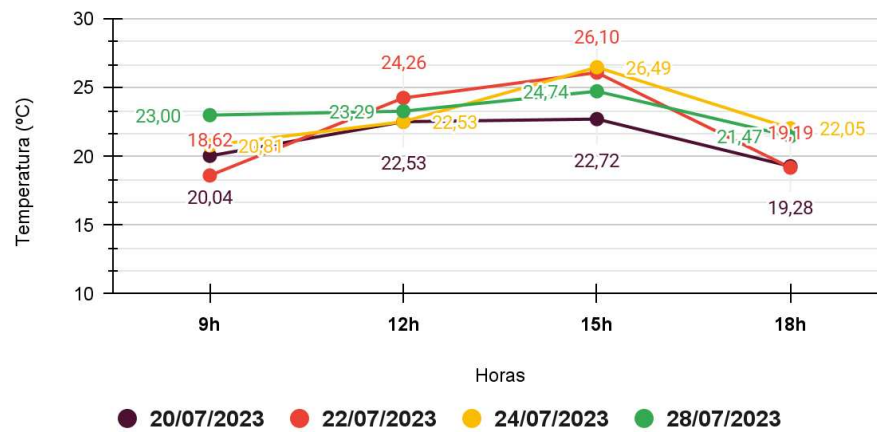
PONTO 2 - Umidades Relativas horárias no Inverno

Transecto Móvel nos 4 dias de inverno



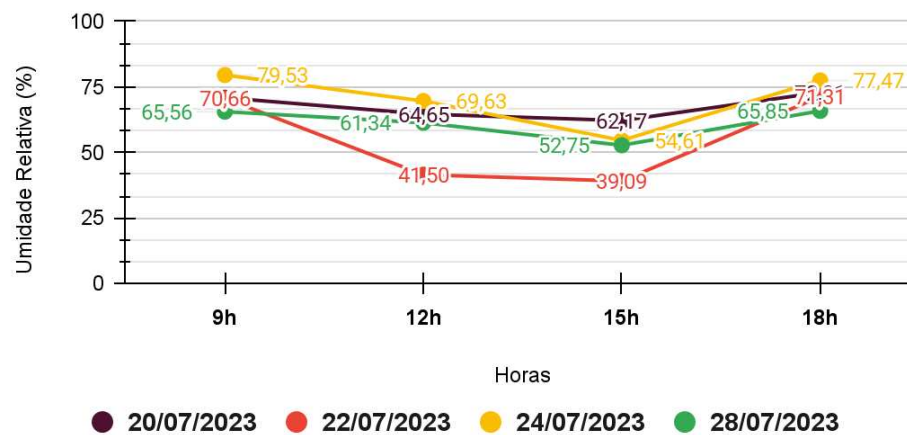
PONTO 3 - Temperaturas horárias no Inverno

Transecto Móvel nos 4 dias de Inverno



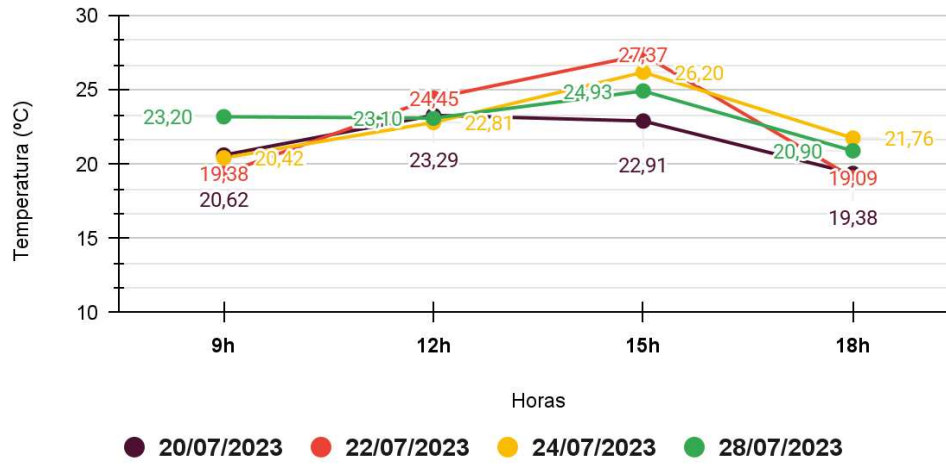
PONTO 3 - Umidades Relativas horárias no Inverno

Transecto Móvel nos 4 dias de inverno



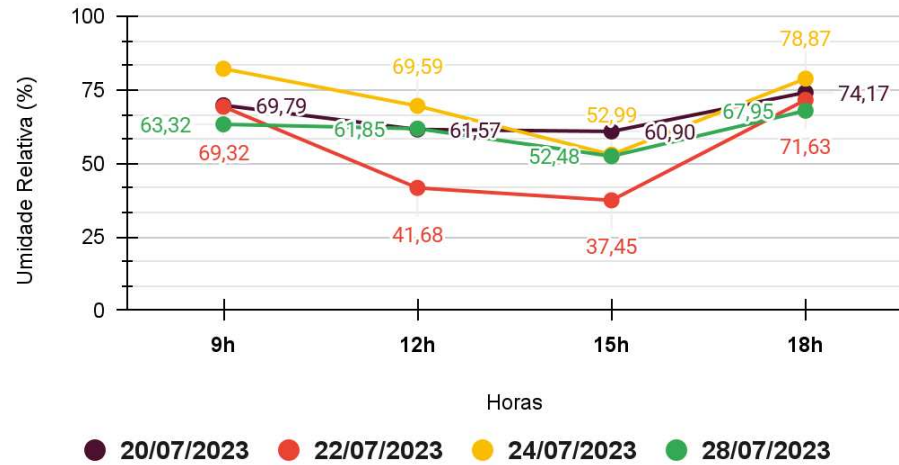
PONTO 4 - Temperaturas horárias no Inverno

Transecto Móvel nos 4 dias de inverno



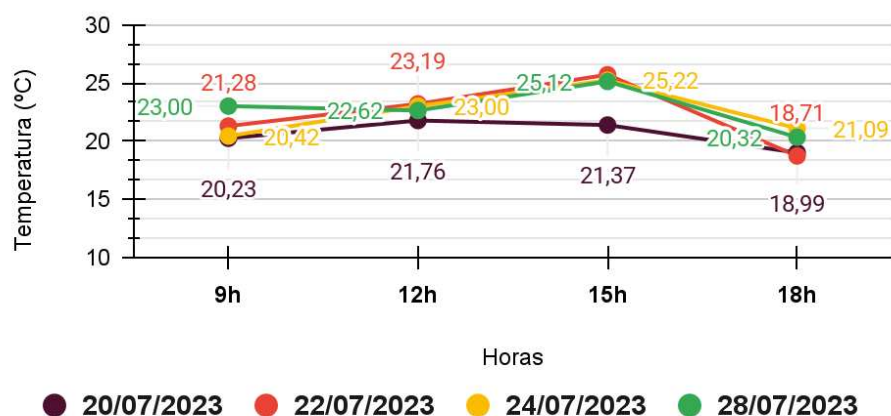
PONTO 4 - Umidades Relativas horárias no Inverno

Transecto Móvel nos 4 dias de inverno



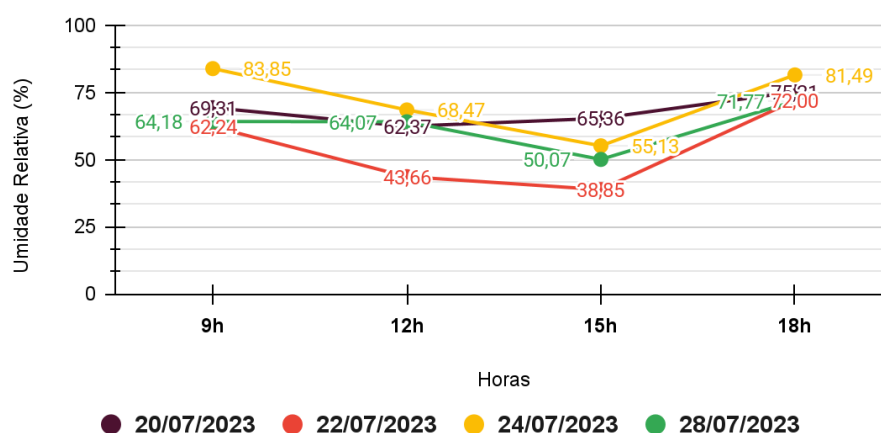
PONTO 5 - Temperaturas horárias no Inverno

Transecto Móvel nos 4 dias de inverno



PONTO 5 - Umidades Relativas horárias no Inverno

Transecto Móvel nos 4 dias de inverno



Fonte: Autoral, 2025.

A UR apresentou comportamento similar, diminuindo ao longo do dia em todos os pontos e acompanhando as variações de T, com oscilações mais significativas dependendo do dia analisado. A maior variação diária de T e UR foi observada no dia 22 de Julho de 2023, quando uma manhã mais fria foi seguida por um aumento acentuado da T à tarde, com uma variação de aproximadamente 7°C, especialmente nos Pontos 1 e 4. Nesse dia, a maior temperatura registrada foi de 27,37°C no Ponto 4, às 15h. Por outro lado, a menor temperatura foi de 18,99°C, registrada no Ponto 5, às 18h do dia 20.

O dia 28 apresentou maior estabilidade nos valores de T e UR, com poucas variações ao longo do dia. De maneira geral, o Ponto 1 destacou-se com as maiores temperaturas

registradas, enquanto o Ponto 5 foi o mais estável, com os menores valores de T. Esses resultados corroboram o impacto do equilíbrio térmico proporcionado pela área verde da Praça do Rosário e pela conformação urbana mais fechada no Ponto 5. Em contraste, o Ponto 1, localizado próximo a uma área aberta de transição para a UFV, demonstrou maior exposição à ventilação e insolação, fatores que intensificaram as variações térmicas no local.

4.1.3. Estação Meteorológica Fixa e Transecto Móvel

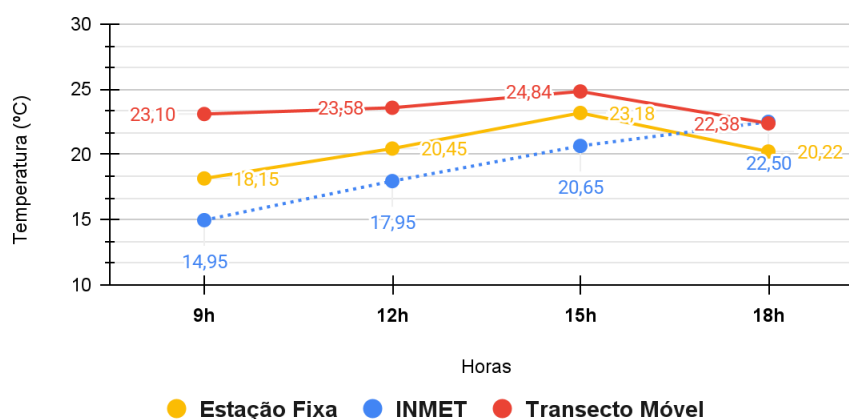
A comparação dos dados médios coletados durante os quatro dias de inverno pelo método de transecto móvel com os dados obtidos pelas estações fixas nos pontos e pela estação do INMET (Quadro 9) evidencia que as medições móveis apresentaram valores de T inferiores às médias horárias registradas pelo INMET. Esse padrão reforça o impacto das condições microclimáticas ao longo da via sobre o campo térmico nos pontos analisados. Além disso, o comportamento característico de diminuição da T e aumento da UR às 18h, observado nos cinco pontos, corrobora a influência das condições locais e da interação com a geometria urbana e áreas verdes, conforme ilustrado no Quadro 9. Essa tendência reflete a transição térmica ao entardecer, marcada por um resfriamento mais rápido e acúmulo de umidade nos pontos urbanos em comparação com o campo aberto medido pelo INMET.

Quadro 9 - Gráfico de Temperatura e Umidade Relativa média horária coletadas por meio do transecto móvel, estações fixas e pelo INMET, na estação do inverno da cidade de Viçosa

INVERNO (2023)

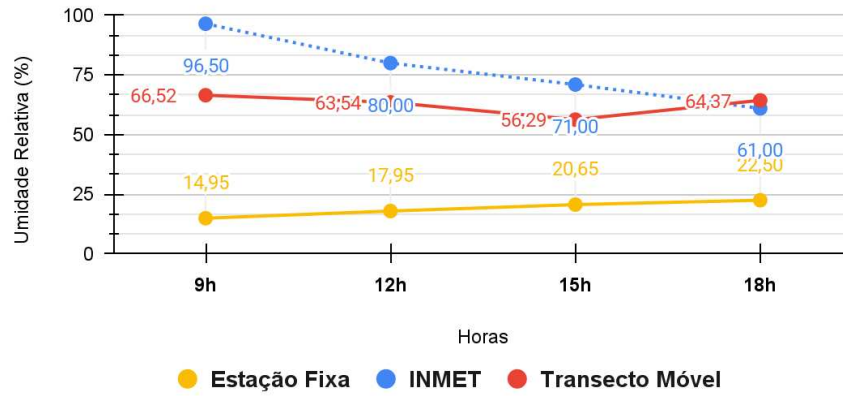
PONTO 1 - Temperatura média horária em 4 dias de Inverno

Estações Fixas x Dados do INMET x Transecto Móvel



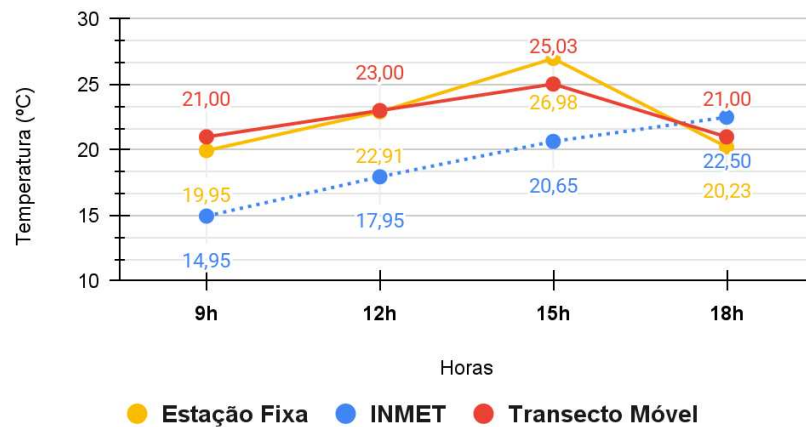
PONTO 1 - Umidade Relativa média horária em 4 dias de Inverno

Estações Fixas x Dados do INMET x Transecto Móvel



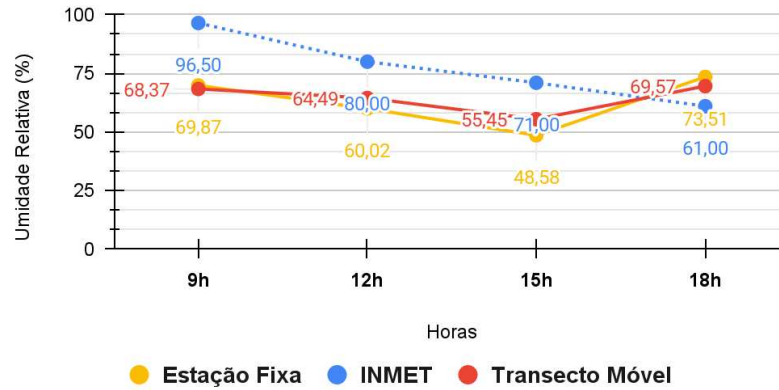
PONTO 2 - Temperatura média horária em 4 dias de Inverno

Estações Fixas x Dados do INMET x Transecto Móvel



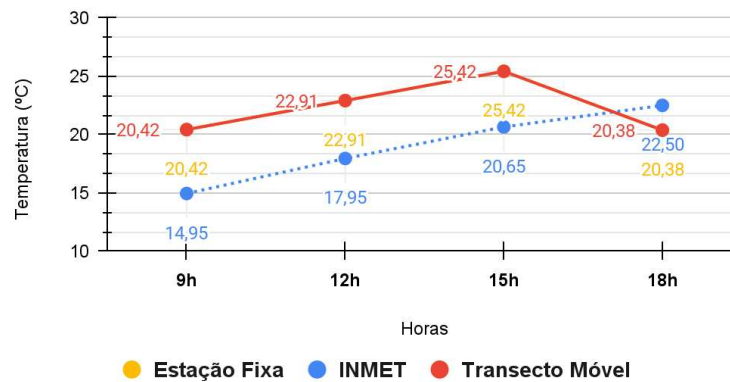
PONTO 2 - Umidade Relativa média horária em 4 dias de Inverno

Estações Fixas x Dados do INMET x Transecto Móvel



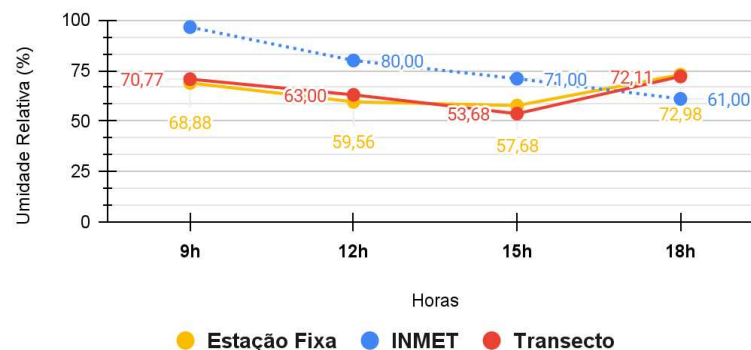
PONTO 3 - Temperatura média horária em 4 dias de Inverno

Estações Fixas x Dados do INMET x Transecto Móvel



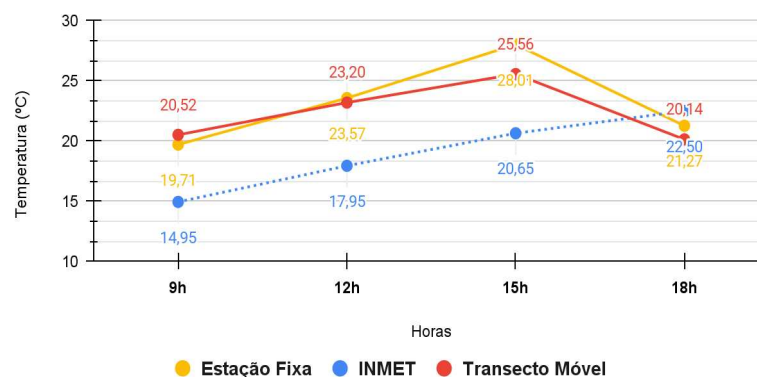
PONTO 3 - Umidade Relativa média horária em 4 dias de Inverno

Estações Fixas x Dados do INMET x Transecto Móvel



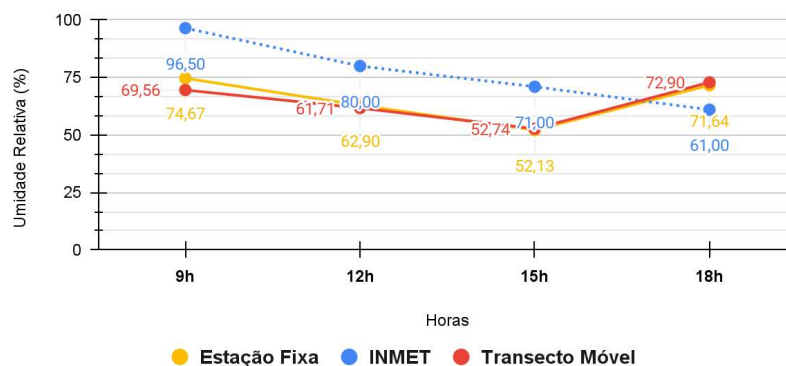
PONTO 4 - Temperatura média horária em 4 dias de Inverno

Estações Fixas x Dados do INMET x Transecto Móvel



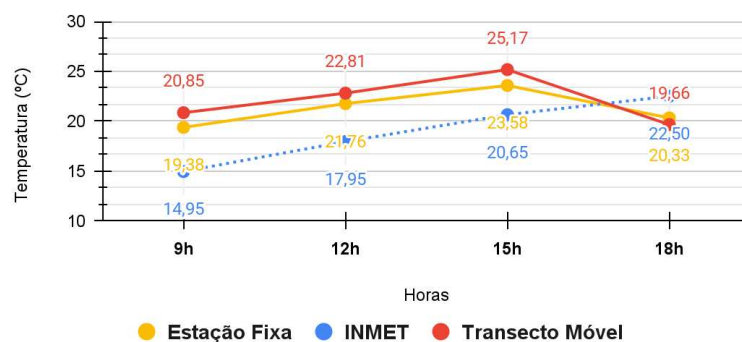
PONTO 4 - Umidade Relativa média horária em 4 dias de Inverno

Estações Fixas x Dados do INMET x Transecto Móvel



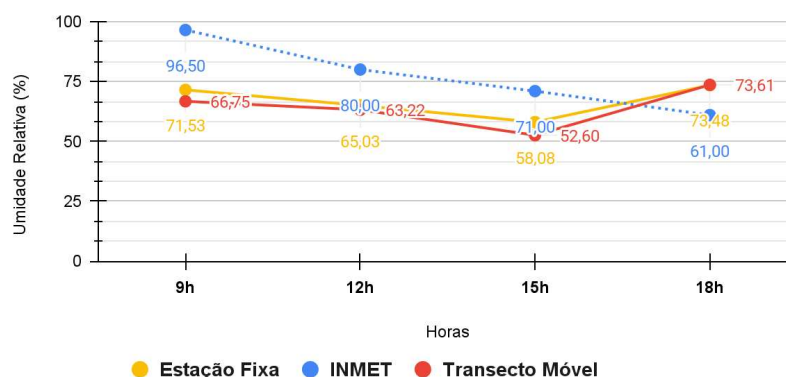
PONTO 5 - Temperatura média horária em 4 dias de Inverno

Estações Fixas x Dados do INMET x Transecto Móvel



PONTO 5 - Umidade Relativa média horária em 4 dias de Inverno

Estações Fixas x Dados do INMET x Transecto Móvel



Fonte: Autoral, 2025.

