ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Análise microclimática no ENVI-Met considerando cenários climáticos futuros para Viçosa, Minas Gerais

Microclimatic analysis in ENVI-Met considering future climate scenarios for Viçosa, Minas Gerais, Brazil

Saraline Eduarda da Silva
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | saraline.silva@ufv.br
Clarissa Ferreira Albrecht
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | clarissa.albrecht@ufv.br
Joyce Correna Carlo
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | joycecarlo@ufv.br

Resumo

Estudos evidenciam que os impactos das projeções de aquecimento futuro no campo térmico urbano tendem a intensificar, com projeções globais de aquecimento acima de 2°C até final do século XXI, alterando a qualidade de vida da população. Portanto, esta pesquisa objetivou analisar o impacto das projeções de aquecimento futuro no campo térmico de um trecho da cidade de Viçosa, Minas Gerais, com simulações microclimáticas no ENVI-Met, utilizando arquivos climáticos futuros. A metodologia consistiu na comparação de 3 cenários climáticos: um cenário de base contendo dados históricos locais (1985-2014) e dois cenários futuros baseados nas projeções de aquecimento do IPCC para 2080. Os parâmetros analisados foram imagens termográficas, temperatura potencial e umidade relativa do ar. Os resultados mostraram um aumento das Temperaturas gerais do campo térmico e diminuição das Umidades Relativas nos cenários futuros, principalmente no inverno e no cenário de maior projeção de aquecimento do IPCC. Este estudo corrobora as projeções futuras de clima mais quente e seco para Viçosa e salienta a importância de pensar no planejamento urbano, tendo em vista as problemáticas desse aquecimento futuro.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Campo térmico urbano. Simulação microclimática. Arquivo climático futuro. Cenário climático futuro.

Abstract

Studies show that the impacts of future warming projections on the urban thermal field tend to intensify, with global warming projections above 2°C by the end of the 21st century, altering the population's quality of life. Therefore, this research aimed to analyze the impact of future warming projections on the thermal field of a section of the city of Viçosa, Minas Gerais, with microclimate simulations in ENVI-Met, using future climate files. The methodology consisted of comparing 3 climate scenarios: a baseline scenario containing local historical data (1985-2014) and two future scenarios based on IPCC warming projections for 2080. The parameters analyzed were thermographic images, potential temperature and relative humidity. The results showed an increase in general temperatures of the thermal field and a decrease in relative humidity in

Como citar:
SILVA, S.; ALBRECHT, C.; CARLO, J. Análise microclimática no ENVI-Met considerando cenários climáticos futuros para Viçosa, Minas Gerais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

the future scenarios, mainly in winter and in the scenario with the highest IPCC warming projection. This study corroborates future projections of a hotter and drier climate for Viçosa and highlights the importance of thinking about urban planning, considering the problems of this future warming.

Keywords: Climate change. Urban thermal field. Microclimate simulation. Future climate archive. Future Climate Scenario.

INTRODUÇÃO

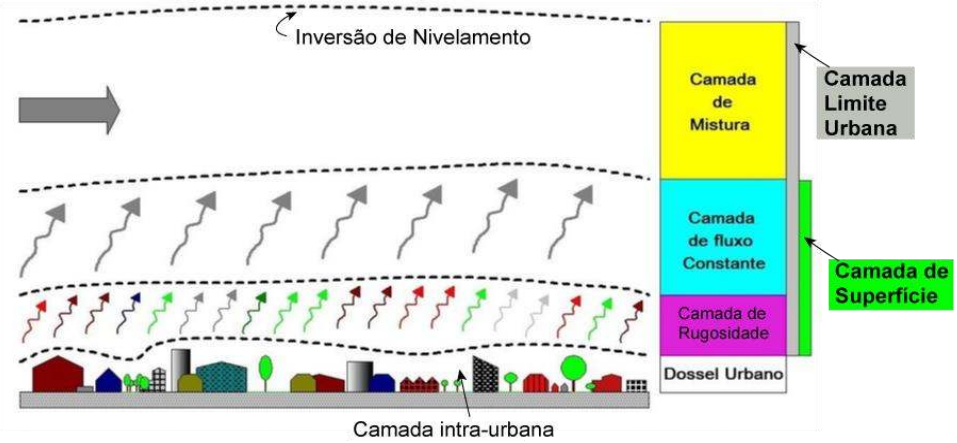
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E CAMPO TÉRMICO URBANO

A industrialização moderna consolidou o desenvolvimento econômico atual na exploração de recursos naturais, que em muitos processos liberam grandes quantidades de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, gerando impactos significativos nos ecossistemas [1]. Uma das consequências desse impacto é a aceleração do aquecimento global e mudanças climáticas. De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC em inglês) [2], 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. Devido as 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.

No meio urbano, vê-se o aumento da frequência de eventos climáticos extremos, como as ilhas de calor, que podem alterar o conforto térmico urbano e a qualidade de vida da população [3]. As ilhas de calor urbana são fenômenos microclimáticos referentes às diferenças elevadas de temperaturas do ar entre as áreas urbanas e as áreas rurais do mesmo local [4]. Os principais intensificadores das de ilhas de calor envolvem a diminuição da vegetação, a utilização de materiais urbanos que retêm muito calor, as geometrias urbanas (que configuram barreiras para a ventilação das áreas urbanas) e poluição do ar, impactando significativamente na temperatura e consequentemente no conforto urbano [5]. Portanto, a urbanização impacta o meio ambiente, em especial as condições climáticas, devido a intensa alteração das condições naturais do solo por superfícies artificiais [6], que somadas as problemáticas de aquecimento global podem intensificar o aquecimento futuro.

As áreas urbanas possuem uma estrutura complexa tridimensional que inclui superfícies verticais (paredes) e horizontais (telhados, estradas, asfaltos, copas das árvores, solo exposto). Desse modo, a atmosfera urbana situada no dossel (Figura 1), é diretamente impactada pelas temperaturas das superfícies que compõem a morfologia do espaço urbano. Nesse sentido, os processos microclimáticos no ambiente urbano são derivados das interações entre as diferenças térmicas e turbulências entre 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) e a Camada do Dossel Urbano [7].

Figura 1. Divisões da Camada Limite Urbana.



Fonte: Adaptado de Brússolo et al., (2017).

À vista disso, as áreas verdes podem contribuir significativamente para o equilíbrio climático urbano através da evapotranspiração e do sombreamento para diminuição da temperatura do ar em relação às outras coberturas de solo. A transpiração, por sua vez, pode resfriar o ambiente circundante pela evaporação da água das folhas das plantas [8]. O sombreamento promovido pela arborização nas edificações, nos pavimentos e nas pessoas, por exemplo, evita uma irradiação direta que é absorvida nas superfícies dos materiais, criando de ilhas de frescor urbanas em meio ao asfalto [8]. O sombreamento também pode reduzir as temperaturas superficiais das estruturas urbanas e a troca de calor de ondas longas dos edifícios, podendo amenizar o consumo de energia de resfriamento nas edificações do entorno[9]. Logo, as áreas verdes urbanas têm se mostrado uma estratégia potencial para mitigação do aquecimento urbano principalmente em cenários de aquecimento futuro.

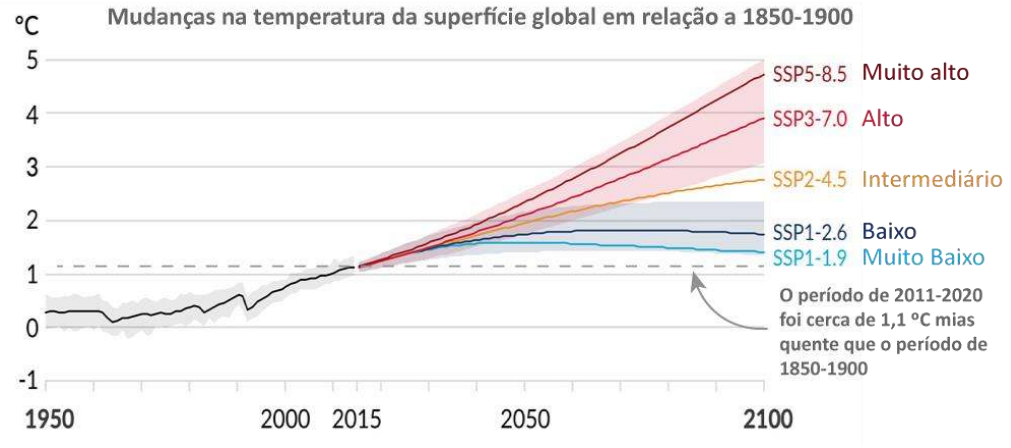
Nesse sentido, diversos estudos têm abordado os impactos desse aquecimento futuro no clima urbano, utilizando simulações microclimáticas[9], com base nas projeções de aquecimento do IPCC. Portanto, esta pesquisa objetivou analisar o impacto das projeções de aquecimento futuro no campo térmico de um trecho da malha urbana da cidade de Viçosa, Minas Gerais, com simulações microclimáticas no ENVI-Met, utilizando arquivos climáticos futuros.

SIMULAÇÃO MICROCLIMÁTICA NO ENVI-MET E CENÁRIOS FUTUROS DO IPCC

O ENVI-met, criado em 1998 por Michael Bruse, permite analisar a interação em pequena escala entre edifícios, superfícies e plantas individuais. O sistema é um simulador de modelagem tridimensional com base em cálculos computacionais baseados na dinâmica de fluidos (*CFD*) , termodinâmica e leis da física atmosférica. Com esses conceitos, o *software* permite fazer simulações de múltiplos cenários microclimáticos a partir da inserção de parâmetros climáticos holísticos [10].

Nesse sentido, o sexto relatório do IPCC [2] tem sido a principal fonte para estudos climáticos futuros, a partir da construção de cenários baseados em projeções de aumento de temperatura até 2100. (Figura 2 e Tabela 1).

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 relatórios 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.

Os 8 cenários projetados pelo IPCC, baseiam-se em uma série de pressupostos e variáveis socioeconômicas relacionados ao nível das emissões de GEE atuais e futuras chamados de Percursos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs em inglês). De acordo com essas projeções, o relatório salienta que para limitar o aquecimento abaixo de 2°C até final do século XXI, são necessárias emissões líquidas zero de CO^2, mitigação ampla e implementação acelerada de ações de adaptação, ainda nesta década. Entretanto, como essas medidas não estão sendo implementadas em escala global, pode-se inferir que o aquecimento tende a se agravar nos próximos anos.