Comparando os dados médios coletados pelo transecto móvel, pelas estações fixas nos pontos e pela estação do INMET-UFV, é importante ressaltar que as medições do transecto foram realizadas a uma altura uniforme de 1,50 m, mesma altura da estação do INMET. No entanto, as alturas das estações fixas variam entre os pontos, entre 7,50m e 3,55m, o que pode influenciar levemente as medições locais. Os resultados mostram uma boa correlação entre os dados obtidos pelo transecto e pelas estações fixas, com as T sempre acima e as UR abaixo dos registros do INMET em todos os quatro dias de medição. Esse padrão reflete o impacto da malha urbana sobre o microclima natural, evidenciado em todos os pontos analisados.

Além disso, os dados indicam que as T e UR dos pontos urbanos tendem a se igualar aos valores do INMET a partir das 18h. Durante o inverno, a diminuição da T começa por volta das 15h em todos os pontos, enquanto a estação do INMET registra um aumento contínuo até o entardecer. Isso demonstra que, embora os pontos apresentem diferenças em relação ao INMET, ambos seguem o mesmo comportamento geral ao longo do dia, mas com variações influenciadas pelas condições urbanas e microclimáticas locais.

No ponto 1, a T registrada pelo transecto móvel foi a que mais se distanciou dos dados do INMET, especialmente às 9h, com um incremento de 8,15°C. Já a T registrada pela estação fixa no ponto 1 apresentou valores mais equilibrados, muito próximos da média entre as medições realizadas. Esse comportamento reforça que a T tende a ser maior quando medida mais próxima do solo ou da via e diminui com o aumento da altura, indicando uma influência direta da proximidade ao asfalto e da radiação incidente.

Nos pontos 2, 3 e 4, que possuem alturas de medição mais próximas do INMET, as T coletadas pelo transecto e pelas estações fixas mostram uma maior proximidade em relação aos dados do INMET. Já no ponto 1, que é o ponto mais elevado do transecto, as diferenças foram mais acentuadas, evidenciando a influência da altura na variabilidade das medições.

No ponto 3, as diferenças entre as medições da estação fixa e do transecto foram mínimas, tanto para a T quanto UR. Esse comportamento mais estável pode estar relacionado às características do entorno e à menor interferência de variações locais na medição.

A proximidade entre as medições realizadas pelas estações fixas e pelo transecto móvel mostrou comportamentos gerais muito semelhantes, com exceção do ponto 1, que apresentou um padrão mais distinto em relação aos demais. Nesse ponto, o transecto móvel registrou um aumento significativo na T (8,15°C acima do INMET às 9h), enquanto a UR diminuiu de forma mais acentuada, variando 29,98% em relação ao INMET. Por outro lado, na estação fixa, a T aumentou de forma mais suave (3,2°C), mas a UR apresentou uma redução mais expressiva, com variação de 81,55% em relação aos dados do INMET. Essa discrepância sugere que a altura tem uma influência maior sobre a UR, já que o ponto 1 é o mais elevado entre os analisados. A maior altura pode reduzir o impacto direto de elementos como a proximidade do solo ou de superfícies aquecidas, alterando a relação entre temperatura e umidade relativa.

Nos demais pontos (3, 4 e 5), os comportamentos da T e da UR foram mais uniformes e próximos do INMET, com poucas variações entre as medições do transecto e das estações fixas. Isso indica que uma menor diferença de altura entre as medições possibilita uma maior correlação entre os dados, reforçando a confiabilidade e a validação das coletas realizadas.

De forma geral, a correlação entre as médias registradas pelas Estações Fixas (EF) e pelo Transecto Móvel (TM) confirma os dados anteriores, evidenciando um aumento de T e uma diminuição de UR em todos os pontos analisados. Observa-se uma maior oscilação no ponto 1, devido à sua proximidade com áreas verdes e à abertura para os campos da UFV, o que acentua as variações térmicas. Nos pontos centrais, apesar de algumas oscilações pontuais, o comportamento geral de aumento de T e redução de UR é semelhante, enquanto os pontos 3 e 5 apresentaram as menores oscilações em relação aos dados do INMET nos quatro dias analisados. Adicionalmente, foi reafirmado que, no inverno, o pico de T diurna ocorre por volta das 16h, seguido por uma rápida queda ao anoitecer. Às 18h, a T medida nos pontos

chega a ultrapassar a registrada pelo INMET, refletindo o impacto da malha urbana no comportamento térmico.

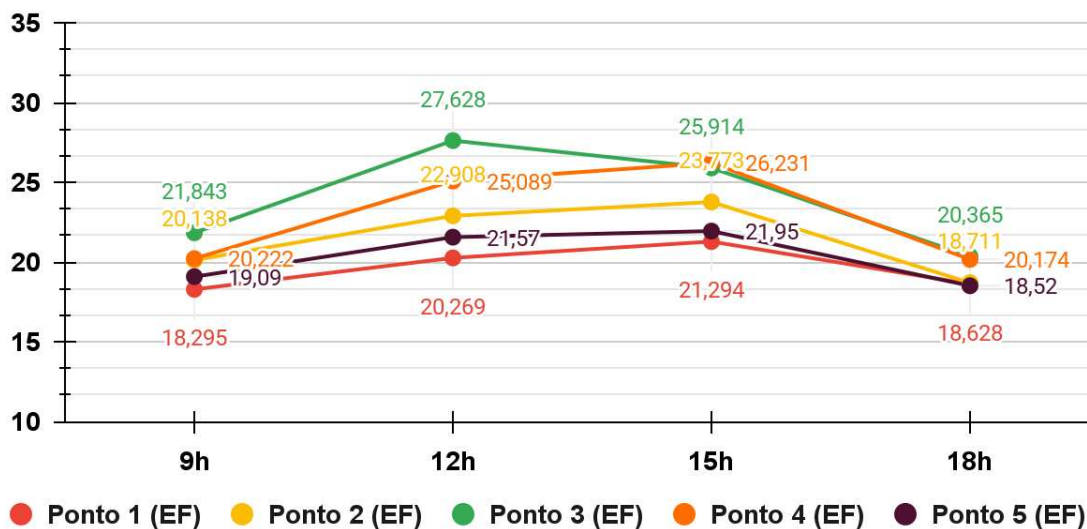
A análise dos dados coletados pela câmera termográfica (Anexo 1) no transecto móvel (Quadro 10) revelou diferenças significativas em relação às medições realizadas pelas estações fixas (EF) nos cinco pontos analisados. Observou-se que, com exceção do ponto 4, a câmera registrou temperaturas de superfície (TS) inferiores às temperaturas medidas pelas EF em todos os pontos. O ponto 4 foi o único a apresentar TS consistentemente superiores às medições da EF em todos os dias, especialmente no período da manhã. Esse comportamento pode ser explicado pela maior exposição do céu sobre o ponto, favorecendo uma incidência mais intensa de radiação solar.

Quadro 10 - Gráfico de Temperatura de Superfície horária coletadas por meio do transecto móvel, em 4 dias na estação do inverno da cidade de Viçosa

INVERNO (2024)

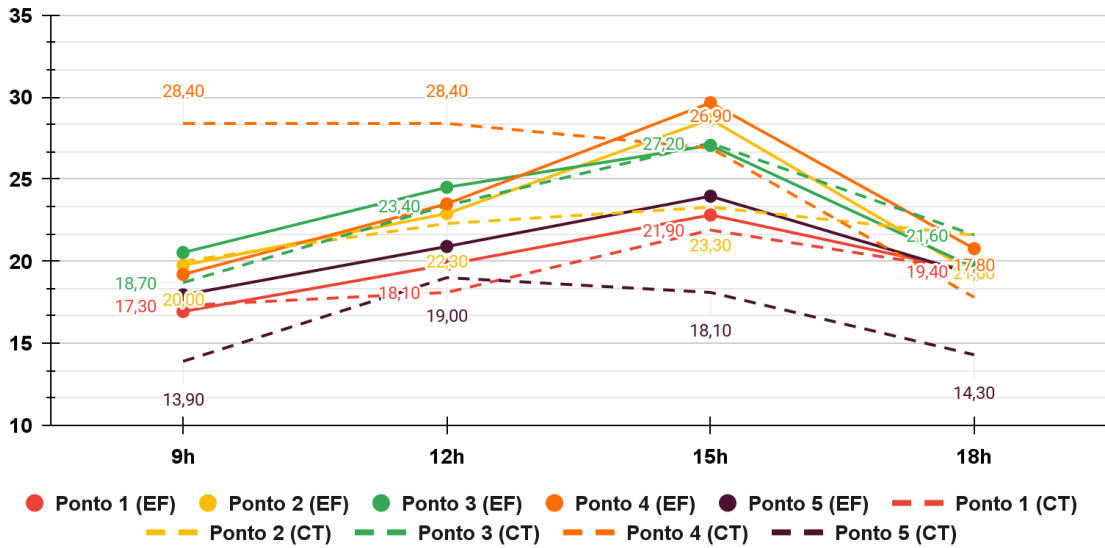
DIA 20/07/2023 - CÂMERA TERMOGRÁFICA (TM)

Temperatura de Superfície (°C)



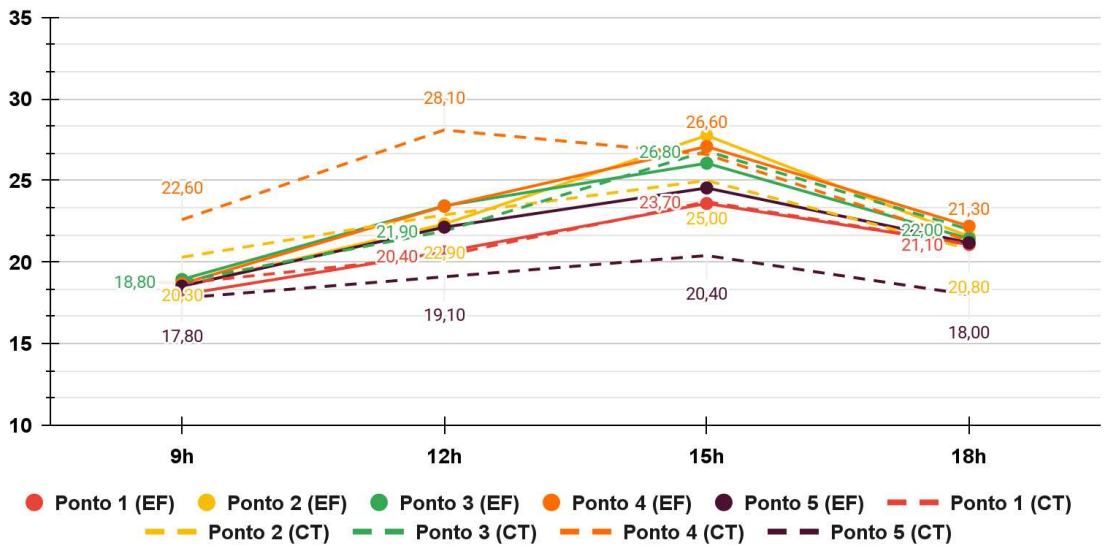
DIA 22/07/2023- ESTAÇÕES FIXAS (EF) E CÂMERA TERMOGRÁFICA (CT)

Temperatura (°C) e Temperatura de Superfície (°C)



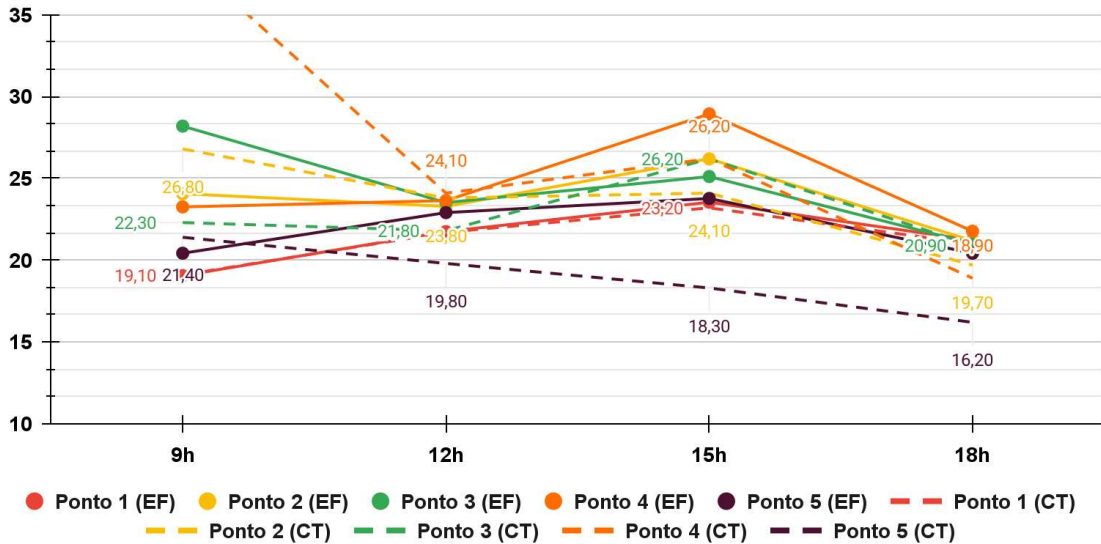
DIA 24/07/2023- ESTAÇÕES FIXAS (EF) E CÂMERA TERMOGRÁFICA (CT)

Temperatura (°C) e Temperatura de Superfície (°C)



DIA 28/07/2023- ESTAÇÕES FIXAS (EF) E CÂMERA TERMOGRÁFICA (CT)

Temperatura (°C) e Temperatura de Superfície (°C)



Fonte: Autoral, 2025.

Os pontos 4 e 5 apresentaram as maiores oscilações entre as TS registradas pela câmera e as temperaturas coletadas pelas EF. No ponto 3, as TS foram consideravelmente superiores às medições da EF em todos os dias analisados, sendo o ponto 4 o que apresentou a maior oscilação, alcançando uma diferença de 15°C às 9h no dia 28/07/2023. Nos demais dias, as oscilações no ponto 4 mantiveram-se próximas a 6°C acima da EF. Por outro lado, no ponto 5, as TS registradas pela câmera foram consistentemente menores do que as T medidas pela EF, com a maior oscilação negativa registrada no dia 22, às 15h, alcançando uma diferença de 5,87°C. Esse comportamento pode ser atribuído ao sombreamento no ponto e à influência da área verde da Praça do Rosário.

De maneira geral, as medições de TS corroboram o padrão térmico observado ao longo do dia, com as maiores T sendo predominantemente registradas às 15h. Apesar das distorções mais significativas observadas no ponto 4, a maior parte das oscilações médias entre TS e EF manteve-se próxima a 1°C, indicando uma boa correspondência entre os métodos de coleta e reforçando a confiabilidade dos dados obtidos.

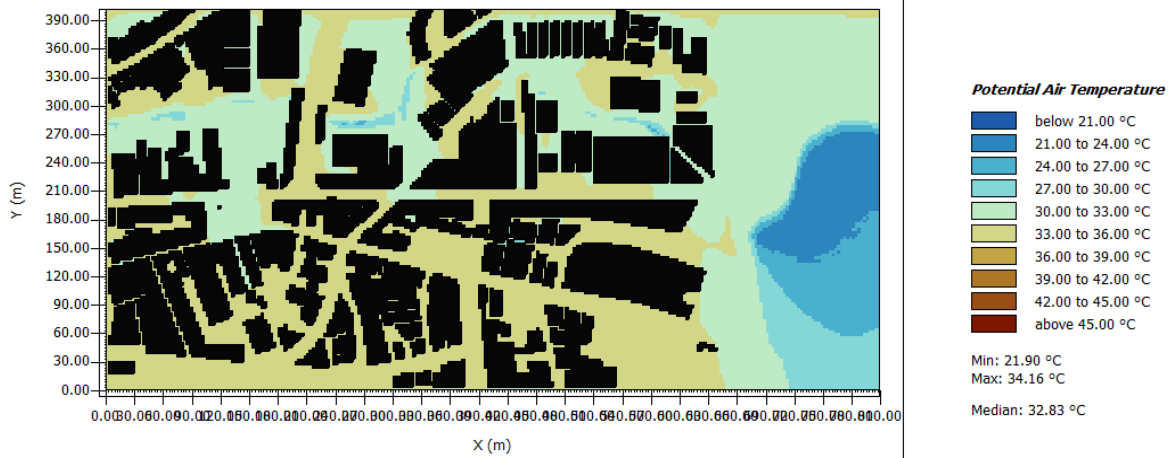
4.1.4. Cenários Simulados

Ao analisar as imagens termográficas dos cenários simulados (Figura 19 a 28), é possível observar a espacialização das T e UR ao longo da área de estudo. A maior

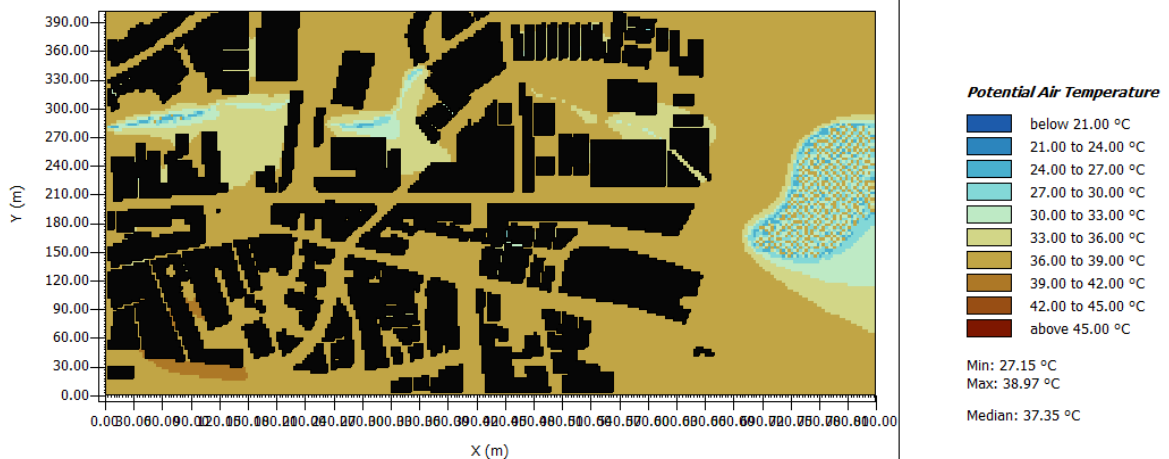
concentração de UR ocorre sobre os corpos d'água, como a lagoa e o riacho, além da área gramada da UFV e das proximidades dos riachos. As áreas com manchas de T mais intensas (acima de 45°C) se concentram próximas à Antiga Estação, onde há uma maior extensão de avenida com configuração de material asfaltado. Além disso, as áreas entre os edifícios também apresentam temperaturas elevadas, variando entre 33°C e 39°C nos cenários históricos e entre 39°C e 45°C nos cenários futuros.

Figura 19. Imagens termográficas dos Cenários Simulados no Verão no Ponto 1 (Temperatura Potencial do Ar)

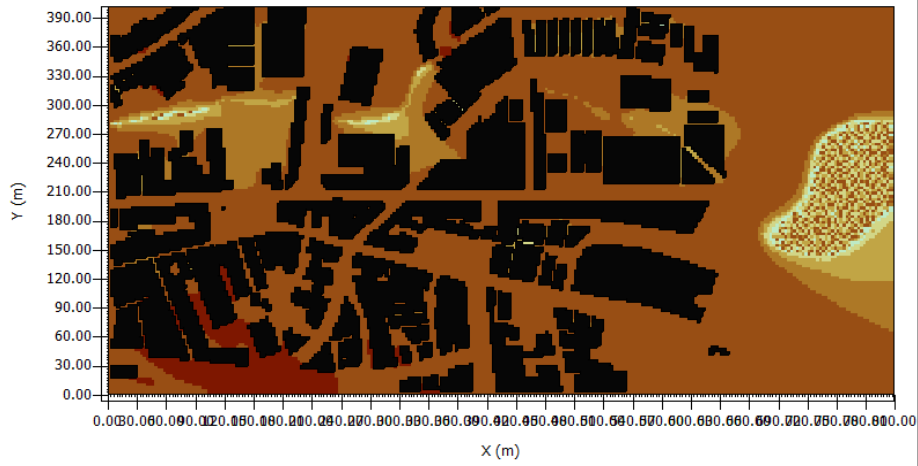
C1 - Modelo de Base (C.Histórico 2008-2020)



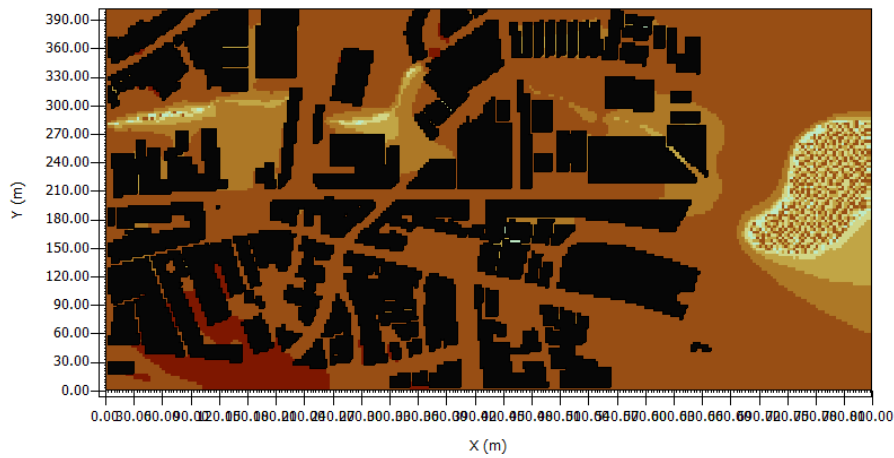
C2 - Modelo de Base (C. Histórico 1985-2014)



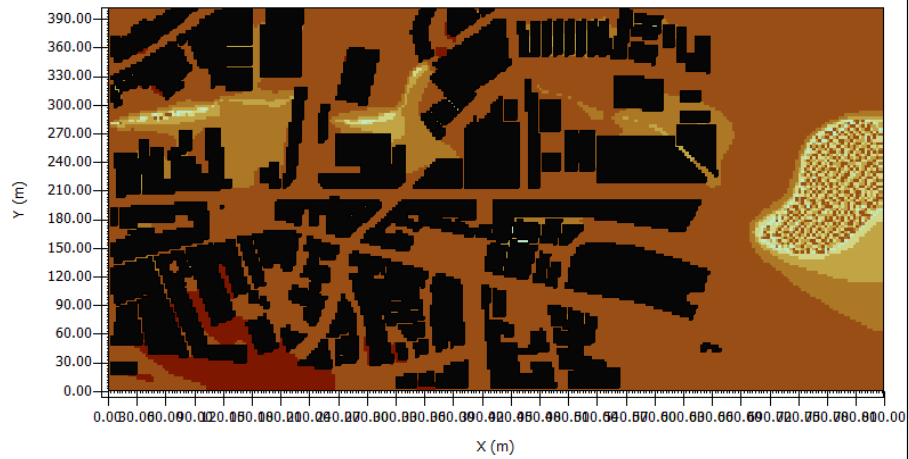
C3 - Modelo de Base (Cenário Futuro)



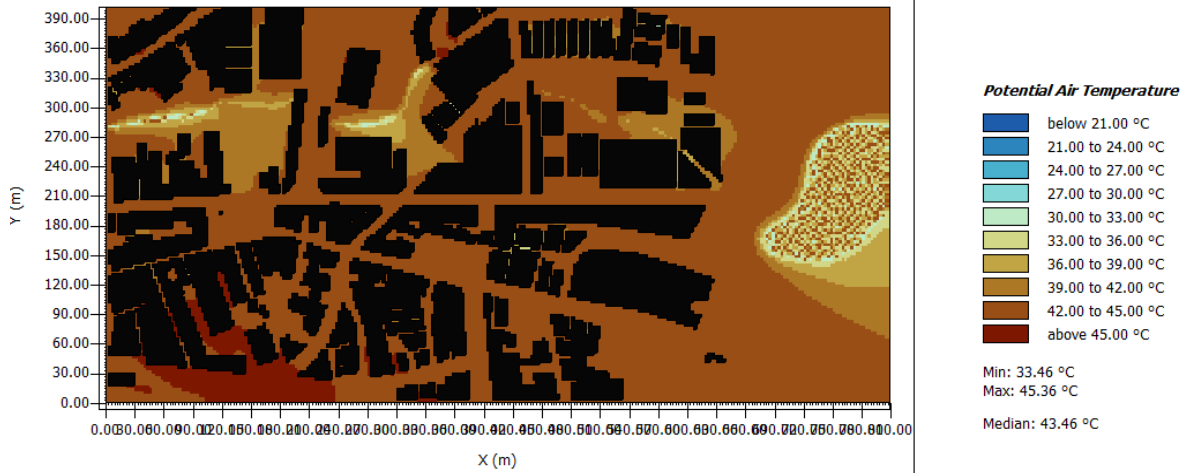
C4 - Fachada Verde (Cenário Futuro)



C5 - Cobertura Verde (Cenário Futuro)



C6 - Arborização Viária (Cenário Futuro)

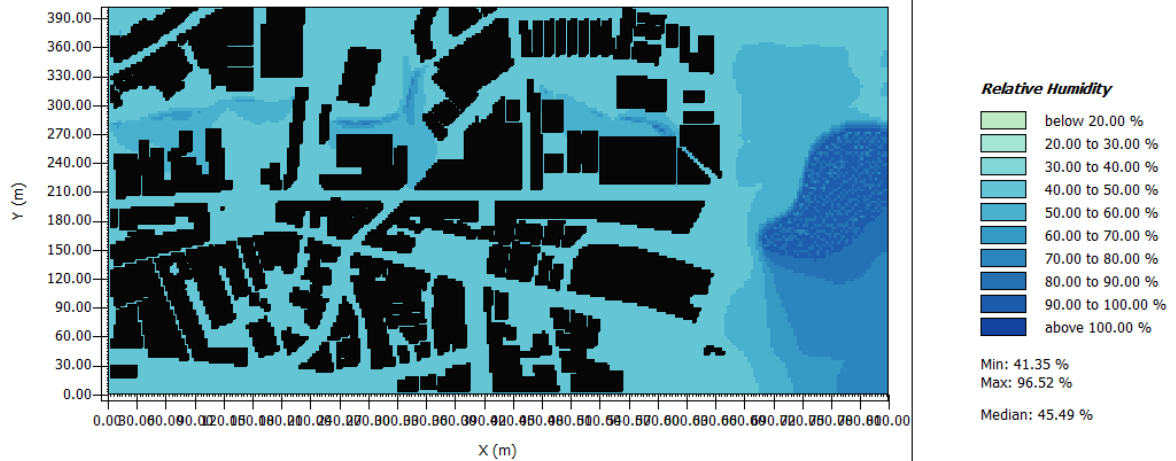


Estação: Verão
Horário: 15h
Altura: 1,5m

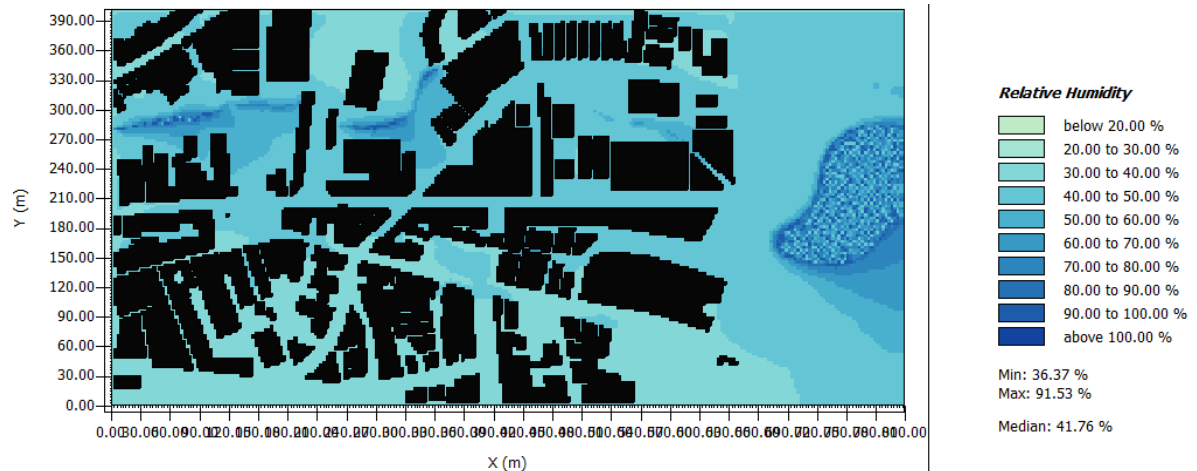


Figura 20. Imagens termográficas dos Cenários Simulados no Verão no Ponto 1 (Umidade Relativa do Ar)

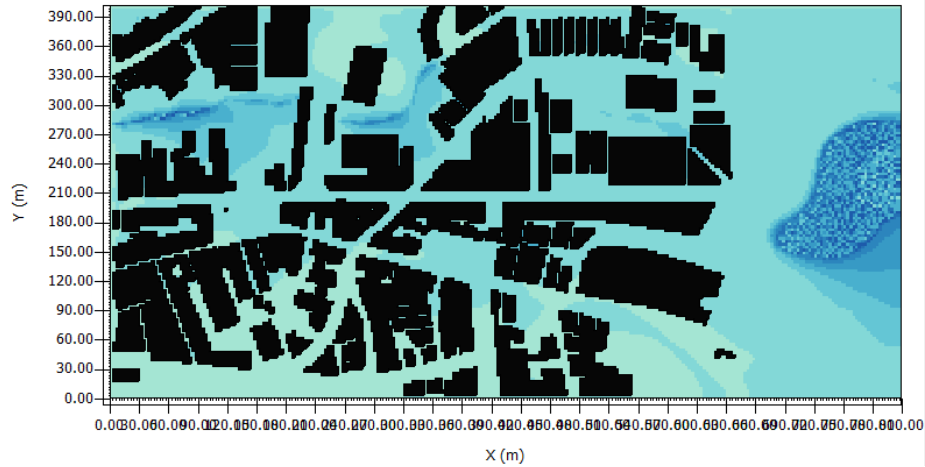
C1 - Modelo de Base (C.Histórico 2008-2020)



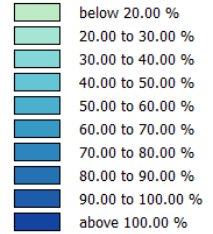
C2 - Modelo de Base (C. Histórico 1985-2014)



C3 - Modelo de Base (Cenário Futuro)



Relative Humidity

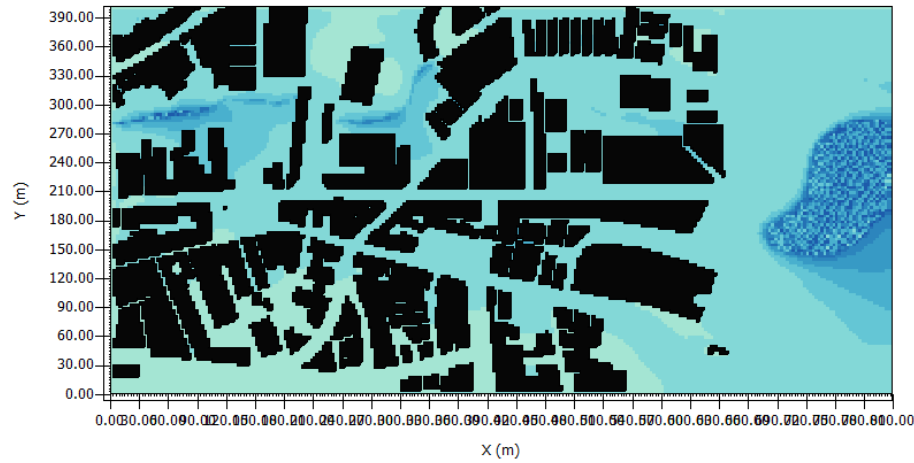


Min: 27.25 %

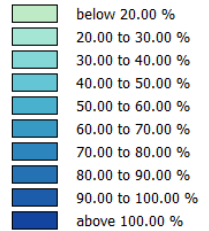
Max: 89.19 %

Median: 32.27 %

C4 - Fachada Verde (Cenário Futuro)



Relative Humidity

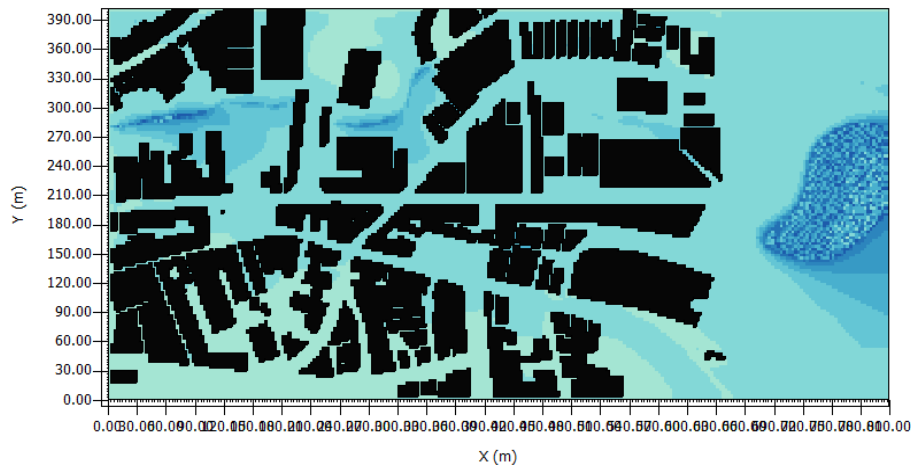


Min: 27.25 %

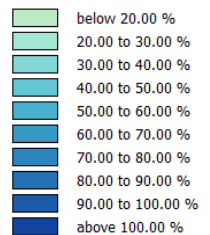
Max: 90.14 %

Median: 33.26 %

C5 - Cobertura Verde (Cenário Futuro)



Relative Humidity

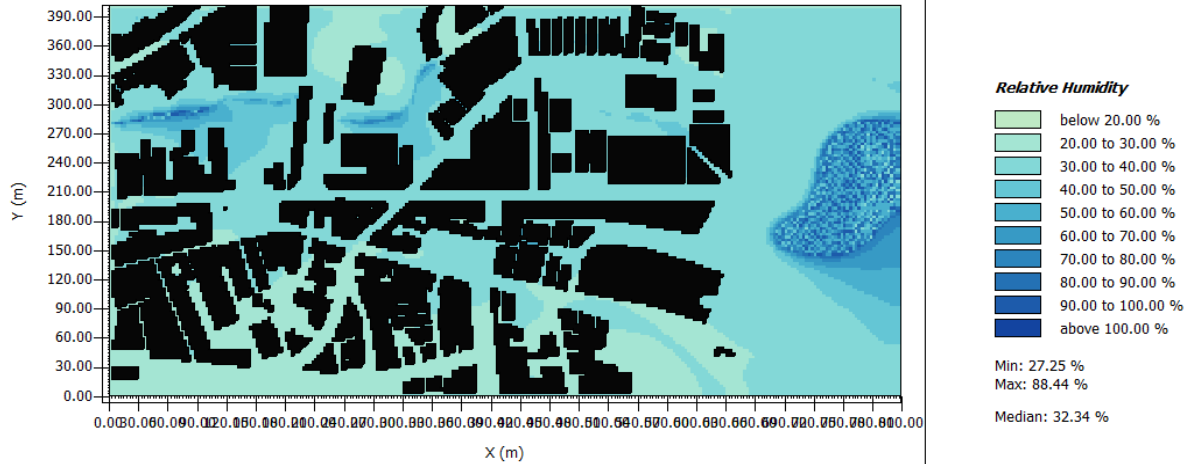


Min: 27.25 %

Max: 88.10 %

Median: 32.79 %

C6 - Arborização Viária (Cenário Futuro)

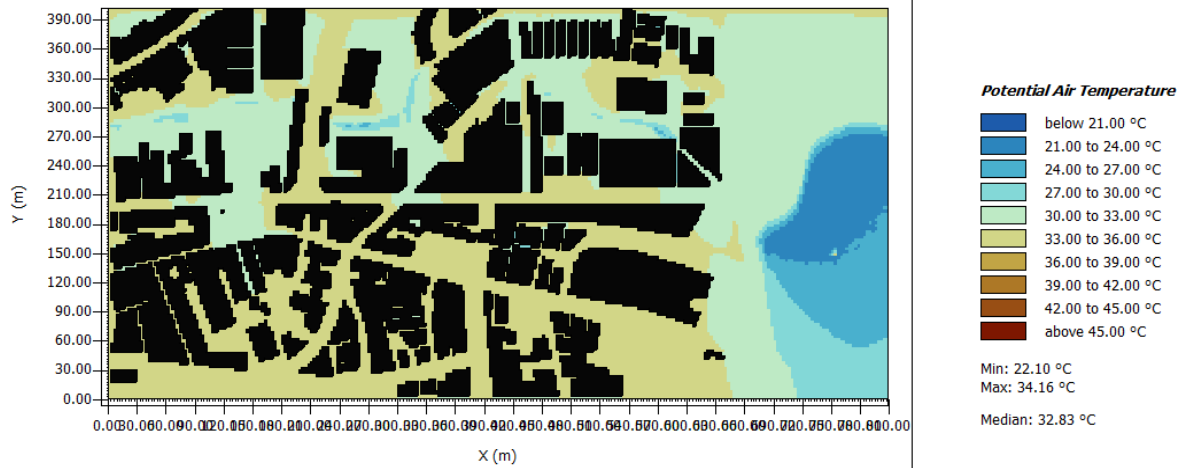


Estação: Verão
Horário: 15h
Altura: 1,5m

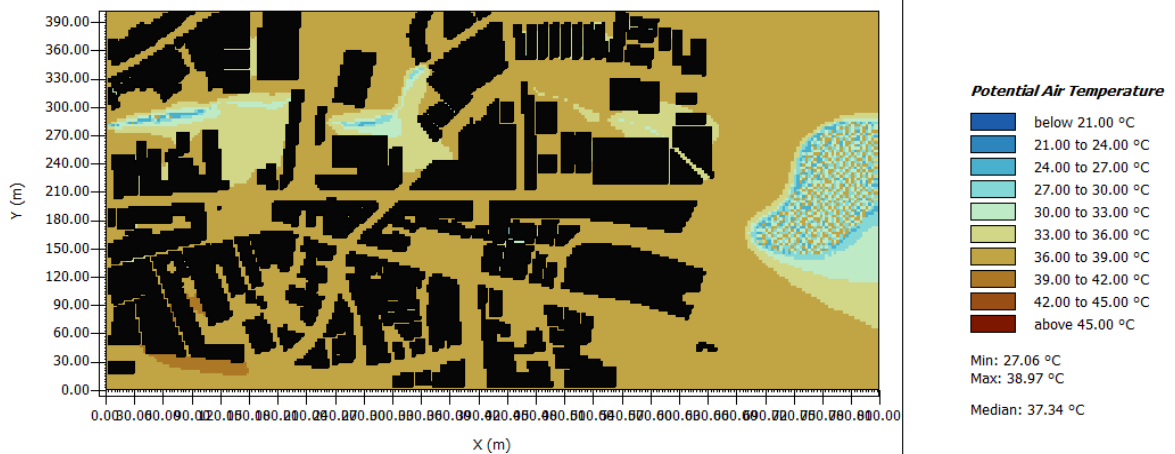


Figura 21. Imagens termográficas dos Cenários Simulados no Verão no Ponto 2 (Temperatura Potencial do Ar)

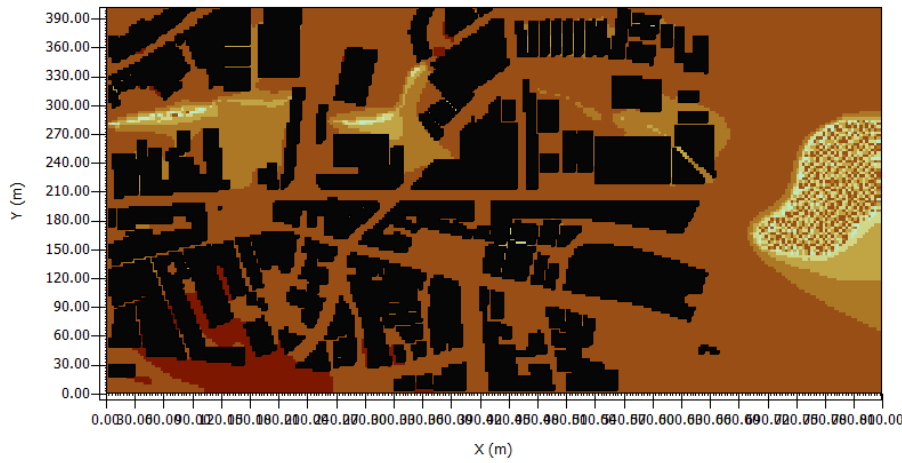
C1 - Modelo de Base (C.Histórico 2008-2020)



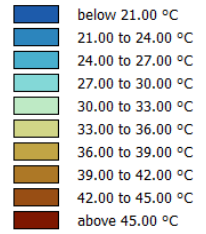
C2 - Modelo de Base (C. Histórico 1985-2014)



C3 - Modelo de Base (Cenário Futuro)



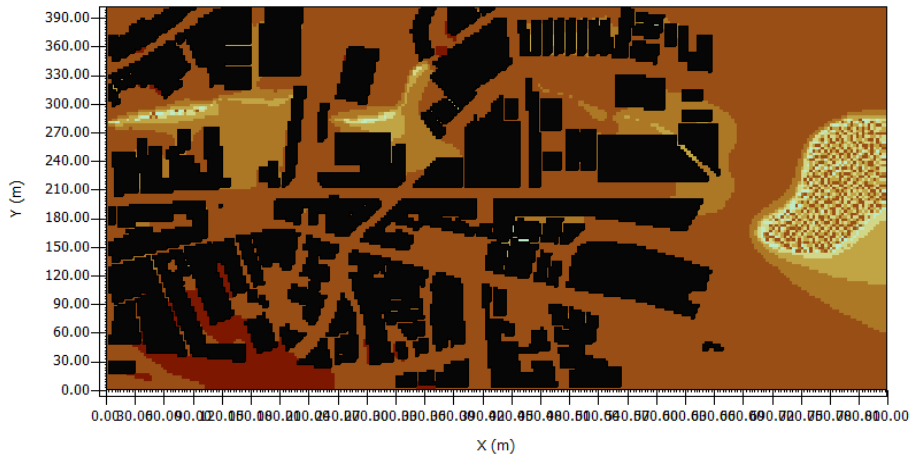
Potential Air Temperature



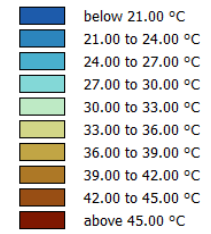
Min: 33.52 °C
Max: 45.36 °C

Median: 43.48 °C

C4 - Fachada Verde (Cenário Futuro)



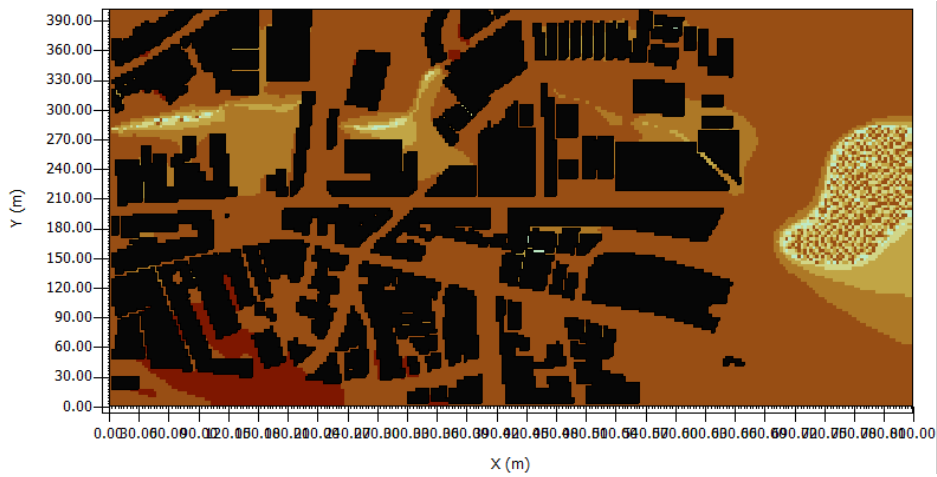
Potential Air Temperature



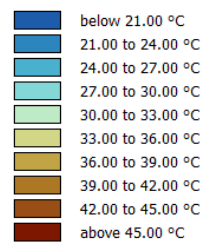
Min: 33.33 °C
Max: 45.36 °C

Median: 43.32 °C

C5 - Cobertura Verde (Cenário Futuro)