A esse respeito, estudo recente sobre indícios de mudanças climáticas em Viçosa entre 1968 a 2015, demonstrou uma progressiva elevação das temperaturas (T) máximas na primavera, verão e outono, e das T mínimas em praticamente todos os meses do ano e uma tendência de invernos mais seco e prolongados [11]. No mesmo sentido, estudo de Fialho e Santos [12], confirma esses resultados, em que caracterizou a região central no mapeamento de unidades mesoclimáticas de Viçosa, como Tropical Semisseco por possuir Temperatura Média do Mês Mais Frio (TMMF) igual ou superior a 18,0°C, correspondente aos com 6 a 7 meses secos anuais (abril a setembro/outubro), o que modifica a característica atual de clima ameno.

Nesse sentido, visto que é provável que o aquecimento global fique próximo a 2°C até final do século XXI, esta pesquisa foca nos dois cenários de emissões do IPCC que mais correspondem a essa condição, o de baixas emissões (SSP 1-2.6) e o de emissões intermediárias (SSP 2-4.5).

MATERIAIS E MÉTODO

A pesquisa é de natureza experimental de método quantitativo e descritivo. A metodologia consiste na comparação de cenários climáticos virtuais representativos.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi a Praça do Rosário (Figura 3) situada na região central da cidade de Viçosa, Minas Gerais, com altitude de 660 metros e população estimada em 76.430 habitantes [13]. A praça possui intenso fluxo de pedestres e veículos durante o dia e é contornada por edifícios de uso misto. A região se encontra em processo de crescimento urbano, sendo portanto uma área potencial de análise dos impactos climáticos desse processo.

Figura 3. Imagem e caracterização do entorno da Praça do Rosário em Viçosa, MG (2024)



Fonte: Autoral, 2024.

O clima local é caracterizado como subtropical quente ou temperado com inverno secos e verões quentes, cuja classificação de Köppen é o Cwa com projeções futuras de transformações para o Aw (Tropical com seca no inverno) [14]. O município está localizado no domínio morfoclimático dos mares de morros e características de um clima tropical de altitude, com estações de verão e inverno bem definidas [15]. A direção predominante do vento é a norte e nordeste com velocidade média anual de 2 m/s. As temperaturas mais quentes ocorrem no verão (dezembro a março), enquanto as temperaturas mais baixas no inverno (junho a agosto). A temperatura média anual é de 20,4ºC com variações de 5,7ºC. Os períodos de maior precipitação ocorrem nos meses de novembro a março sendo que a maior umidade relativa do ar é medida em Dezembro (80%), mês de maior precipitação mensal. O menor número de dias chuvosos é medido em Julho (2.67 dias) que também é o mês mais seco com menor temperatura do ano (13.1ºC) [16].

MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DA ÁREA DE ESTUDO

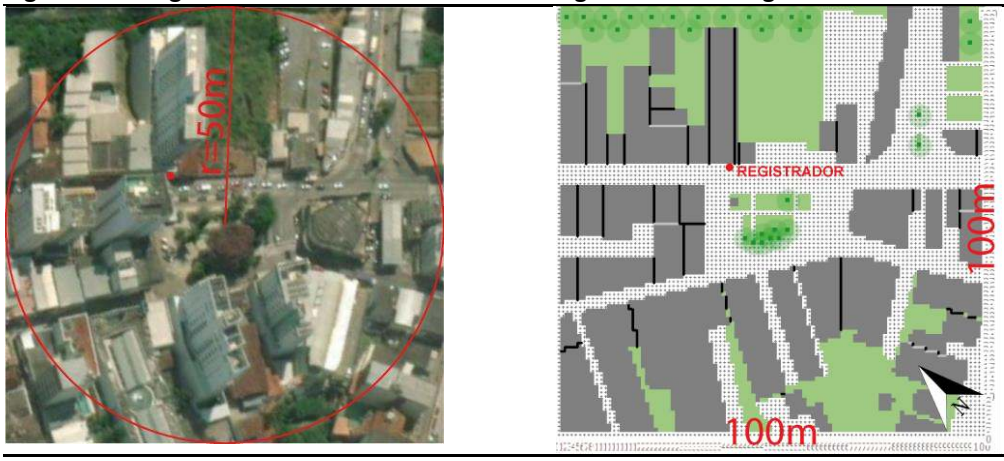
Foram modeladas a praça e os edifícios do seu entorno imediato em um raio de 50m. A georeferenciação foi feita utilizando o localizador padrão do sistema (UTM) com coordenadas geográficas: Longitude: -42,88167° e Latitude -20.75389°. As demais configurações foram mantidas as padrão do sistema.

A modelagem foi feita no *software* Sketchup Pro (2021) de modelagem 3D sobre uma imagem de satélite do próprio localizador geográfico do sistema (Figura 4.1.).

Posteriormente, a modelagem foi inserida no *grid* do ENVI-Met pelo *plugin* Envimet INX (Figura 4.2.) seguindo o guia metodológico disponibilizado pela LaSUS FAU [17]. 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 e arborizações presentes no local.

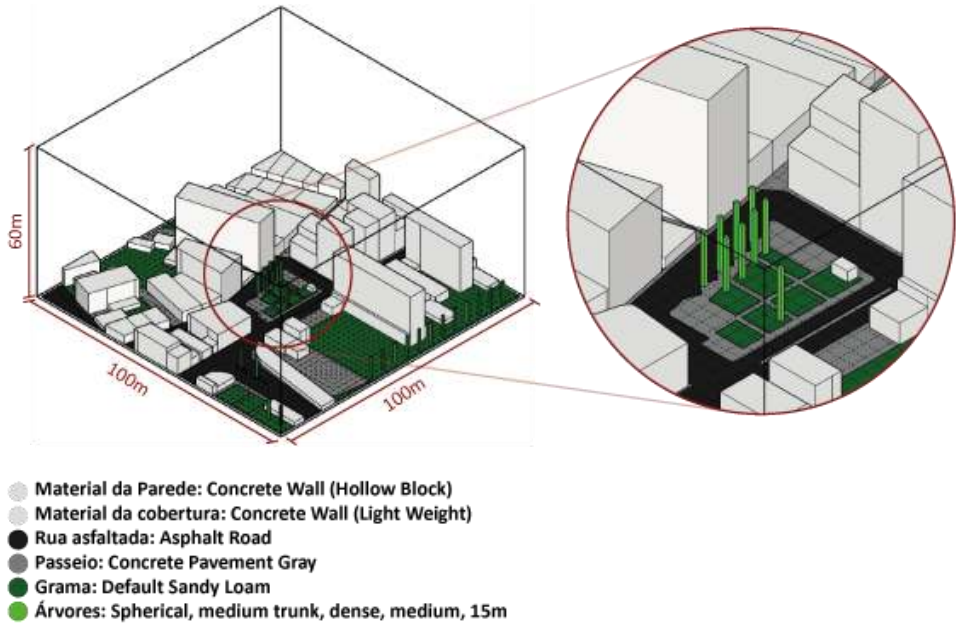
Figura 4. Dados da modelagem da área de estudo - Praça do Rosário, Viçosa, Minas Gerais.

Figura 4.1. Imagem de satélite da área de estudo **Figura 4.2. Modelagem no ENVI-Met**



Fonte: Figura 3.1. Autoral, editadas do localizador do SketchUp e Figura 3.2. do ENVI-Met.

Figura 5. Modelo 3D desenvolvido no Sketchup Pro 2021



Fonte: Autoral.

Tabela 2. Tabela com dados de configuração do grid da modelagem

Configurações do *grid* de modelagem	
Dimensões da geometria do modelo:	100m x 100m x 60m (altura)
Número Z de células	20
Dimensão X(m)	1
Dimensão Y(m)	1
Dimensão Z(m)	3
Rotação (0°-360° anti horário)(0.0=norte)	-322.0

Fonte: Autoral.

SIMULAÇÃO MICROCLIMÁTICA COM ENVI-MET

Foi utilizada a versão V 5.6.1 do ENVI-Met. O fluxo de trabalho para simulação operou em 5 etapas principais: 1) inserção dos dados de entrada e georreferenciamento da área de estudo (Módulo *Monde*); 2) inserção da modelagem e parâmetro urbanísticos da área de estudo (Módulo *Space*); 3) conexão da modelagem com o arquivo climático (Módulo *ENVI-guide*); 4) simulação (Módulo *ENVI-core*); e 5) tratamento dos dados de saída (Módulo *Leonardo*).

CENÁRIOS CLIMÁTICOS SIMULADOS

Foram modelados três cenários climáticos (C1, C2, C3) (Tabela 3). O C1 representa a condição climática local atual e contém o arquivo climático histórico de Viçosa entre os anos de 1985 a 2014, desenvolvidos pelo Laboratório de Tecnologias em Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LATECAE). Os C2 e C3 foram criados utilizando os arquivos climáticos futuros gerados no *software Future Weather Generator* [18], representando as condições climáticas futuras projetadas para 2080 para Viçosa.