Potential Air Temperature



Min: 33.41 °C
Max: 45.36 °C

Median: 43.37 °C

C6 - Arborização Viária (Cenário Futuro)

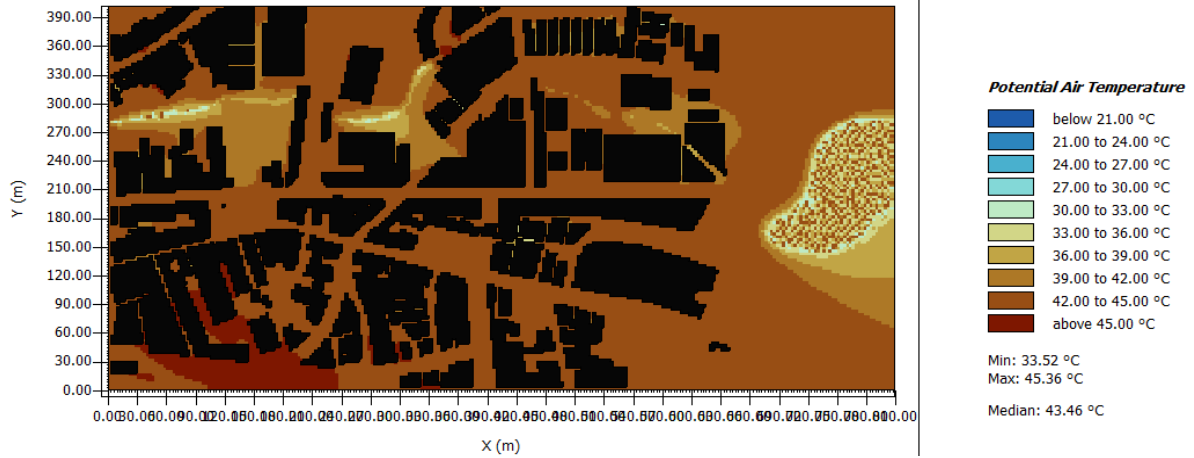
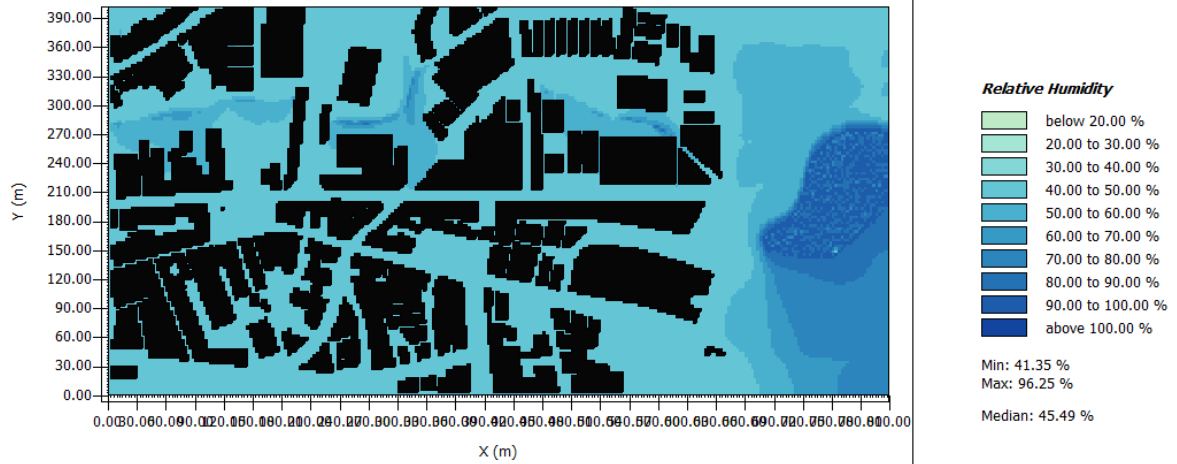
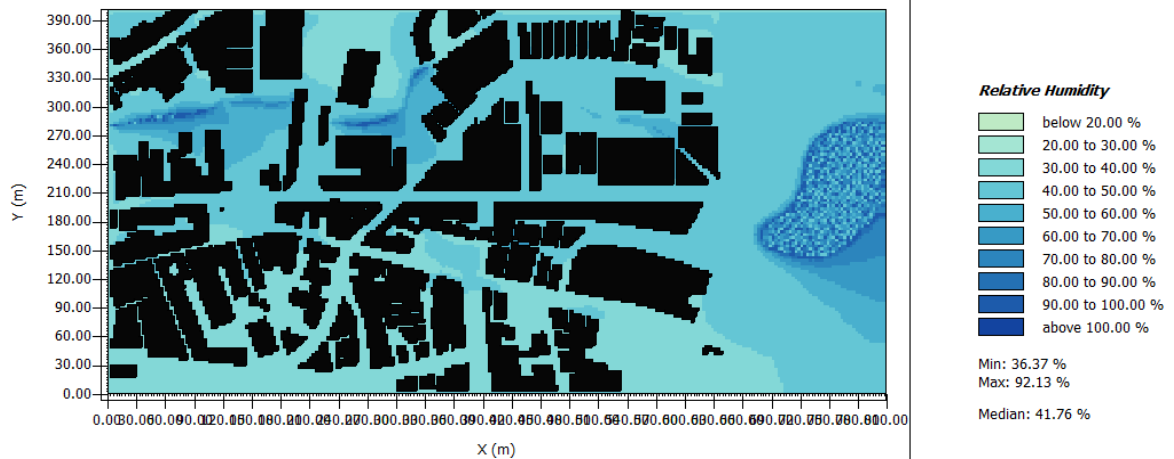


Figura 22. Imagens termográficas dos Cenários Simulados no Verão no Ponto 2 (Umidade Relativa)

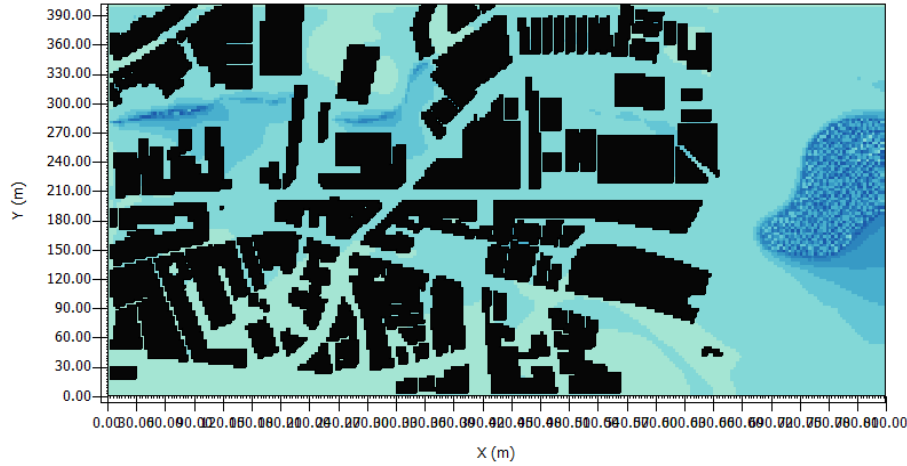
C1 - Modelo de Base (C.Histórico 2008-2020)



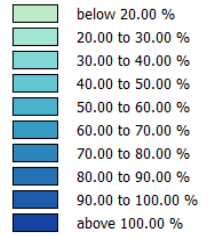
C2 - Modelo de Base (C. Histórico 1985-2014)



C3 - Modelo de Base (Cenário Futuro)



Relative Humidity

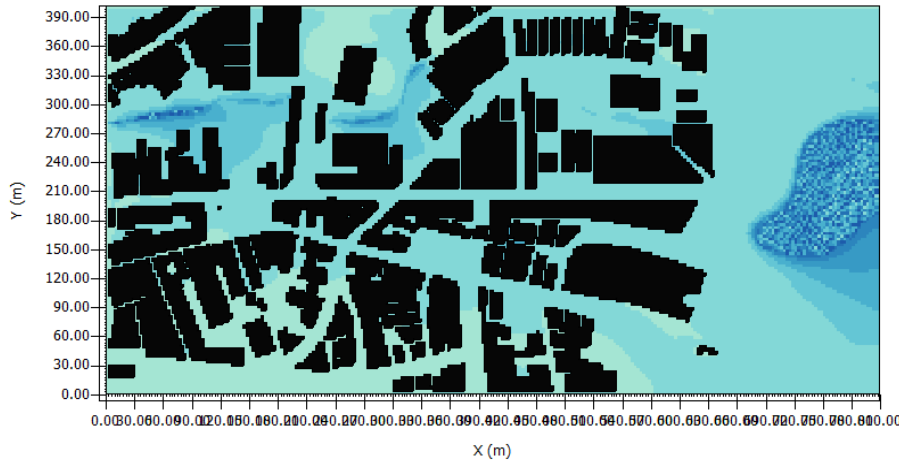


Min: 27.25 %

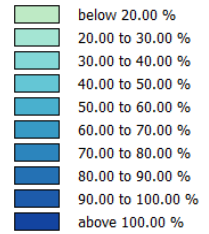
Max: 88.76 %

Median: 32.27 %

C4 - Fachada Verde (Cenário Futuro)



Relative Humidity

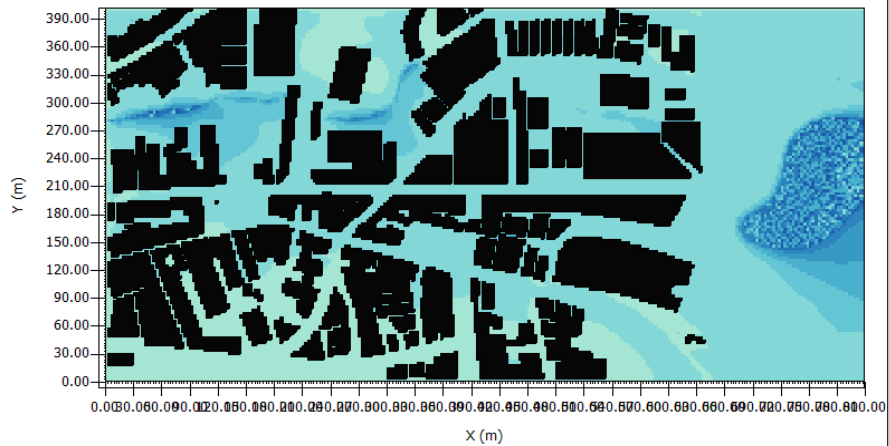


Min: 27.25 %

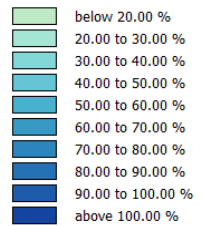
Max: 87.83 %

Median: 33.26 %

C5 - Cobertura Verde (Cenário Futuro)



Relative Humidity



Min: 27.25 %

Max: 89.04 %

Median: 32.79 %

C6 - Arborização Viária (Cenário Futuro)

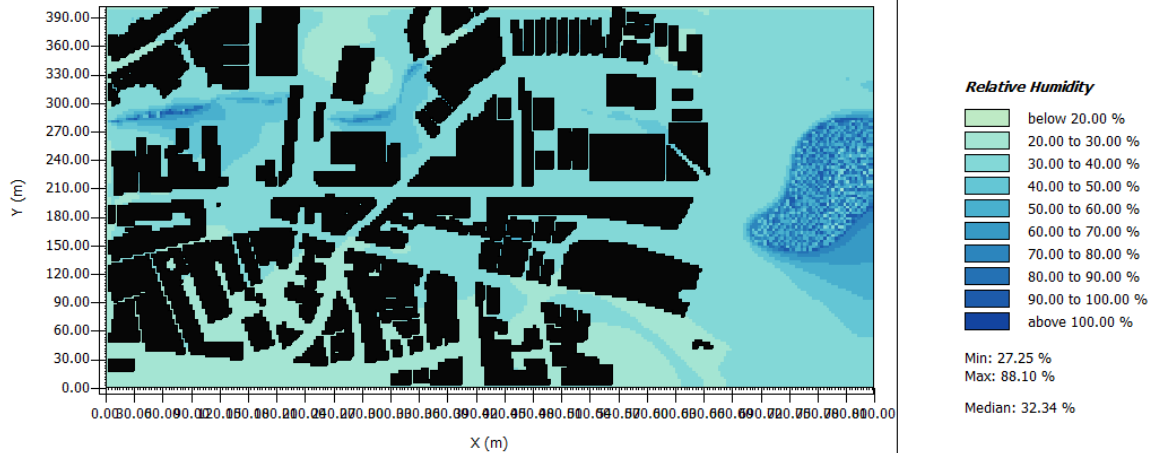
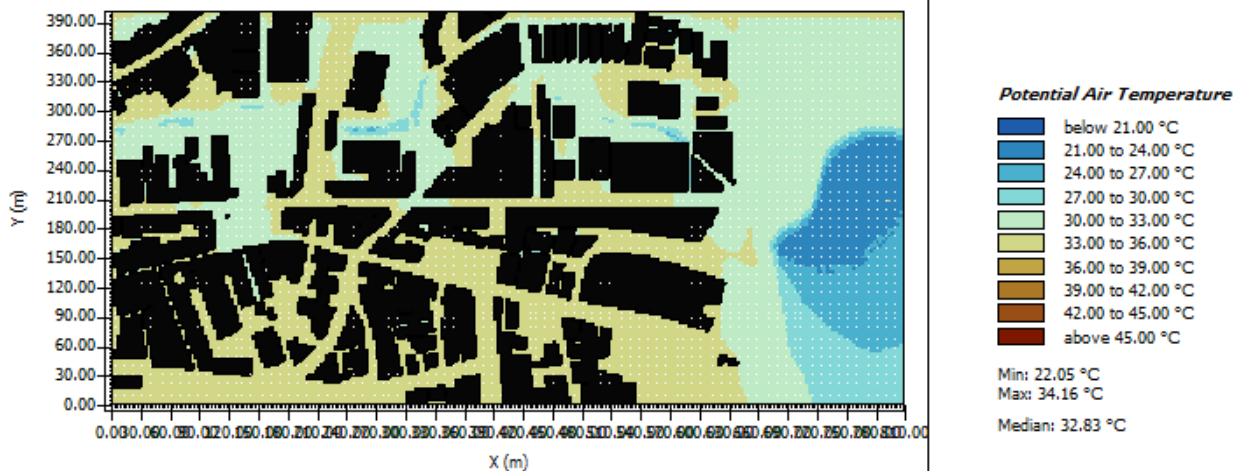
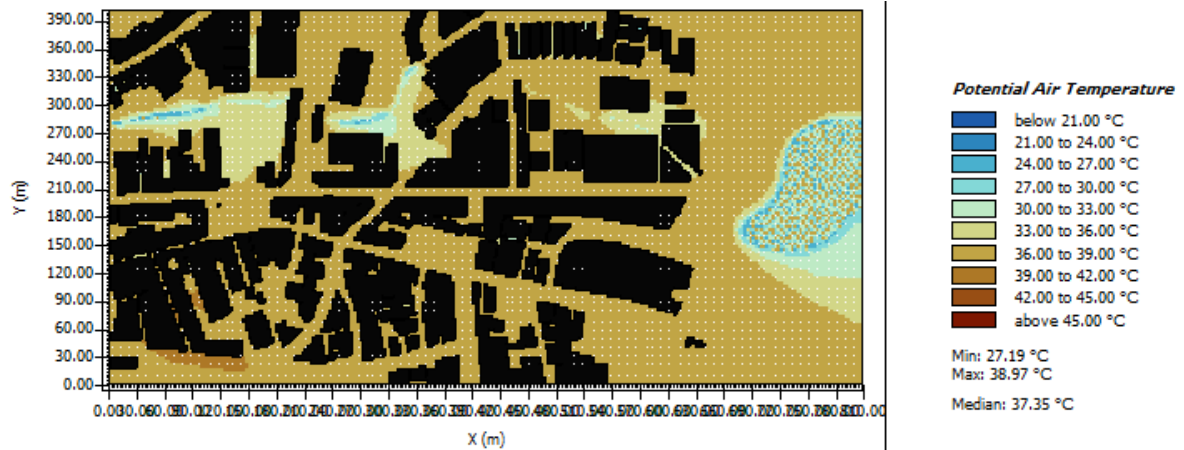


Figura 23. Imagens termográficas dos Cenários Simulados no Verão no Ponto 3 (Temperatura Potencial do Ar)

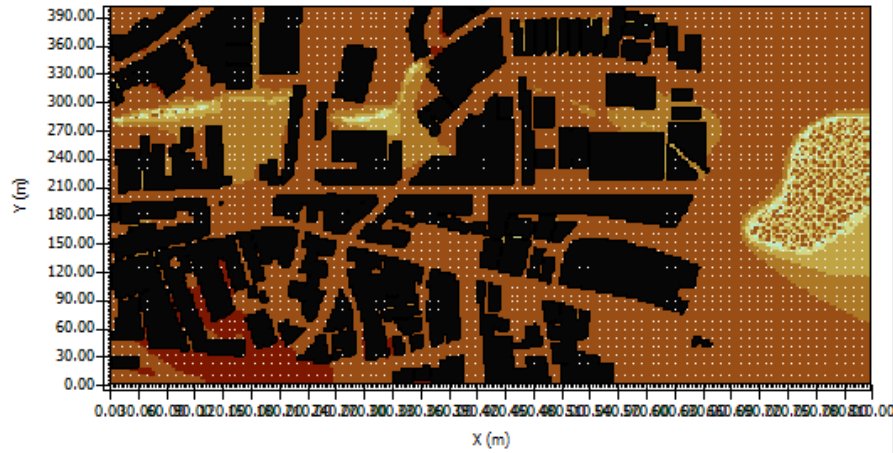
C1 - Modelo de Base (C.Histórico 2008-2020)



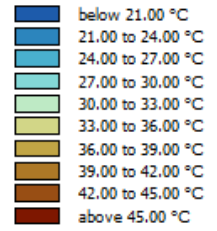
C2 - Modelo de Base (C. Histórico 1985-2014)



C3 - Modelo de Base (Cenário Futuro)



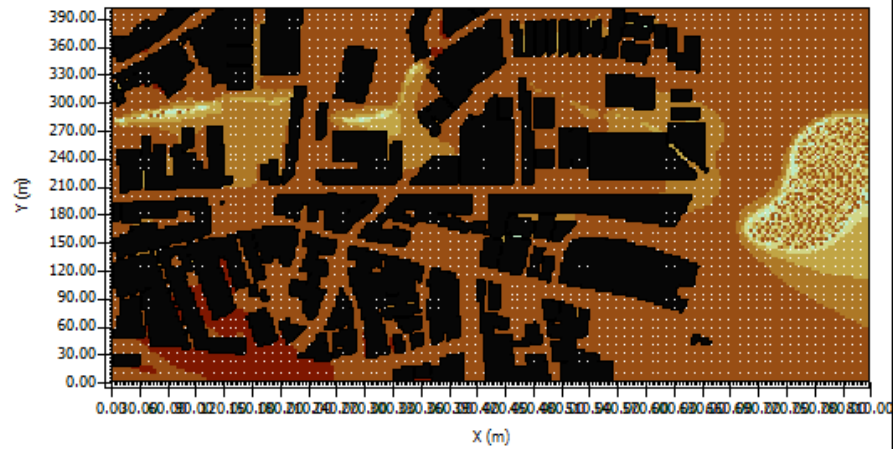
Potential Air Temperature



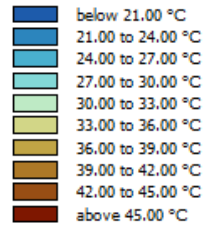
Min: 33.51 °C
Max: 45.36 °C

Median: 43.48 °C

C4 - Fachada Verde (Cenário Futuro)



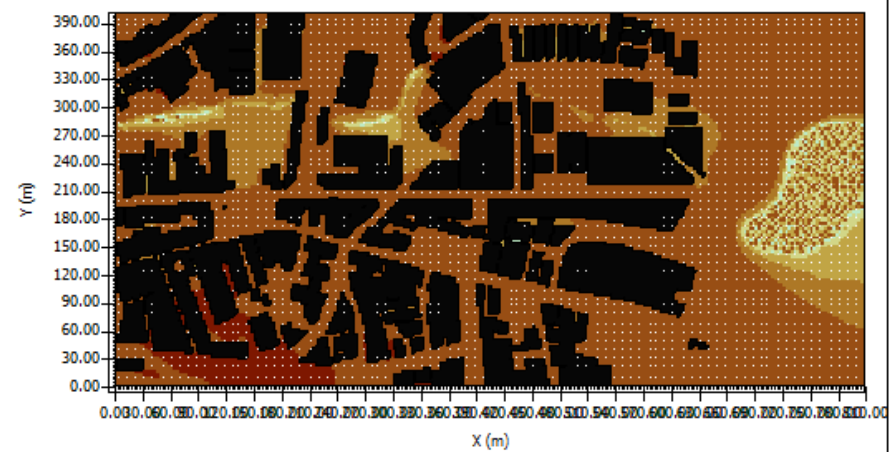
Potential Air Temperature



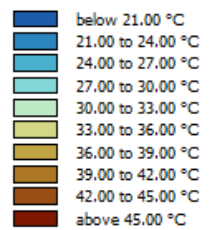
Min: 33.40 °C
Max: 45.36 °C

Median: 43.32 °C

C5 - Cobertura Verde (Cenário Futuro)



Potential Air Temperature



Min: 33.45 °C
Max: 45.36 °C

Median: 43.37 °C

C6 - Arborização Viária (Cenário Futuro)