Tabela 3. Cenários climáticos a serem simulados no ENVI-met

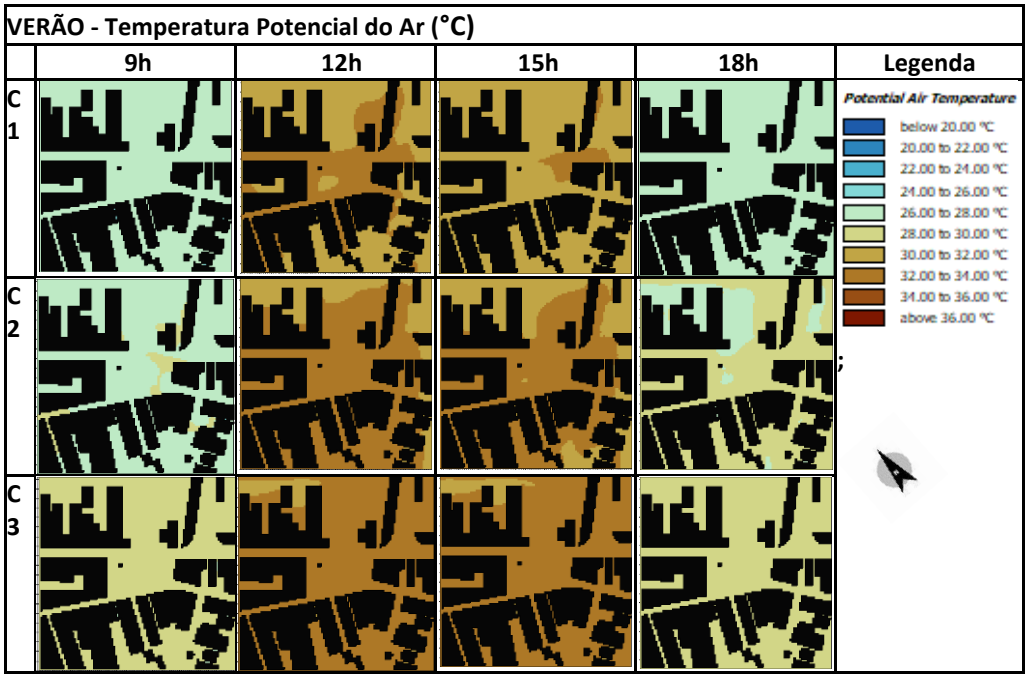
Cenários	Arquivo climático utilizado	Fonte dos dados
C1	Arquivo Climático Histórico de Viçosa (1985-2014)	ERA5*
C2	Arquivo Climático Futuro de Viçosa (2080)	(IPCC - SSP 1-2.6)**
C3	Arquivo Climático Futuro de Viçosa (2080)	(IPCC - SSP 2-4.5)**

Nota:
*ERA5 é uma fonte global de dados climáticos que utiliza dados provenientes de modelos atmosféricos globais. Mais informações disponiveis em: https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview Acesso em 24/07/2024.
**Os arquivos futuros foram gerados no software *Future Weather Generator* com base no Arquivo Climático Histórico de Viçosa, seguindo as instruções do site: https://future-weather-generator.adai.pt/ Acesso de 24/07/2024.
Fonte: Autoral.

Os parâmetros climáticos analisados foram imagens termográficas, temperatura potencial do ar (T) e umidade relativa do ar (UR). Foi escolhido o campo térmico no nível da rua, com mesma altura da estação meteorológica local (INMET), de 1,50m do piso. As simulações foram realizadas em 2 dias representativos do ano, um na estação do verão (13 de fevereiro) e outro na estação inverno (20 de julho). As simulações foram de 12h, iniciando às 6h e finalizando às 19h, contemplando os quatro horários escolhidos para análise, a saber 9h, 12h, 15h e 18h.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

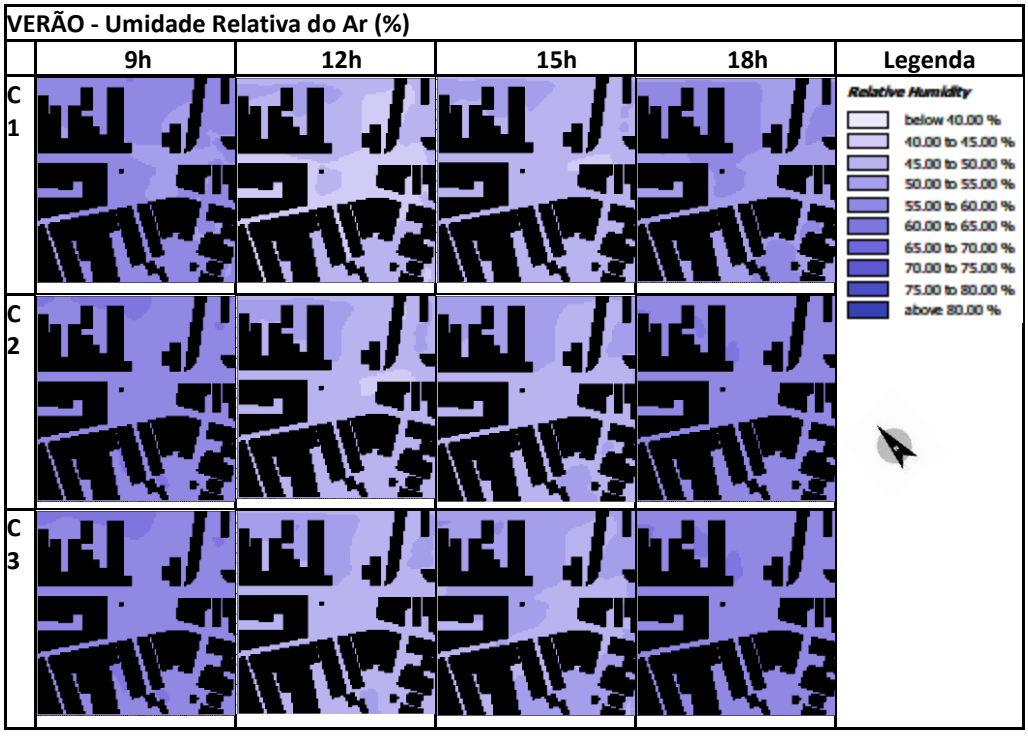
As imagens termográficas (Quadro 1) dos três cenários simulados, indicam que o período da manhã, às 9h, e o período do entardecer, às 18h, são termicamente próximos. No verão, houve T mais elevadas às 12h e 15h. No C2 houve aumento a partir das 12h, com manchas de T elevadas ocupando maior parte do sítio. No C3, o aumento das T no campo térmico é evidente desde o período da manhã, 9h, com manchas termais acima de 28°C e menor dissipação do calor às 18h.