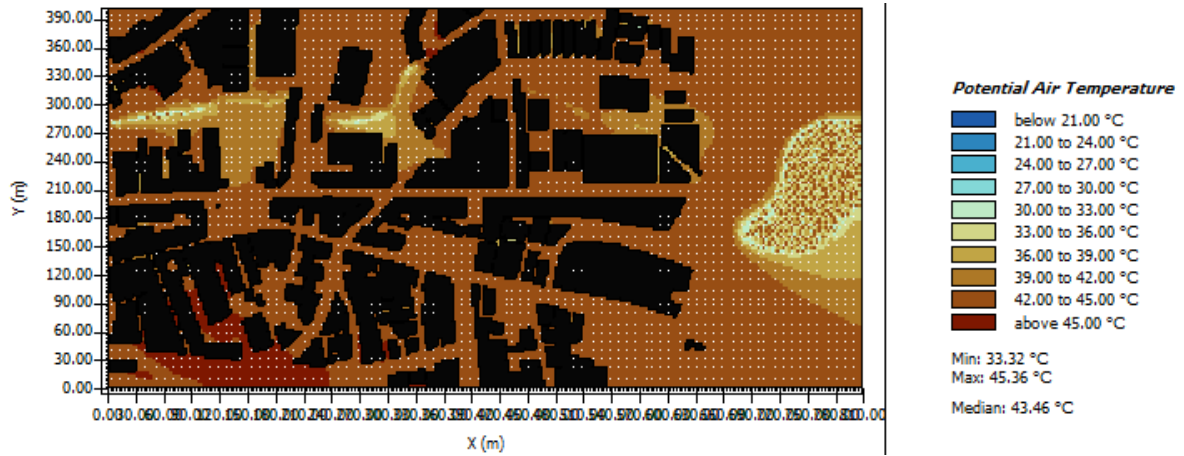
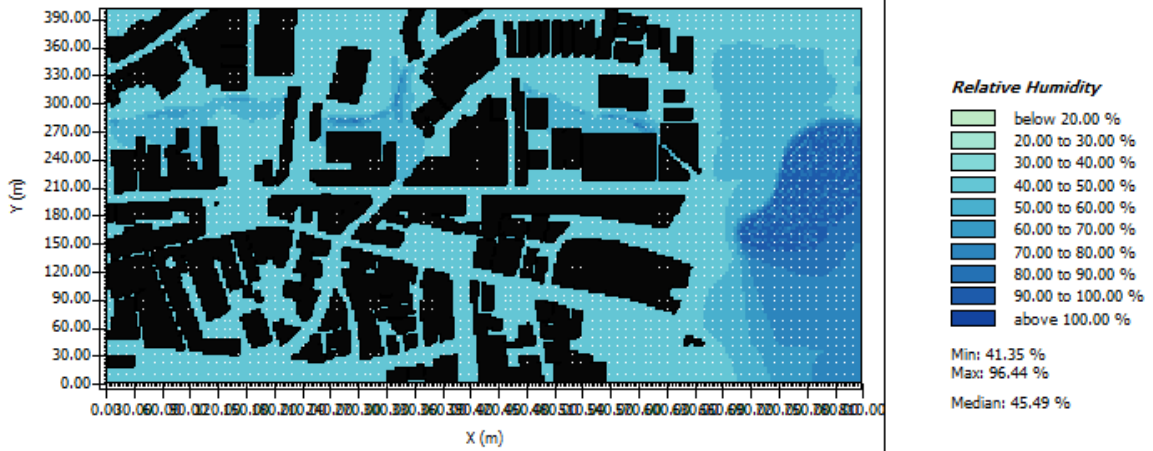
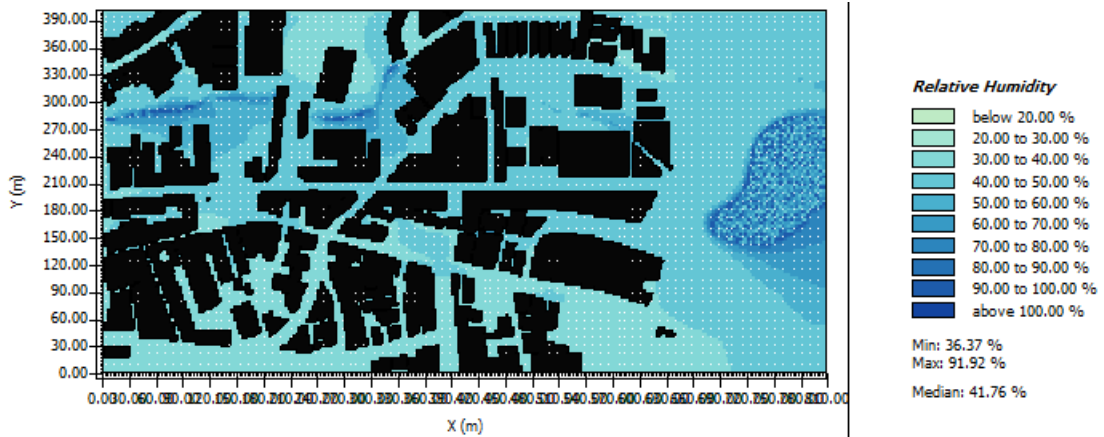


Figura 24. Imagens termográficas dos Cenários Simulados no Verão no Ponto 3 (Umidade Relativa)

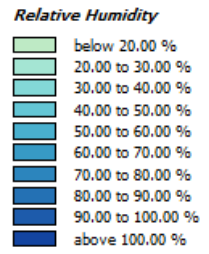
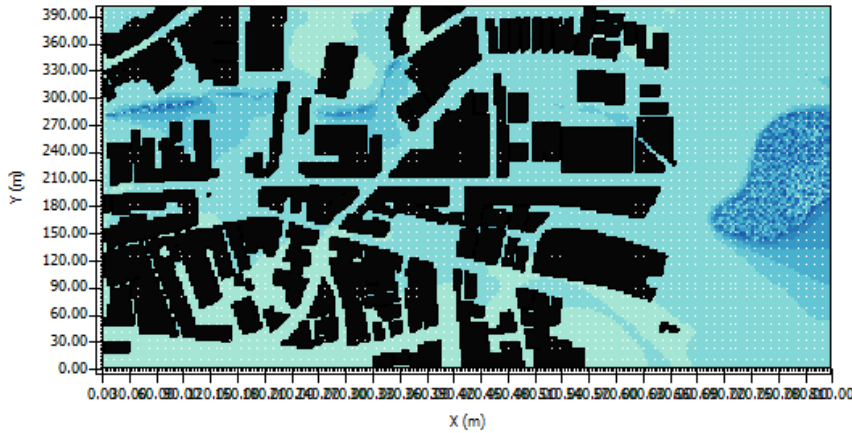
C1 - Modelo de Base (C.Histórico 2008-2020)



C2 - Modelo de Base (C. Histórico 1985-2014)

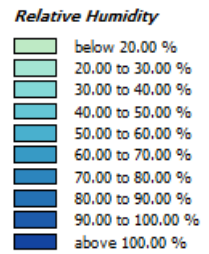
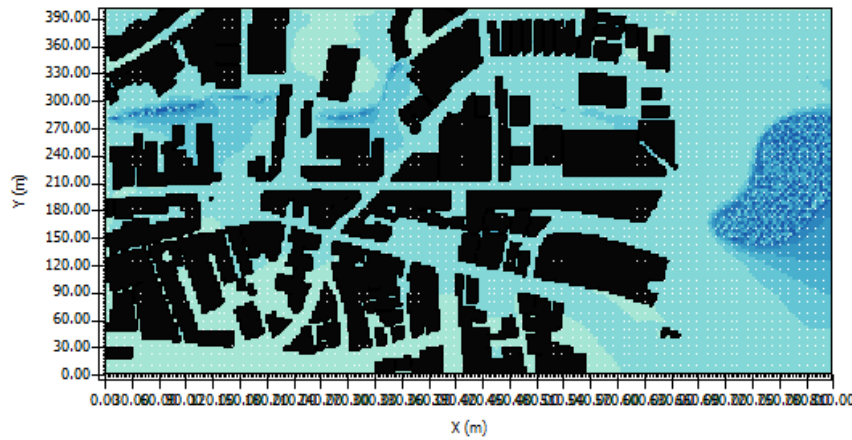


C3 - Modelo de Base (Cenário Futuro)



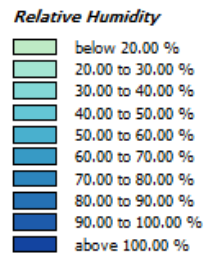
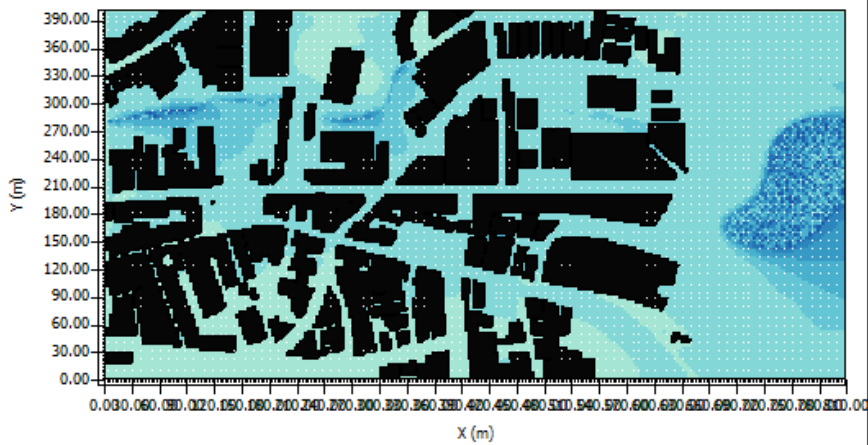
Min: 27.25 %
 Max: 87.75 %
 Median: 32.27 %

C4 - Fachada Verde (Cenário Futuro)



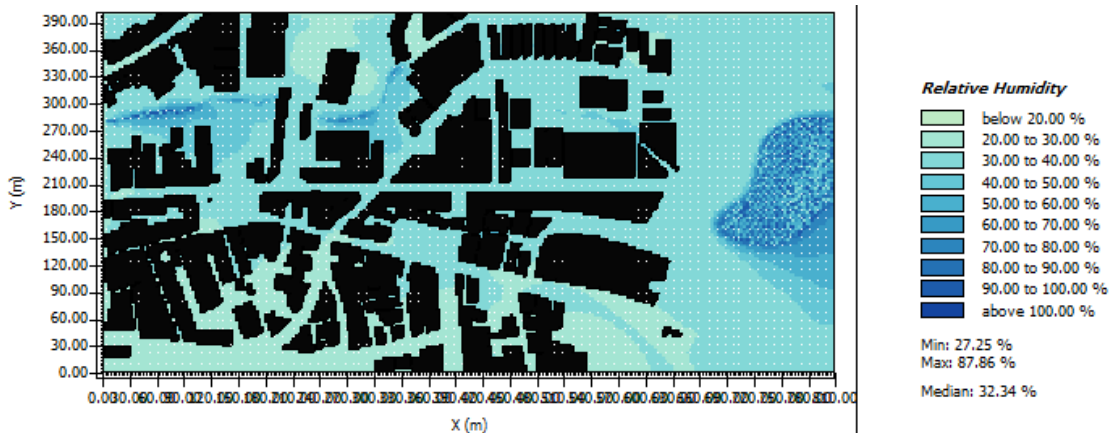
Min: 27.25 %
 Max: 90.46 %
 Median: 33.26 %

C5 - Cobertura Verde (Cenário Futuro)



Min: 27.25 %
 Max: 87.23 %
 Median: 32.79 %

C6 - Arborização Viária (Cenário Futuro)



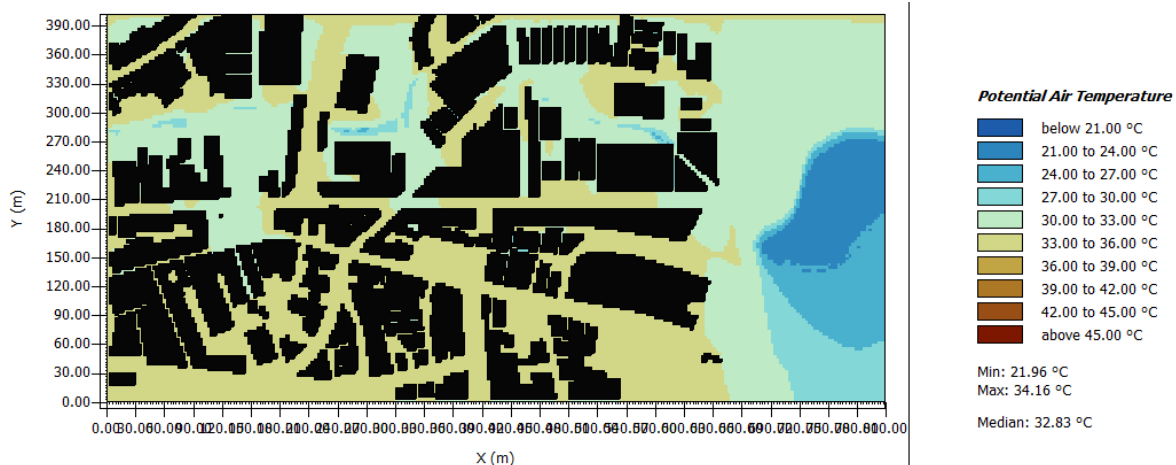
Estação: Verão

Horário: 15h

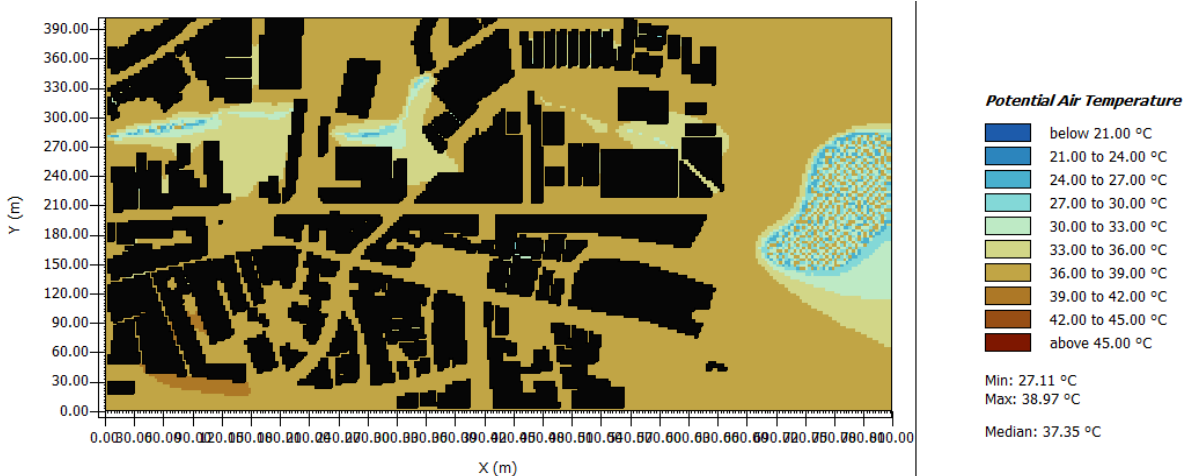
Altura: 1,5m

Figura 25. Imagens termográficas dos Cenários Simulados no Verão no Ponto 4 (Temperatura Potencial do Ar)

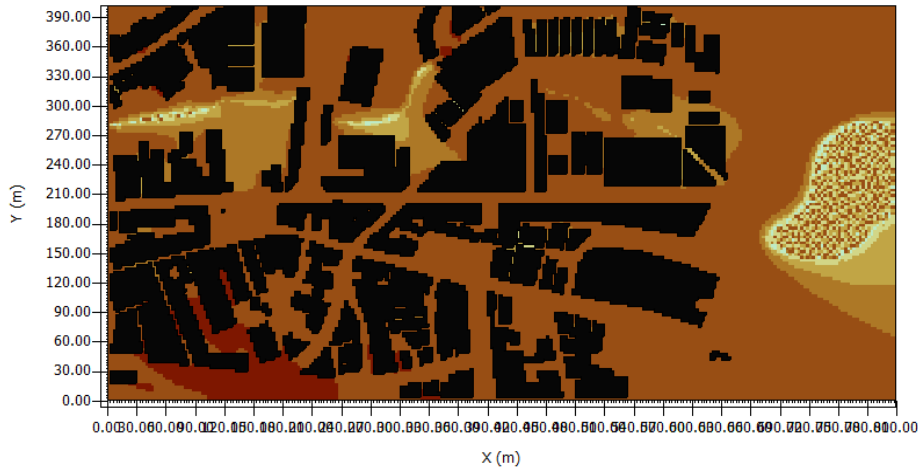
C1 - Modelo de Base (C.Histórico 2008-2020)



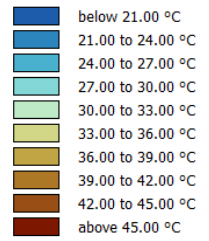
C2 - Modelo de Base (C. Histórico 1985-2014)



C3 - Modelo de Base (Cenário Futuro)



Potential Air Temperature

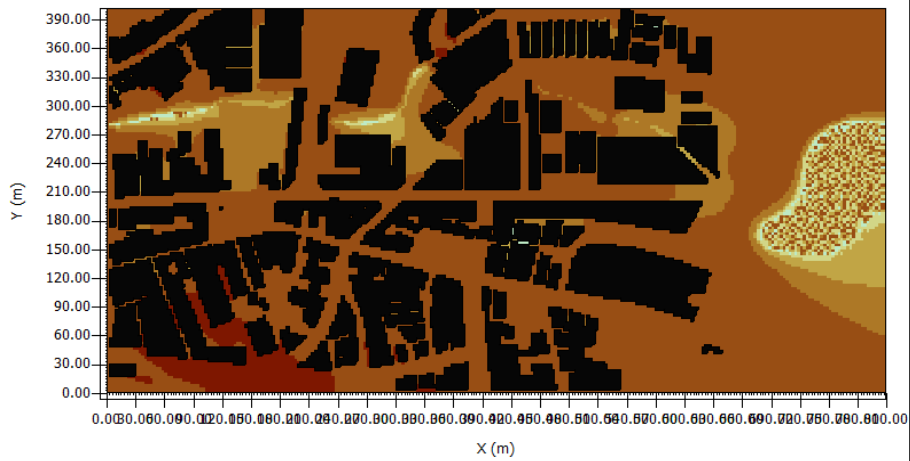


Min: 33.48 °C

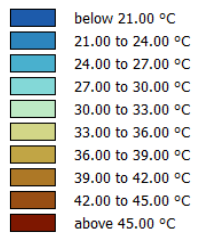
Max: 45.36 °C

Median: 43.47 °C

C4 - Fachada Verde (Cenário Futuro)



Potential Air Temperature

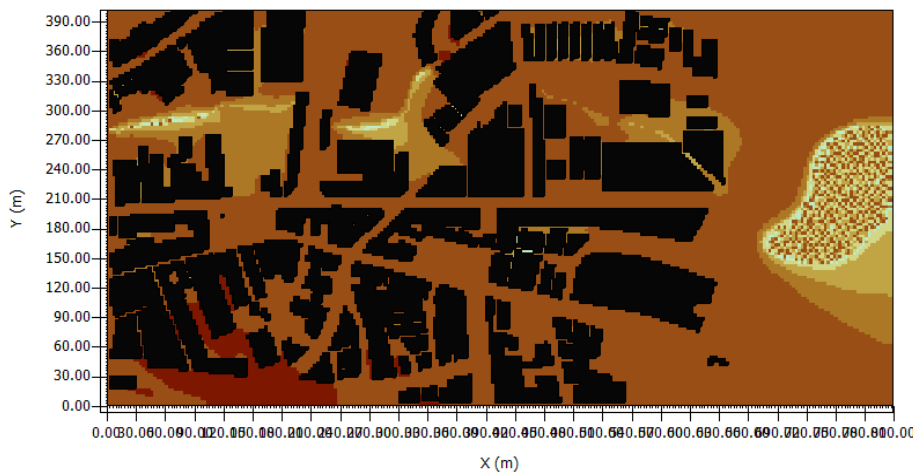


Min: 33.44 °C

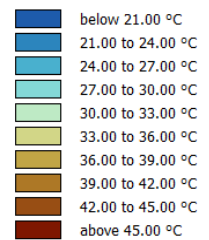
Max: 45.36 °C

Median: 43.32 °C

C5 - Cobertura Verde (Cenário Futuro)



Potential Air Temperature



Min: 33.40 °C

Max: 45.36 °C

Median: 43.37 °C

C6 - Arborização Viária (Cenário Futuro)