Quadro 1. Imagens termográficas dos cenários simulados na estação do verão

Fonte: Autoral.

No que tange a UR (Quadro 2) há uma diminuição ao longo do dia no C1, tornando a aumentar às 18h, em um padrão semelhante ao das 9h, em consonância com a oscilação de T. Nos C2 e C3 houve pouca oscilação da UR em relação ao C1, mantendo a inversão térmica ao longo do dia. Às 9h e 18h a UR se mantém mais uniforme nos C2 e C3, enquanto a oscilação é maior às 12h e 15h.

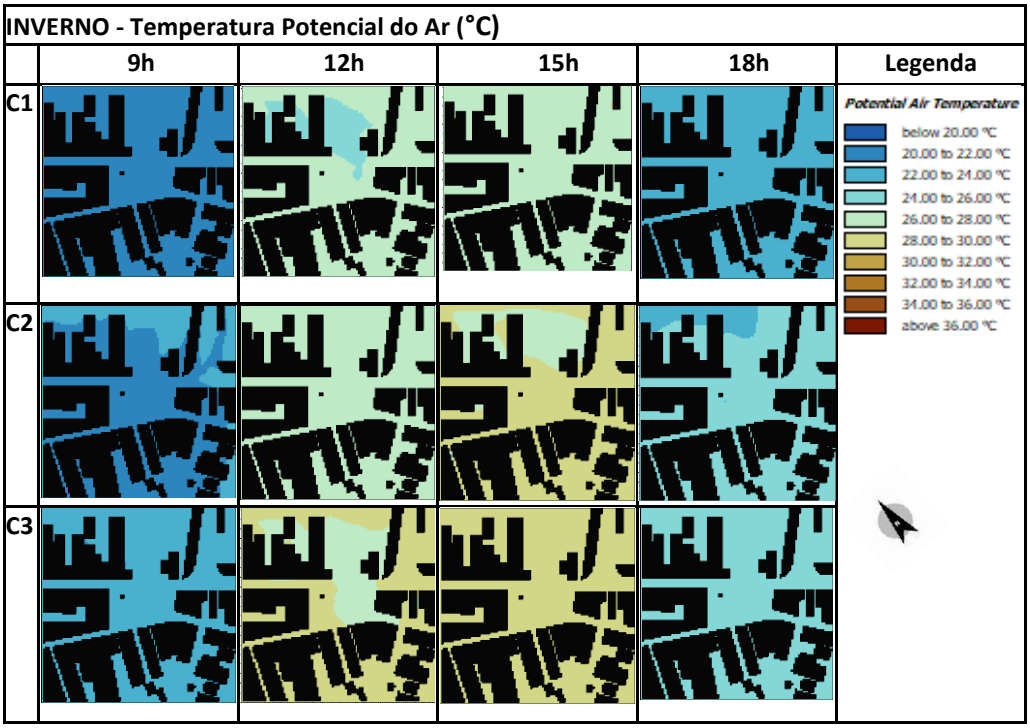


Quadro 2. Imagens termográficas dos cenários simulados na estação do verão

Fonte: Autoral.

No C1, como esperado na estação do inverno, há um aquecimento mais ameno ao longo do dia com diminuição da T às 18h. Comparativamente, no C2, este último teve pequena alteração às 9h, com modificações mais acentuadas às 12h e às 15h e um retardamento do resfriamento no período das 18h. O C3 possui uma alteração maior em relação ao C1, com elevação da T já no período da manhã, aquecendo mais rápido ao longo das 12h e intensificando às 15h. Ainda, há um retardo maior na dissipação do calor às 18h, mesmo no inverno em que o período de insolação é menor.

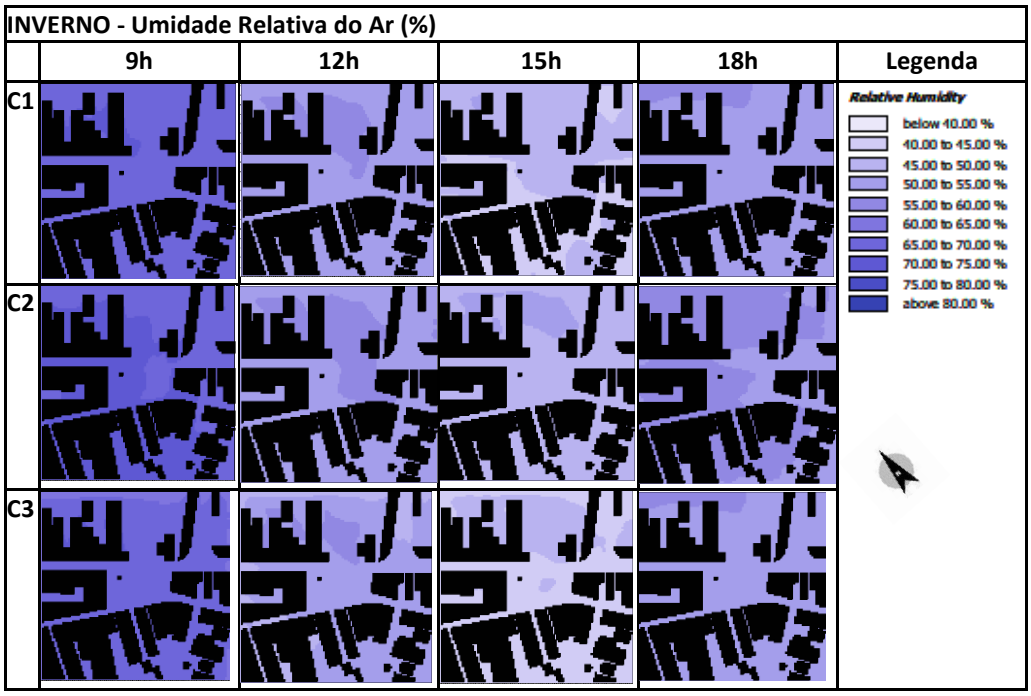
INVERNO - Temperatura Potencial do Ar (°C)