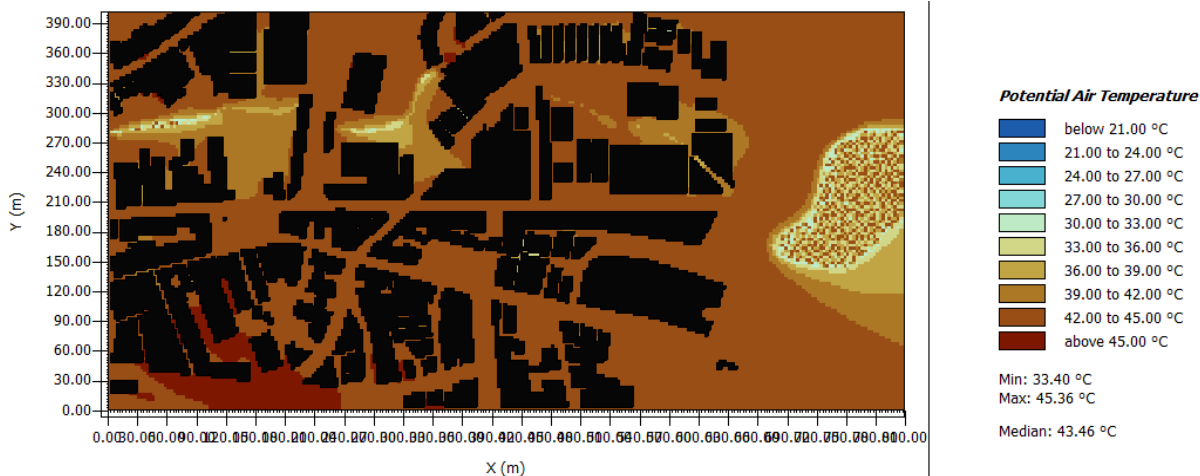
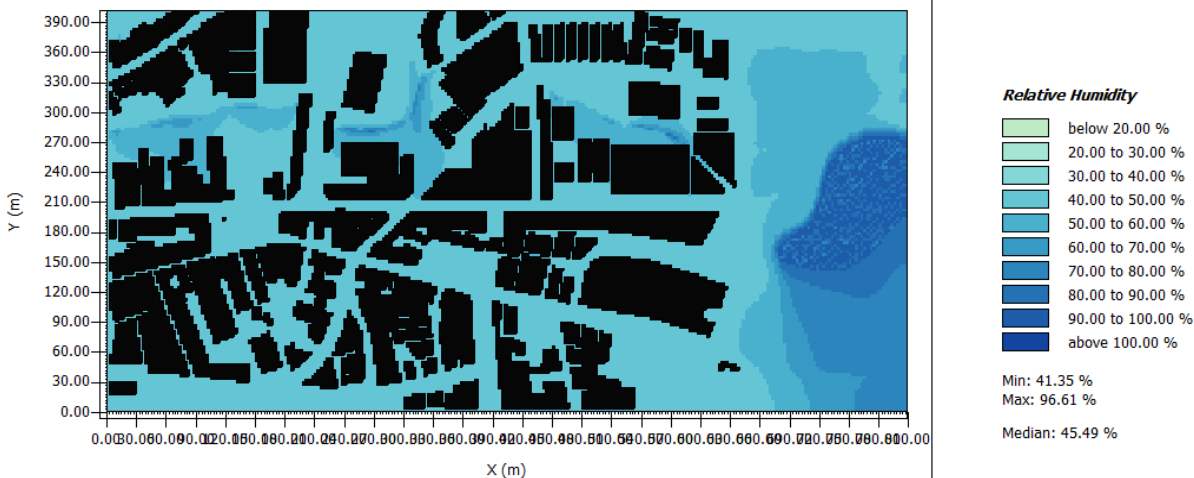
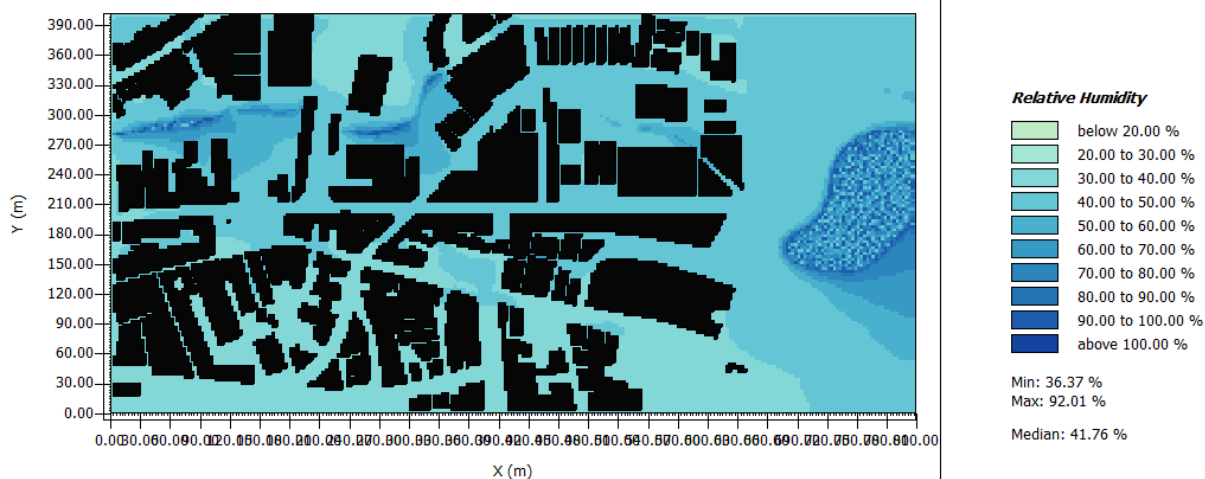


Figura 26. Imagens termográficas dos Cenários Simulados no Verão no Ponto 4 (Umidade Relativa)

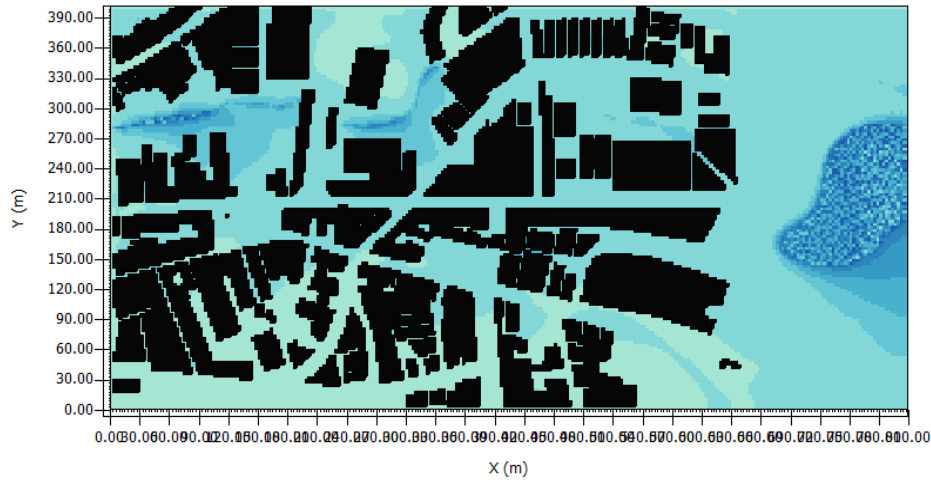
C1 - Modelo de Base (C.Histórico 2008-2020)



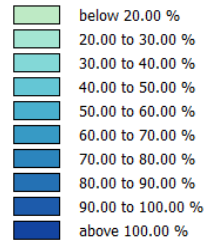
C2 - Modelo de Base (C. Histórico 1985-2014)



C3 - Modelo de Base (Cenário Futuro)



Relative Humidity

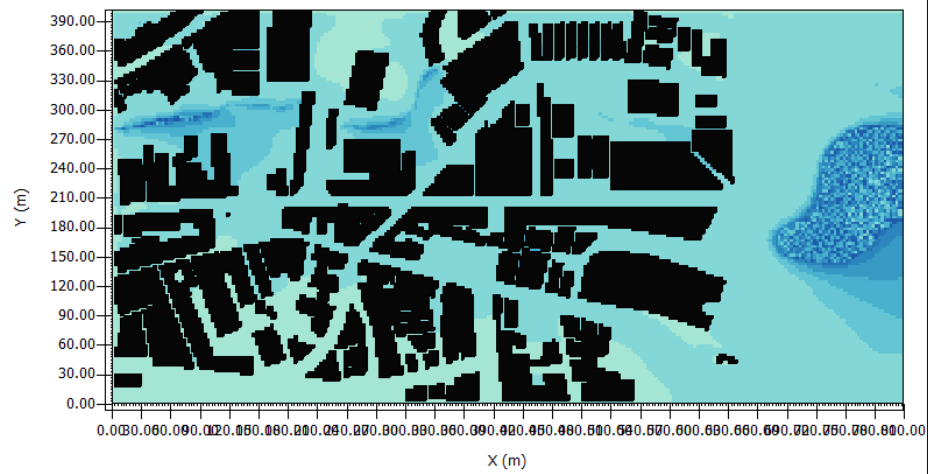


Min: 27.25 %

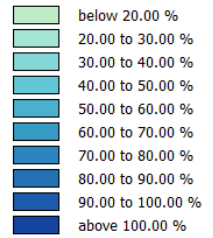
Max: 87.79 %

Median: 32.27 %

C4 - Fachada Verde (Cenário Futuro)



Relative Humidity

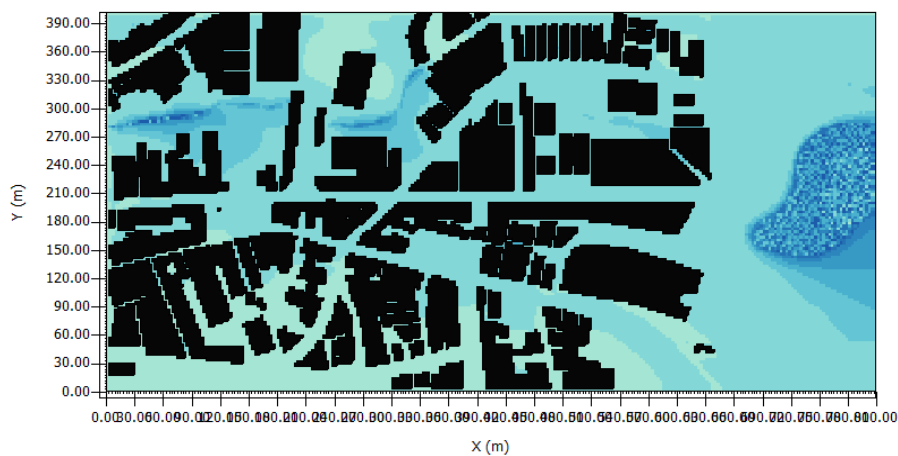


Min: 27.25 %

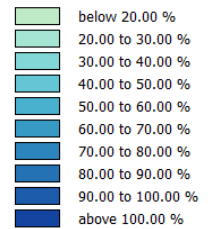
Max: 88.23 %

Median: 33.25 %

C5 - Cobertura Verde (Cenário Futuro)



Relative Humidity



Min: 27.25 %

Max: 87.71 %

Median: 32.79 %

C6 - Arborização Viária (Cenário Futuro)

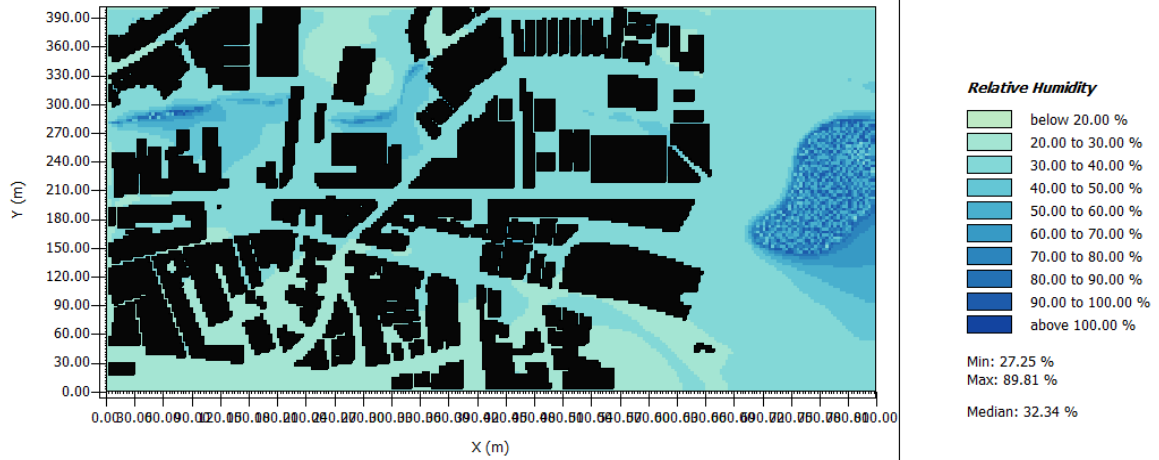
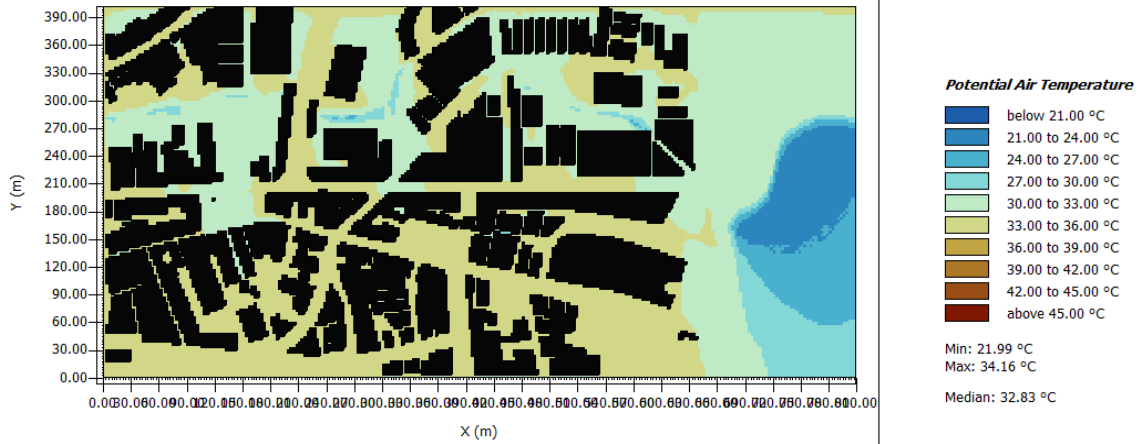
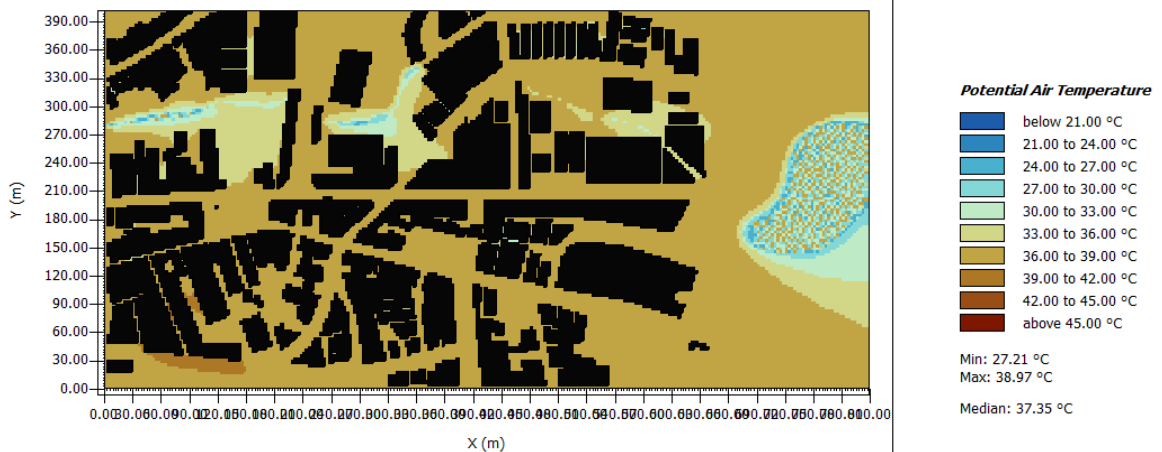


Figura 27. Imagens termográficas dos Cenários Simulados no Verão no Ponto 5 (Temperatura do Ar)

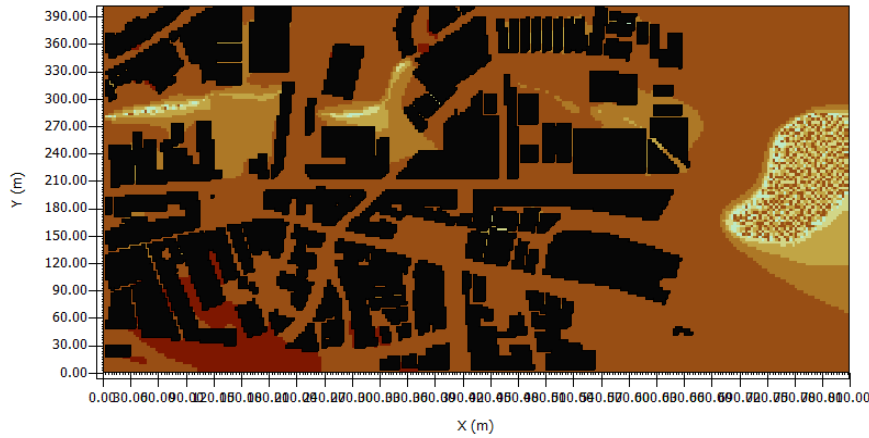
C1 - Modelo de Base (C.Histórico 2008-2020)



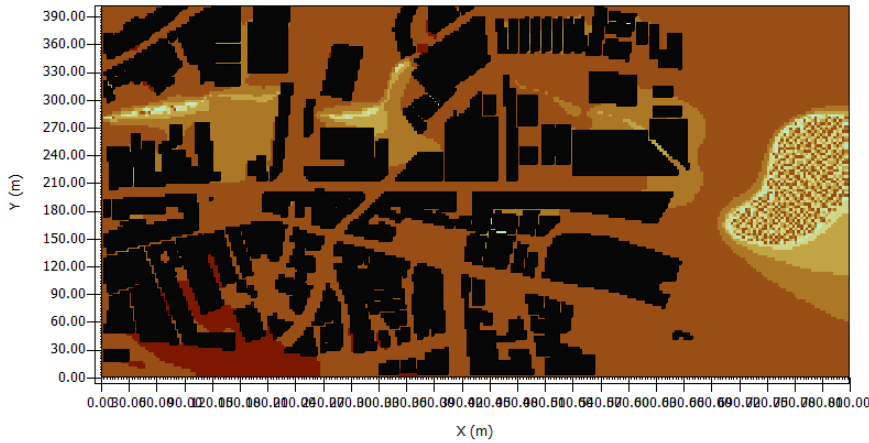
C2 - Modelo de Base (C. Histórico 1985-2014)



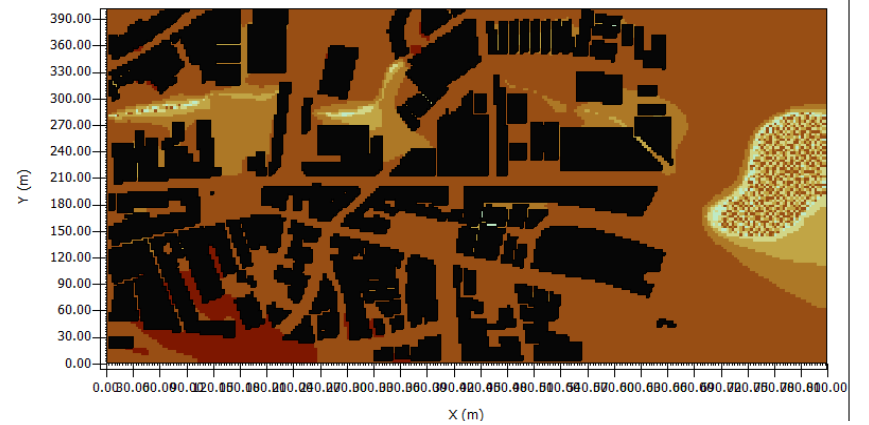
C3 - Modelo de Base (Cenário Futuro)



C4 - Fachada Verde (Cenário Futuro)



C5 - Cobertura Verde (Cenário Futuro)



C6 - Arborização Viária (Cenário Futuro)

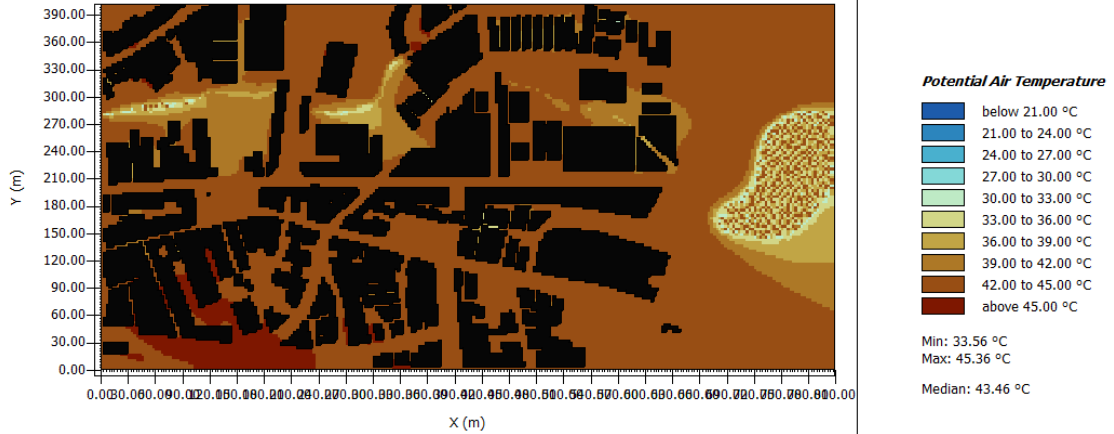
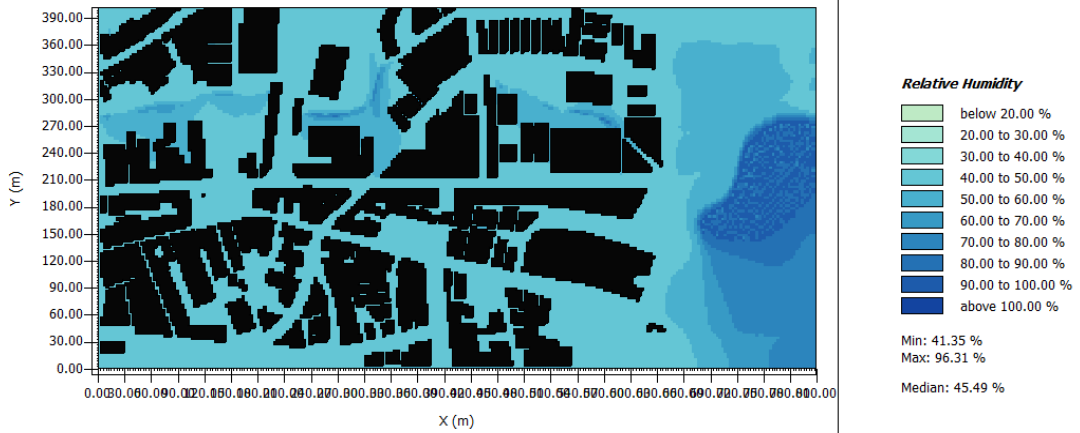
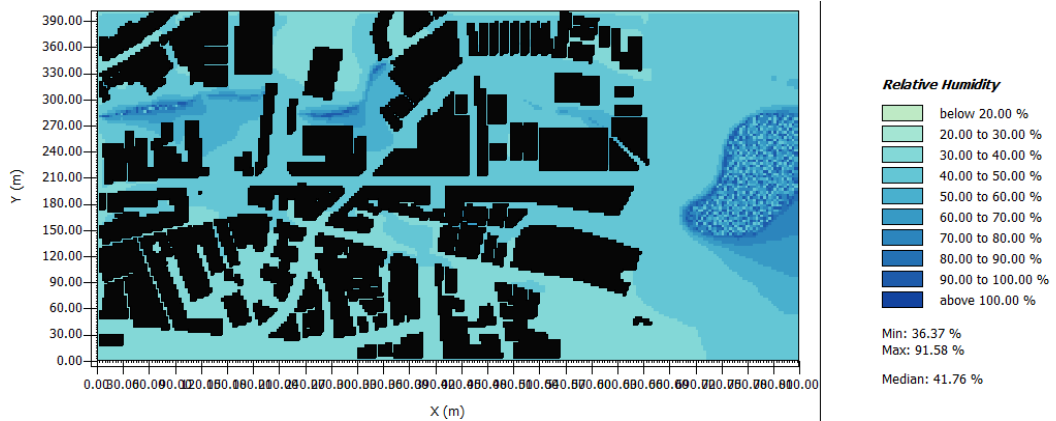


Figura 28. Imagens termográficas dos Cenários Simulados no Verão no Ponto 5 (Umidade Relativa)

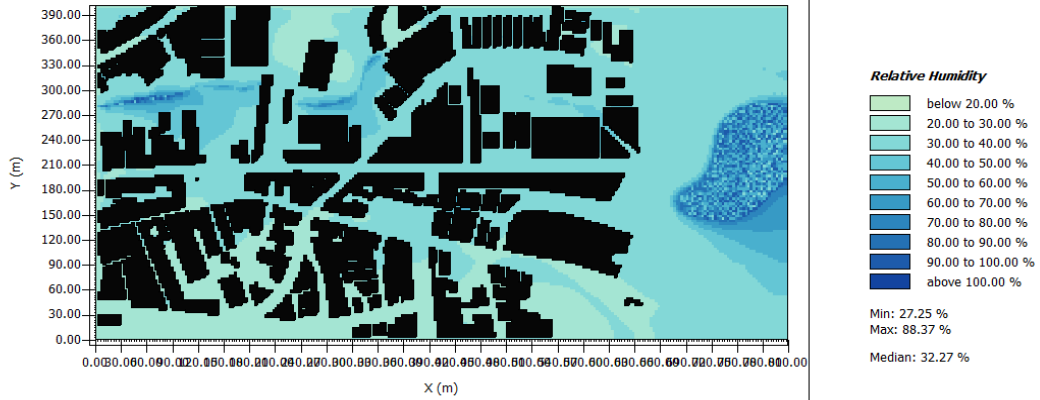
C1 - Modelo de Base (C.Histórico 2008-2020)



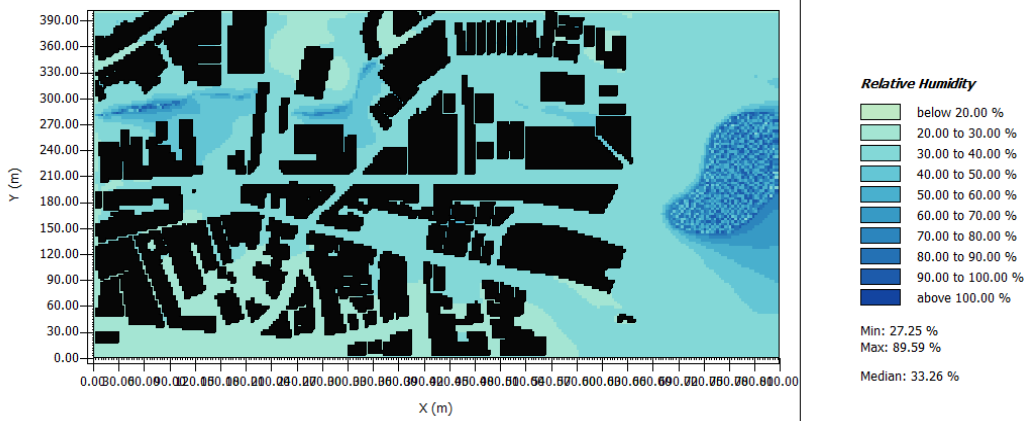
C2 - Modelo de Base (C. Histórico 1985-2014)



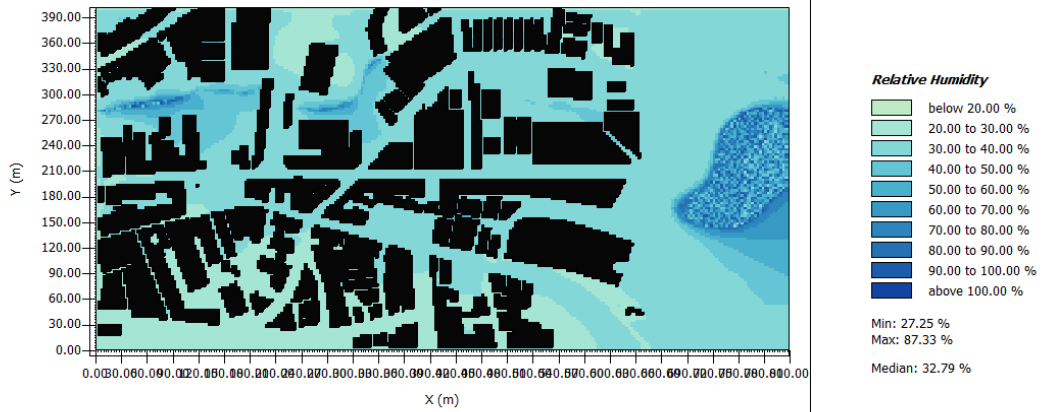
C3 - Modelo de Base (Cenário Futuro)

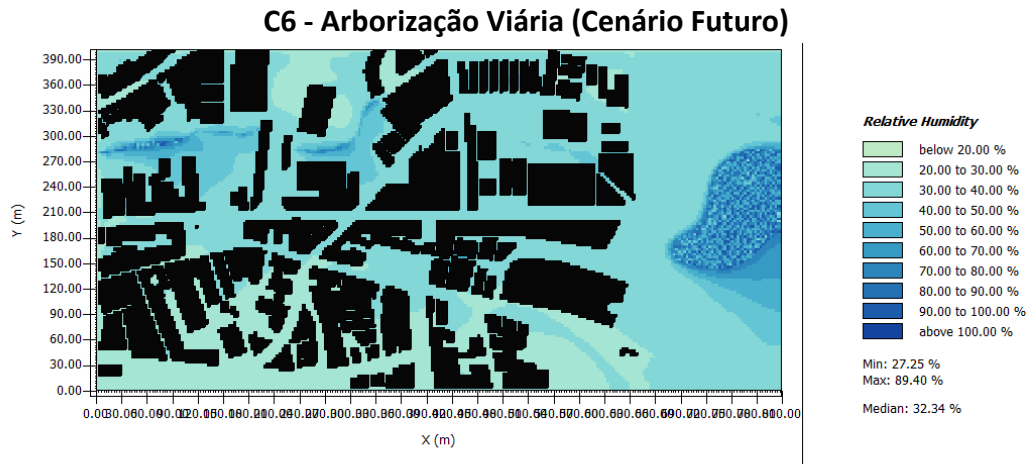


C4 - Fachada Verde (Cenário Futuro)



C5 - Cobertura Verde (Cenário Futuro)





Fonte: Autoral, 2025

As imagens termográficas também indicam um possível impacto da ventilação na distribuição da UR e na variação térmica da área estudada. De acordo com o INMET (2016), a ventilação predominante em Viçosa ocorre no quadrante nordeste, o que pode explicar o escoamento da UR na direção sudoeste e sul, impedindo sua dispersão pela malha urbana e direcionando-a para o próprio campus da UFV. Esse fator também pode ter influenciado a dispersão da UR dos riachos dentro da malha urbana, favorecendo o escoamento para regiões próximas, especialmente para os pontos 3 e 5.

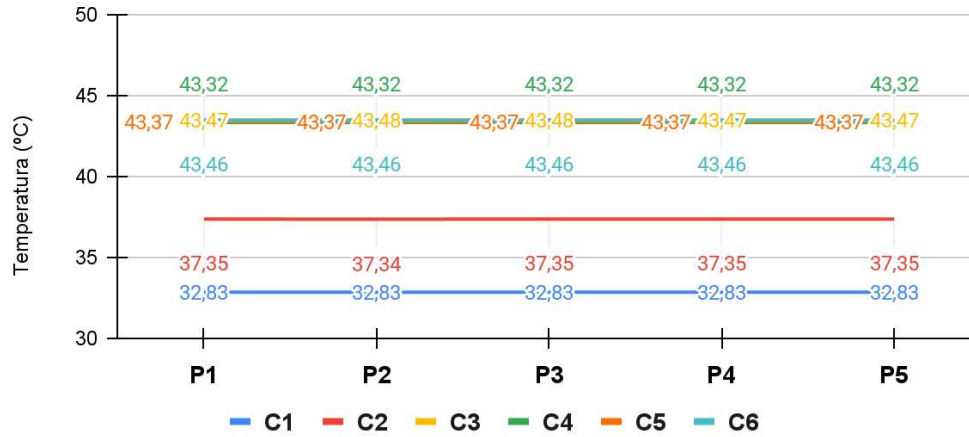
Nesse sentido, o deslocamento da UR da lagoa para as regiões sul e sudoeste sugere que os riachos internos à malha urbana exercem maior impacto no campo térmico da via do que a UR gerada pelas infraestruturas verdes e lagoas da UFV. Essa dinâmica pode justificar a maior oscilação da UR mínima em relação aos dados do INMET no Ponto 1, que, mesmo sendo o mais próximo ao corpo d'água de maior área (a lagoa), apresentou variações significativas em relação ao INMET, quando comparado aos demais pontos. Esse fenômeno, pode indicar que a ventilação pode ser determinante para a condição climática local, influenciando especialmente o comportamento térmico e a distribuição da UR durante o dia.

Na análise dos cenários climáticos de base (Figura 21), observa-se um aumento considerável das T em todos os pontos simulados com clima futuro, quando comparado ao C2 e C1 com AC históricos.

Figura 21. Gráfico com as Temperaturas médias dos Cenários Simulado

Temperatura Média dos Cenários Simulados às 15h

Temperatura Potencial do Ar (°C)



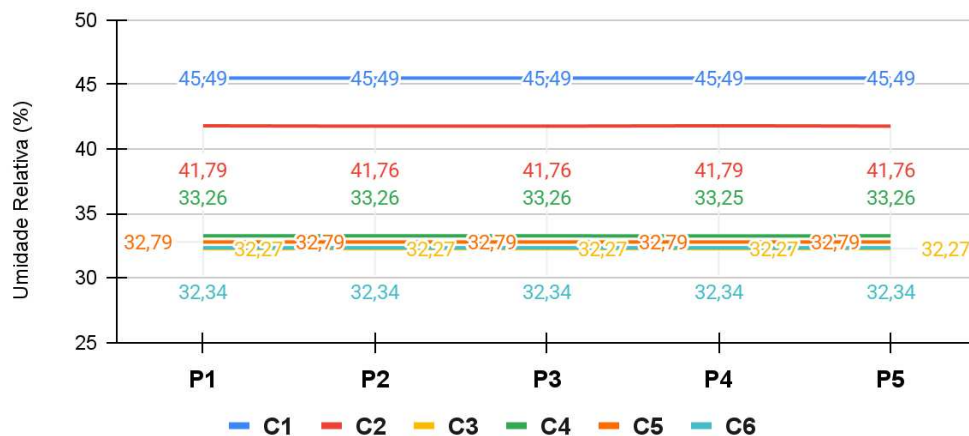
Fonte: Autoral, 2025.

Nesse caso, a interpolação das tendências climáticas futuras contida no AC futuro indica um acréscimo significativo na T e uma redução de UR durante o dia. Em relação ao C2. O C3 apresentou um aumento médio de 6,13°C em todos os pontos simulados, o que representa um impacto expressivo, considerando que a T média do C2 já era elevada, atingindo 37,35°C e chegando a uma T máxima de 45°C. Paralelamente, a UR (Figura 22) sofreu uma redução de 9,52% em todos os pontos, o que, embora possa parecer um decréscimo pequeno por se tratar de um valor percentual, pode agravar a condição de clima mais seco, especialmente durante o pico de temperatura às 15h.

Figura 22. Gráfico com as Umidade Relativa médias dos Cenários Simulado

Umidade Relativa Média dos Cenários Simulados às 15h

Umidade Relativa do Ar (%)



Fonte: Autoral, 2025.

Quando analisamos o C3 em relação ao C1 (Figura 21), vemos que o incremento de T é ainda maior, visto que o DDY indicou um dia representativo com T médias mais amenas para essa série temporal (2008-2020). O incremento de T foi de 10,64°C enquanto que a UR diminuiu 13,22% em todos os pontos analisados.

Nesse sentido, a análise dos cenários propositivos simulados, com base nas imagens termográficas e nos dados de T e UR, indicam variações amenas, com diferenças inferiores a 1°C, sugerindo uma influência amena da vegetação proposta. No cenário C4, que contempla fachadas verdes, a T apresentou uma redução de 0,15°C nos pontos 1, 4 e 5 e de 0,16°C nos pontos 2 e 3, em relação ao C3 de base. A UR no C4 teve um aumento inferior a 1% em comparação ao C3. O mesmo comportamento foi observado no cenário C5, que propõe coberturas verdes, evidenciando pouca variação térmica. De modo geral, as simulações demonstraram variações mínimas ou inexistentes de T e UR entre os pontos analisados, o que também foi refletido nas imagens termográficas dos cenários propositivos C4, C5 e C6. Esse resultado pode indicar a necessidade de um maior detalhamento das características do contexto urbano de cada ponto na modelagem.

Quanto à T média nos 5 pontos, apesar das poucas variações, a proposta de fachadas verdes apresentou o menor valor de T (43,32°C) e a maior UR (32,26%), seguida pela proposta de cobertura verde (C5) e, posteriormente, pela arborização viária (C6). Essa diferença pode estar relacionada à proximidade dos registradores das fachadas dos edifícios em comparação com as demais propostas.

De modo geral, os resultados das simulações, quando comparados aos dados coletados em campo (Quadro 7), indicam que a T média às 15h atingiu um valor máximo de 32,34°C no ponto 5, apresentando uma variação de 5,49°C em relação aos dados do INMET. Dentre os cenários simulados, o C1 foi o que mais se aproximou dos dados coletados em campo, registrando uma T de 32,83°C. Nesse contexto, a interpolação dos dados para o clima futuro sugere um aumento significativo, com um incremento de aproximadamente 10°C em relação ao C3, totalizando uma T média em torno de 43°C, o que representa um acréscimo considerável nas condições térmicas da área estudada.

O mesmo comportamento foi observado para a UR, que registrou um valor mínimo de 47,05% no ponto 5 às 15h, sendo 18,45% inferior à UR do INMET. As projeções para os cenários futuros indicam que essa UR pode atingir valores ainda mais baixos, chegando a

32%. Esses resultados evidenciam a urgência de repensar o planejamento climático urbano, considerando também os impactos das modificações urbanas futuras, que podem agravar ainda mais as condições ambientais e térmicas da cidade.

É importante destacar que algumas limitações metodológicas da presente pesquisa podem ter influenciado os resultados menos expressivos obtidos nas simulações microclimáticas. Entre os principais fatores, ressalta-se a baixa densidade arbórea, a ausência de conectividade entre os elementos vegetados e a configuração pouco detalhada das estratégias de cobertura e fachada verde, aspectos que podem ter comprometido o efeito térmico esperado das infraestruturas verdes. Além disso, as intervenções simuladas foram inseridas em uma área central densamente urbanizada, caracterizada por edificações altas, baixa permeabilidade do solo e circulação de ar restrita, condições que limitam a expansão das copas, dificultam a ventilação natural e reduzem os efeitos de resfriamento por sombreamento e evapotranspiração. Soma-se a isso a própria escala espacial do modelo e o curto período simulado (restrito a algumas horas de um único dia típico), o que pode ter impedido a captação de impactos mais cumulativos e representativos da dinâmica real urbana.

Nesse sentido, diversos estudos têm demonstrado o potencial significativo das áreas verdes na mitigação do calor urbano e na melhoria do conforto térmico. Liu et al. (2021), ao analisarem diferentes cidades chinesas com simulações no ENVI-met, constataram que grandes parques e corredores verdes podem reduzir a T em até 4 °C, com efeitos se estendendo por até 350 metros além da vegetação. De forma semelhante, estudo em contexto urbano brasileiro, identificou reduções de até 3 °C na T em bairros mais arborizados de São Paulo (Monteiro et al., 2018). Essas pesquisas reforçam que a eficácia da vegetação está diretamente relacionada à sua distribuição espacial, densidade e porte das espécies utilizadas, fatores que muitas vezes são simplificados nas simulações computacionais.

Por fim, vale enfatizar que os dados empíricos coletados em campo reforçam a eficiência das áreas vegetadas já existentes na regulação térmica local. Os resultados obtidos com os sensores fixos e o transecto móvel evidenciaram uma redução significativa da T e um aumento da UR em trechos com maior cobertura vegetal, sobretudo ao longo de vias com arborização contínua e nas proximidades de corpos d'água vegetados. Esses achados mostram que, na realidade urbana de Viçosa, as áreas verdes desempenham um papel efetivo na mitigação do calor e na melhoria das condições microclimáticas. Portanto, os limites das simulações não comprometem a conclusão central da pesquisa: a vegetação urbana é uma

ferramenta estratégica para adaptação climática, e seus efeitos positivos dependem diretamente da forma como são planejadas, distribuídas e inseridas no tecido urbano real.

5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo principal analisar a influência da vegetação na regulação térmica urbana em um trecho da Avenida Peter Henry Rolfs, na cidade de Viçosa (MG), considerando tanto o contexto climático atual (inverno de 2023 e verão de 2024) quanto projeções futuras de aquecimento baseadas no Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Para isso, adotou-se uma abordagem metodológica integrada, com medições empíricas por meio de sensores fixos e transecto móvel e simulações no software ENVI-met, visando compreender como diferentes tipologias vegetais (arborização viária, coberturas verdes e fachadas vegetadas) afetam o campo térmico urbano.

Os dados coletados em campo evidenciaram a presença de ilhas de calor urbanas, com aumentos significativos de temperatura do ar (T) e redução da umidade relativa (UR), sobretudo durante o verão, em comparação com os dados de campo aberto da estação do INMET. No ponto mais crítico, foi registrada uma diferença de até 5,49°C em relação à estação oficial, e a UR chegou a 47,05%, cerca de 18,45% inferior ao valor de referência. Esses resultados confirmam a presença de ilhas de calor urbanas no trecho estudado, agravadas pela pouca distribuição de cobertura vegetal, alta densidade construtiva, forma urbana e impermeabilização do solo.

Durante o inverno, o aumento de T foi mais ameno, mas também foi identificado um diferencial térmico expressivo entre os pontos analisados. A maior T registrada foi de 27,37°C no Ponto 4 às 15h, e a menor, 18,99°C, no Ponto 5 às 18h. A UR seguiu o comportamento inverso, diminuindo ao longo do dia e voltando a subir no entardecer, com destaque para a influência da vegetação e da configuração urbana no equilíbrio térmico local. O Ponto 5, situado próximo à Praça do Rosário, demonstrou maior estabilidade térmica, podendo evidenciar o papel regulador das áreas verdes na modulação do microclima.

As simulações realizadas no ENVI-met, apesar de indicarem reduções modestas de T (inferiores a 1°C) e aumentos discretos da UR, revelaram limitações técnicas e operacionais importantes. As principais restrições podem estar relacionadas a modelagem dos modelos propositivos (densidade reduzida das tipologias verdes simuladas, a ausência de conectividade entre as proposições, a utilização de modelos padrão poucos detalhados para cobertura e

fachada verde) e as configurações para otimização do tempo de simulação. As imagens termais das simulações também apontaram a importância dos corpos d'água urbanos na regulação climática. A lagoa do campus da UFV, localizada próxima ao trecho de estudo, contribuiu para a geração de umidade, mas os ventos predominantes redistribuem essa umidade para fora da área urbana, reduzindo sua influência direta. Em contrapartida, os riachos menores e internos ao perímetro urbano demonstraram maior efetividade local na modulação da UR, destacando a relevância de considerar a interação entre elementos naturais e a ventilação urbana no planejamento climático.

Apesar das limitações do ENVI-met, a combinação entre medições empíricas e modelagem tridimensional mostrou-se eficaz para capturar nuances do microclima urbano em cenários atuais e projetados. Os dados coletados em campo validam a importância das infraestruturas verdes para a mitigação do calor urbano e o conforto ambiental, e reforçam que os resultados moderados das simulações refletem mais as configurações específicas e as restrições do modelo do que a ineficiência das tipologias verdes em si.

Recomenda-se que futuras intervenções urbanas em Viçosa e cidades similares considerem não apenas a introdução de vegetação, mas também sua distribuição estratégica, conectividade ecológica e integração com corpos hídricos urbanos.

Assim, conclui-se que a vegetação urbana é um elemento essencial para o equilíbrio térmico das cidades, particularmente em regiões tropicais sujeitas a extremos climáticos. A pesquisa reforça a urgência de políticas públicas que promovam a expansão, proteção e conexão das áreas verdes, bem como a necessidade de investigações mais robustas, sensíveis às realidades locais. Estudos futuros devem buscar aprimorar a calibração dos modelos, integrar dados fisiológicos reais das espécies tropicais e considerar o papel conjunto da vegetação, da morfologia urbana, da ventilação e dos corpos hídricos na dinâmica climática urbana. Tais esforços são fundamentais para tornar as cidades mais resilientes diante das mudanças climáticas globais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUSCA, Francesco; REVELLI, Roberto. Green Areas and Climate Change Adaptation in a Urban Environment: The Case Study of “Le Vallere” Park (Turin, Italy). *Sustainability*, v. 14, n. 13, p. 8091, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/13/8091>. Acesso em: 3 fev. 2025.

YAU, Yat Huang; HASBI, Syafawati. A review of climate change impacts on commercial buildings and their technical services in the tropics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 18, p. 430-441, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112005862?via%3Dihp>. Acesso em: 3 fev. 2025.