Quadro 3. Imagens termográficas dos cenários simulados na estação do inverno
Fonte: Autoral.

A UR no inverno (Quadro 4), se comparada ao verão, é mais elevada no período da manhã, 9h, mas semelhante nos demais horários em C1 nas duas estações. Embora as chuvas sejam mais frequentes no verão, o horário de temperaturas mais baixas facilita a UR mais alta pelas relações psicrométricas do ar. No C2, o horário das 9h se mantém com UR mais elevada com crescimento da mancha de maior UR a oeste e uma diminuição da UR ao longo do dia, principalmente às 15h. No horário das 18h há um aumento da UR no C2 e uma diminuição no C3, indicando uma oscilação das UR nos cenários futuros. No C3 há uma diminuição da UR em relação a C2 em todos os horários, com menor valor constando às 15h, com UR muito próximas ao C1 no período das 18h, indicando um impacto menor no parâmetro das UR.

Quadro 4. Imagens termográficas dos cenários simulados na estação do inverno

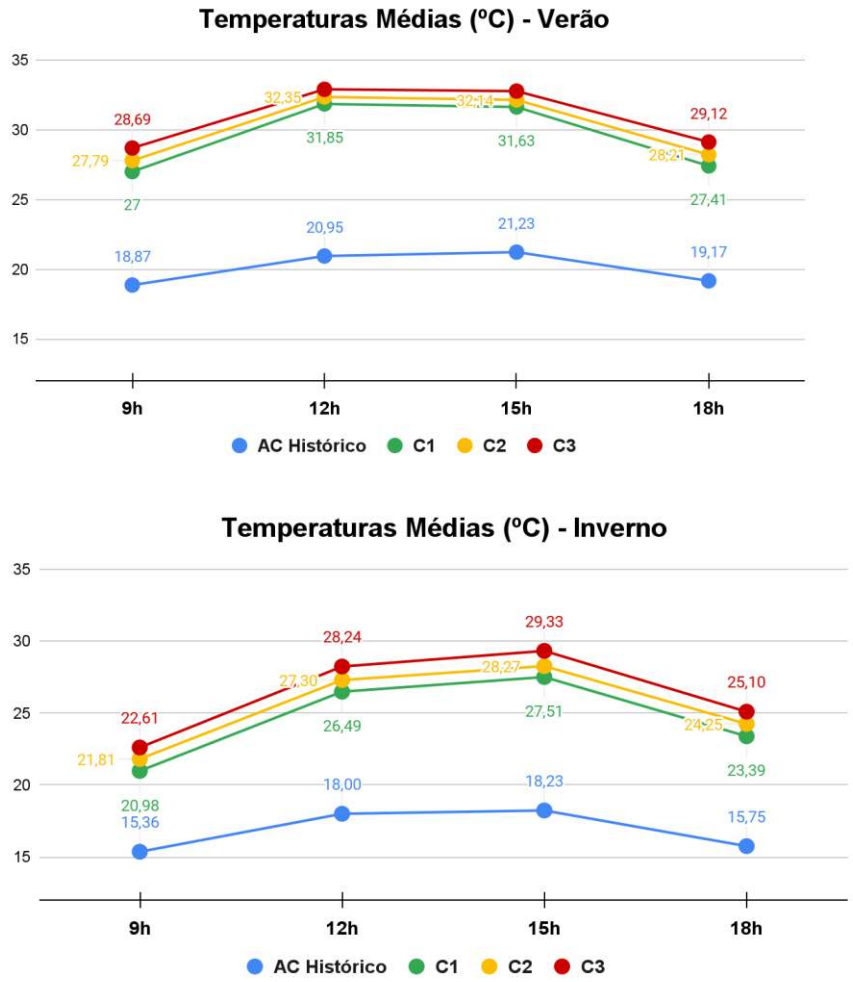


Fonte: Autoral.

De modo geral, nos quadros 1,2,3 e 4, os dados de UR estão diretamente relacionados aos de T, onde as UR mais elevadas coincidem com as T menores no sítio. Isso é mais evidente nas manchas termais mais frias e úmidas a noroeste, próximas à região com cobertura do solo vegetada (grama e árvores), em contraste com a cobertura asfáltica onde se concentram as T mais elevadas. Isso pode indicar o efeito de umidificação dos parâmetros de cobertura do solo vegetada no aumento da UR e diminuição da T ao longo do dia. De modo contrário, a região interna da praça, também vegetada, não teve impacto significativo no parâmetro de T e UR. Isso pode ter ocorrido devido à pouca quantidade de área vegetada em relação ao impacto da área de asfalto e dos edifícios no seu entorno.