SOUZA, Cleandho Marcos de; LEITE, Laís Padilha; PERINI, Priscilla, e KARZMIERCZAK, Laíssa. "A Vegetação Urbana a Serviço Do Conforto Térmico". *Labor & Engenharia*. Vol. 13, p.e019014, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337771489_A_vegetacao_urbana_a_servico_do_conforto_termico_uma_proposta_para_um_bairro_metropolitano_de_Sao_Paulo_Brasil. Acesso em: 3 fev. 2025.

BRÚSSOLO, Rafael G.; NEVES, Gustavo Z. de F.; VECCHIA, Francisco Arthur da Silva; TECH, Adriano R. B. Proposição metodológica para o estudo da Camada Limite Urbana utilizando VANT's. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, v. 1, p. 1590-1598, 2017. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2096>. Acesso em: 3 fev. 2025.

LIU, Z.; CHENG, W.; JIM, C. Y., MORAKINYO, T. E.; SHI, Y.; & NG, E. Heat mitigation benefits of urban green and blue infrastructures: A systematic review of modeling techniques, validation and scenario simulation in ENVI-met V4. *Building and Environment*, v. 200, p. 107939, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132321003437>. Acesso em: 3 fev. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 3 fev. 2025.

SILVA DIAS, M. A. F.; GONÇALVES, F. L. T.; FREITAS, S. R.; DIAS, P. L. S.; LONGO, K. M.; MOREIRA, D. S.; ROSA, R. F.; BARROS, M. T. L. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. *Climatic Change*, v. 116, n. 3–4, p. 705–722, 2013. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002420669>. Acesso em: 18 maio 2025.

DA SILVA, M. A.; PERNIGOTTO, G.; GASPARELLA, A.; CARLO, J. C. Towards Climate, Bioclimatism, and Building Performance—A Characterization of the Brazilian Territory from 2008 to 2022. *Buildings*, v. 14, n. 8, p. 2568, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings14082568>. Acesso em: 3 fev. 2025.

YAU, Y.H. Climate change implications for HVAC&R systems for a large library building in Malaysia. *Building Services Engineering Research and Technology*, v. 33, n. 1, p. 23–36, 2012. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0143624410397991>. Acesso em: 18 maio 2025.

YAU, Y.H.; HASBI, S. A review of climate change impacts on commercial buildings and their technical services in the tropics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 18, p. 430–441, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.035>. Acesso em: 18 maio 2025.

PENGYUAN, Shen; MEILIN, Wang; JUNHUAN, Liu; YUCHEN, Ji. Hourly air temperature projection in future urban area by coupling climate change and urban heat island effect. *Energy and Buildings*, v. 279, 112676, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778822008477>. Acesso em: 3 fev. 2025.

OKE, T. R. The urban energy balance. *Progress in Physical Geography*, v. 12, n. 4, p. 471–508, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/030913338801200401>. Acesso em: 18 maio 2025.

MONTEIRO, C. A. F. *Teoria e clima urbano*. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1976. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000721613>. Acesso em: 18 maio 2025.

FILHO, Walter L.; WOLF, F.; CASTRO-DÍAZ, R.; LI, C.; OJEH, V. N.; GUTIÉRREZ, N.; NAGY, G. J.; SAVIĆ, S.; NATENZON, C. E.; QUASEM AL-AMIN, A.; MARUNA, M.; BÖNECKE, J. Addressing the Urban Heat Islands Effect: A Cross-Country Assessment of the Role of Green Infrastructure. *Sustainability*, v. 13, p. 753, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/753>. Acesso em: 3 fev. 2025.

FERNANDES, L. C. Amplitude térmica diária: caracterização do tipo de distribuição e estimativa de valores nos percentis superiores. *Revista Brasileira de Climatologia*, Dourados, v. 33, n. 19, p. 232–259, jul./dez. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55761/abclima.v33i19.16520>. Acesso em: 18 maio 2025.

EMMANUEL, R. Urban heat islands in humid and arid climates: role of urban form and thermal properties in Colombo, Sri Lanka and Phoenix, USA. *Climate Research*, v. 34, n. 3, p. 241–251, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/cr00694>. Acesso em: 18 maio 2025.

MILLS, G. Simulation of the energy budget of an urban canyon—II. Comparison of model results with measurements. *Atmospheric Environment*, v. 31, n. 14, p. 2335–2349, 1993. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(93\)90003-O](https://doi.org/10.1016/0957-1272(93)90003-O). Acesso em: 18 maio 2025.

ARAÚJO, K. L.; SANTOS, K. J. R.; PEREIRA JÚNIOR, Capítulo 7 - As múltiplas visões do meio ambiente e os impactos ambientais. A influência de áreas verdes na temperatura do ar urbana: estudo de áreas adjacentes ao Parque Ambiental–Paragominas–PA. *Editora Cubo*, p. 119-145, 2019. Disponível em: <https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/978-85-455202-1-4-07>. Acesso em: 3 fev. 2025.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. *Revista LABVERDE*, n. 1, p. 92-115, 2010. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61281>. Acesso em: 3 fev. 2025.

BOWLER, D. E.; BUYUNG-ALI, L.; KNIGHT, T. M.; PULLIN, A. S. Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, v. 97, n. 3, p. 147–155, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>. Acesso em: 18 maio 2025.

SHINZATO, Paula; DUARTE, Denise Helena Silva. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. *Ambiente Construído*, v. 18, p. 197-215, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/YkYkMDM845SbD5YCHKFrKyy/>> Acessado em 10/10/2023.

MONTEIRO, L. M.; LIGUORI, I. N. Avaliação comparativa da temperatura de superfície e indicadores geoespaciais na cidade de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ANTAC, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/encac.v17i1.4186>. Acesso em: 18 maio 2025.

SHINZATO, Paula; YOSHIDA, Daniel FO; DUARTE, Denise Helena Silva. Parametrization of tropical plants using ENVI-met V. 4 and its impact on urban microclimates: São Paulo case study. In: *Proceedings*, 2016. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002771660>. Acesso em: 3 fev. 2025.

SHINZATO, Paula; SIMON, Helge; DUARTE, Denise Helena Silva; BRUSE, Michael. Calibration process and parametrization of tropical plants using ENVI-met V4: São Paulo case study. *Architectural Science Review*, v. 62, n. 2, p. 112–125, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1563522> . Acesso em: 18 maio 2025.

SAILOR, David J.; ELLEY, Thomas B.; GIBSON, Michael. Exploring the building energy impacts of green roof design decisions – a modeling study of buildings in four distinct climates. *Journal of Building Physics*, v. 32, n. 2, p. 3–25, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1744259111420076>. Acesso em: 18 maio 2025.

SANTAMOURIS, Mattheos. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, v. 103, p. 682–703, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>. Acesso em: 18 maio 2025.

PERINI, Katia; OTTELÉ, Marc; FRAAIJ, A.L.A.; HAAS, E.M.; RAITERI, Rossana. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, Oxford, v. 46, n. 11, p. 2287–2294, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>. Acesso em: 18 maio 2025.

HUNTER, Annie M.; WILLIAMS, Nicholas S. G.; RAYNER, John P.; AYE, Lu; HES, Dominique; LIVESLEY, Stephen J. Quantifying the thermal performance of green façades: A critical review. *Ecological Engineering*, Amsterdam, v. 63, p. 102–113, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.021>. Acesso em: 18 maio 2025.

MARTINS, A. Benefício microclimático proporcionado pelas áreas verdes de Viçosa – MG. *Geofronter*, v. 6, n. 2, p. 45–60, 2022. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/7400>. Acesso em: 18 maio 2025.

VASCONCELLOS, Andréa Araújo de. Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana na bacia ambiental do Córrego D'Antas, Nova Friburgo – RJ. Cap. 4 – Tipologias de infraestrutura verde para escala local. 2011. p. 141–152. Dissertação (Mestrado em Urbanismo) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Certificação Digital nº 0913870/CB. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/55514/55514_5.PDF. Acesso em: 18 maio 2025.

CONAMA. Resolução Nº 369, de 28 de março de 2006. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2006.

BARGOS, Danúbia Caporusso; MATIAS, Lindon Fonseca. Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 6, n. 3, p. 172-188, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332823752_AREAS_VERDES_URBANAS_UM_ESTUDO_DE_REVISAO_E_PROPOSTA_CONCEITUAL. Acesso em: 17 out. 2024.

SCHEUER, Junior Miranda; DA SILVA NEVES, Sandra Mara Alves. Planejamento urbano, áreas verdes e qualidade de vida. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 11, n. 05, p. 74-89, 2016. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/587>. Acesso em: 5 jun. 2023.

XIMENES, D. S. S.; MAGLIO, I. C. Soluções Baseadas na Natureza e adaptação climática no Brasil: estudo de cidades costeiras vulneráveis. *Revista LABVERDE*, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 183-206, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/188817>. Acesso em: 10 out. 2023.

RELATÓRIO MUNDIAL DAS CIDADES. ONU - Habitat, 2022. Disponível em: <https://unhabitat.org/wcr/>. Acesso em: 3 fev. 2025.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) - 2015*. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 03 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE-cidades, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/vicosas/panorama>. Acesso em: 3 fev. 2025.

FIALHO, Edson Soares; SANTOS, Larissa Galvão Fontes dos. Unidades Mesoclimáticas de Viçosa-MG, na Zona da Mata Mineira. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S. l.], v. 31, n. 18, p. 230–258, 2022. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/15841>. Acesso em: 18 maio. 2025.

FIALHO, Edson Soares. Ilha de calor em cidade de pequeno porte: caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. 2009. 279 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo,

São Paulo, 2009. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-22022010-154045/publico/EDSON_SOARES_FIALHO.pdf. Acesso em: 3 fev. 2025.

FERREIRA, G; FIALHO, E. Campo térmico X fator de visão do céu: estudo da área central do município de Viçosa-MG em episódios de outono e inverno/2014. *Boletim Gaúcho de Geografia*, v. 43, n. 1, jul, 2016. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/bgg/article/view/53920>. Acesso em: 3 fev. 2025.

CLIMATE DATA. Clima Viçosa (Brasil), 2021. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/vicosa-25021/>. Acesso em: 3 fev. 2025.

MARTINS, F.; GONZAGA, G.; DOS SANTOS, D.; REBOITA, M. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 14 – Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, nov, p. 129-156, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896>. Acesso em: 3 fev. 2025.

SANCHES, F. de O.; FIALHO, E. S.; QUINA, R. R. Evidências de Mudanças Climáticas em Viçosa (MG). *Revista do Departamento de Geografia*, v. 34, p. 122-136, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/138581>. Acesso em: 3 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS (DATASUS). Informações sobre a saúde no Brasil. 2020. Disponível em: <http://www.datasus.gov.br>. Acesso em: 3 fev. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Mensagem de veto. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm. Acesso em: 3 fev. 2025.

COP26. 26ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, 2021. Disponível em: <https://unfccc.int/cop26>. Acesso em: 3 fev. 2025.

CARVALHO, Barros Moreira de; BUENO DA SILVA, L. The microclimate implications of urban form applying computer simulation: systematic literature review. *Environmental Development and Sustainability*, v. 26, p. 24687–24726, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03737-5>.

VIEIRA ZEZZO, L.; PEREIRA COLTRI, P.; DUBREUIL, V. Microscale models and urban heat island studies: a systematic review. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 195, p. 1284, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11906-2>.

BALANY, Fatma; NG, Anne WM; MUTTIL, Nitin; MUTHUKUMARAN, Shobha; WONG, Man Sing. Green infrastructure as an urban heat island mitigation strategy—a review. *Water*, v. 12, n. 12, p. 3577, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w12123577>. Acesso em: 03 fev. 2025.

SHINZATO, Paula; DUARTE, Denise Helena Silva. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. *Ambiente Construído*, v. 18, p. 197-215, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/YkYkMDM845SbD5YCHKFrKyy/>. Acesso em: 10 out. 2023.

ANDRADE, Renata Godinho Cordeiro de. A contribuição da vegetação para melhoria do microclima urbano: estudo de caso em Superquadras de Brasília. 2022. 104 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: <http://www.rlbea.unb.br/jspui/handle/10482/44568>. Acesso em: 10 out. 2023.

ZUCKERMAN, Noa; SHILOAH, Nir; LENSKY, Itamar M. Quantifying the impact of vertical greenery systems (VGS) on Mediterranean urban microclimate during heat wave events. *Building and Environment*, v. 267, parte A, p. 112151, 2025. ISSN 0360-1323. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132324009934>. Acesso em: 21 jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112151>.

GAI, Zhenyu; YIN, Haiwei; KONG, Fanhua; SU, Jie; SHEN, Zhou; SUN, Hui; YANG, Shaoqi; LIU, Hongqing; MIDDEL, Ariane. How does shade infrastructure affect outdoor thermal comfort during hot, humid summers? Evidence from Nanjing, China. *Building and Environment*, v. 267, parte C, p. 112320, 2025. ISSN 0360-1323. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132324011624>. Acesso em: 21 jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112320>.

PAULA, C. C. M; CALLEJAS, I. J. A; DUARTE, L. C; ROSSETI, K. A. C; SILVA, D. B. Pavimento poroso e vegetação: estratégias para melhoria microclimática em áreas urbanas. 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável Contrastes, Contradições e Complexidades, Maceió - Brasil, 2016. Disponível em: <https://fau.ufal.br/evento/pluris2016/files/Tema%204%20-%20Planejamento%20Regional%20e%20Urbano/Paper857.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

WERNECK, Daniela Rocha. Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas: estudo de caso em áreas comerciais em Brasília – DF. 2018. xv, 118 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/31816>. Acesso em: 10 out. 2023.

ROSSETI, Karyna de Andrade Carvalho et al. Proposta metodológica para levantamento e configuração de Densidade de Área Foliar (DAF) para aplicação no software ENVI-met. *E&S Engineering and Science*, v. 8, n. 2, p. 35-46, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/8566>. Acesso em: 10 out. 2023.

SILVA, Marina Soares. Vegetação e o microclima urbano em área de ocupação consolidada: aplicação do modelo ENVI-met ao Conjunto Confisco em Belo Horizonte, MG. 120f. : il. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/42634>. Acesso em: 10 out. 2023.

LIMA, Diana Carla Rodrigues. Forma e arborização em cânions urbanos: tendências de estresse térmico para o pedestre em cenários futuros de Umuarama/PR. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-16042018-151056/en.php>. Acesso

em: 10 out. 2023.

PERINI, Katia; MAGLIOCCO, Andrea. Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Building and Environment*, v. 76, p. 81–92, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866714000296> . Acesso em: 18 maio 2025.

CRANK, Peter J.; SAILOR, David J.; BAN-WEISS, George; TALEGHANI, Mohammad. Evaluating the ENVI-met microscale model for suitability in analysis of targeted urban heat mitigation strategies. *Urban Climate*, [S.l.], v. 26, p. 188–197, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095518301007> . Acesso em: 18 maio 2025.

SKELHORN, Chris P.; LINDLEY, Sarah J.; LEVERMORE, Geoff J. The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 54, p. 923–933, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204613001916> . Acesso em: 18 maio 2025.

PAULA, K. A. O processo de verticalização na zona central da cidade de Viçosa-MG: uma análise a partir da expansão da Universidade Federal de Viçosa e do seu impacto na estruturação do espaço urbano. *GeoTextos*, [S. l.], v. 15, n. 1, 2019. DOI: 10.9771/geo.v15i1.30473. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/30473> . Acesso em: 21 jun. 2023.

VALIN JÚNIOR, M. de O.; SANTOS, F. M. de M. Levantamento bibliográfico da utilização de transectos em pesquisas de clima urbano no Brasil e recomendações de padronização nos procedimentos. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 26, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.67231> . Acesso em: 18 maio 2025.

FREDERICO E SILVA, C.; CELIS, A.; SILVA, B. G.; WERNECK, D. R.; FILHO, L. G. A.; GÓES, T. M. *Simulação microclimática com o ENVI-met 5.0: guia metodológico* [livro eletrônico]. 1. ed. Distrito Federal: Editora Universidade de Brasília, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.26512/9786584854109> . Acesso em: 18 maio 2025.



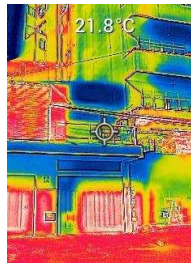

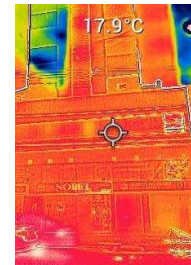



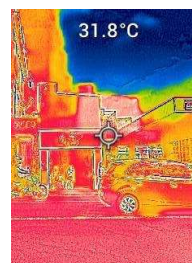



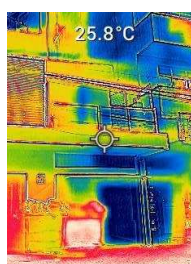
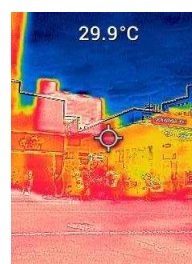

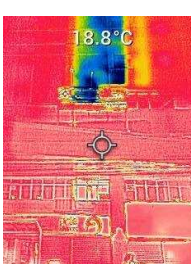
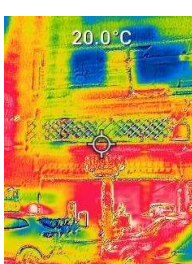



RODRIGUES, E.; FERNANDES, M.; CARVALHO, D. Future weather generator for building performance research: an open-source morphing tool and an application. *Building and Environment*, v. 233, n. 110104, abr. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110104> . Acesso em: 18 maio 2025.

ENVI-MET. ENVI-MET software. 2025. Disponível em: <https://www.envi-met.com> . Acesso em: 3 fev. 2025.



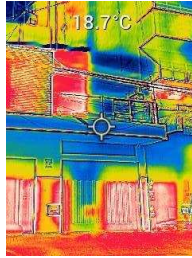




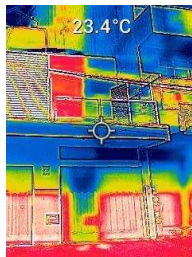
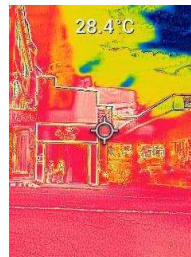





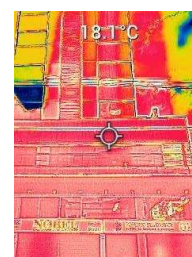
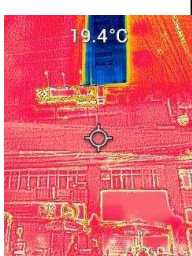




GOULART, Solange V. G.; LAMBERTS, Roberto; FIRMINO, Samanta. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Núcleo de Pesquisa em Construção – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), 1998.

APÊNDICE



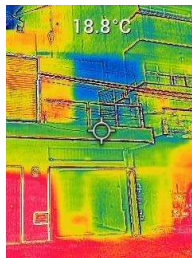
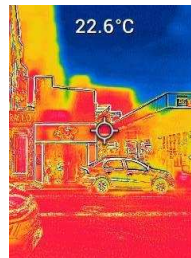
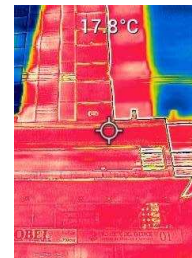
Anexo A - Imagens termográficas contendo dados de Temperatura de superfícies coletadas por meio do transecto móvel nos 5 pontos, coletados em 4 dias distintos, na estação do inverno



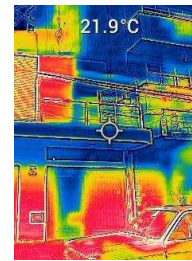
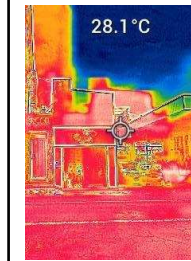
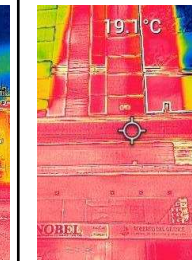

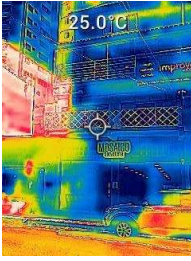
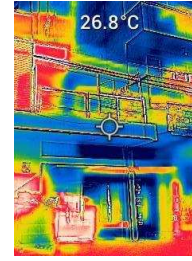

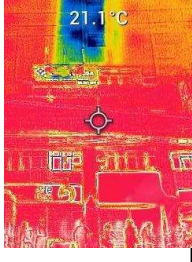
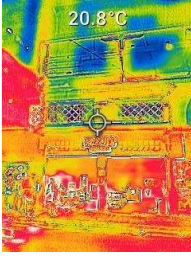
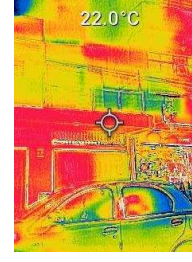
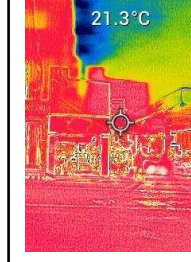
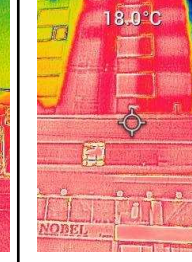
20/JUNHO/2023					
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
9h					
12h					
15h					
18h					

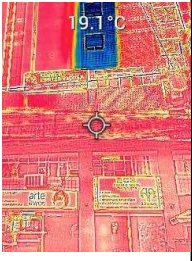

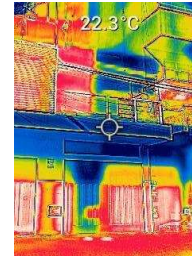
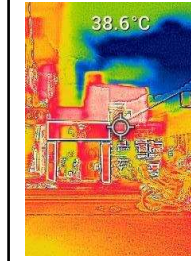
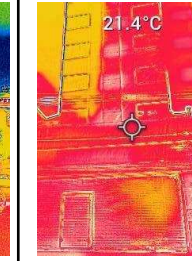
22/JUNHO/2023

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
9h					
12h					
15h					
18h					

24/JUNHO/2023

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
9h					

12h					
15h					
18h					

28/JUNHO/2023					
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
9h					
12h	