Quando comparado, as temperaturas médias dos sítios nos cenários simulados e com as temperaturas presentes no arquivo climático histórico, houve um aumento considerável de T em todos os horários no C1, com variação de até 10,9°C no verão e 9,28°C no inverno. No C2 a T aumentou até 10,91°C no verão e de 11,95 °C no inverno. No C3 houve um aumento de até 10,04°C no verão e 11,10°C no inverno. O impacto na T foi maior no inverno em ambos os cenários futuros.

Figura 6. Temperaturas médias do ar simulada para o sítio nos três cenários e do arquivo climático histórico em condições de verão e inverno

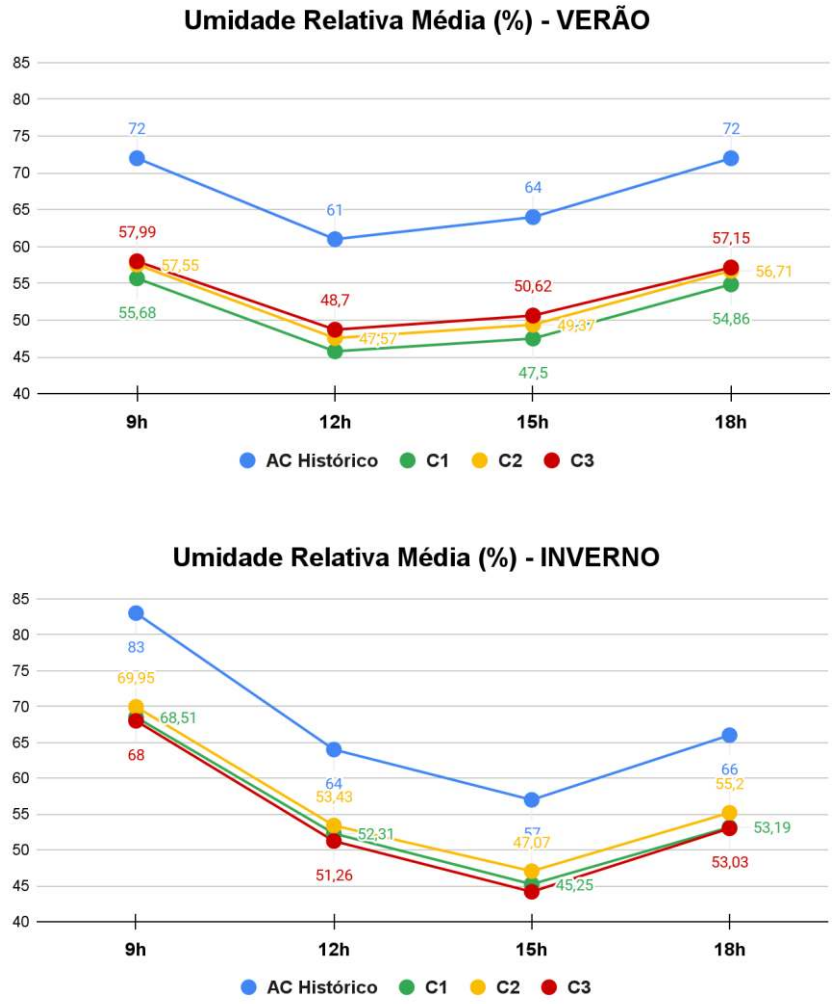


Fonte: Autoral.

Analisando as diferenças das variações entre as temperaturas médias de C2 e C3 em relação ao C1 (Figura 5), obtemos os dados apenas do impacto ocasionados pelas projeções do IPCC no microclima simulado. Nesse sentido, ambos os cenários futuros possuem maiores variações de T no inverno, principalmente no C3, corroborando a projeção de maior emissão prevista para o C3. A maior variação no C3 foi de 1,82°C no horário das 15h no inverno, enquanto no C2 foi de 1,71°C, às 18h, no verão.

Na Figura 7, O C1 obteve uma variação considerável da UR em relação ao arquivo climático histórico, com os menores índices de UR dos cenários simulados, diminuindo 17% na estação do verão às 18h, e 14,49% no inverno às 9h. De modo geral, em relação ao arquivo climático histórico, a UR diminuiu em todos os horários do verão e inverno. Na estação do verão, a UR diminui rapidamente ao longo do amanhecer e tem seu aumento mais lento ao longo do dia após às 12h, enquanto que na estação do inverno, temos que no C1 a diminuição da UR ao longo do dia é mais lenta, mas após às 15h, aumenta rapidamente, praticamente se igualando a UR do verão às 18h.

Figura 7. Umidade relativa média do ar para o sítio nos três cenários e do arquivo climático histórico em condições de verão e inverno



Fonte: Autoral.

As oscilações de UR foram muito diferentes entre as estações para os C2 e C3 em relação a C1 (Figura 7). No C2 a UR aumentou, indicando um razoável aumento ou manutenção da UR ao longo do dia. Em contraponto, o C3 apresenta resultados diferentes, indicando um aumento de até 3,12% no verão e uma diminuição de até 1,05% no inverno. Logo, em % houve pouca variação da UR nos cenários futuros.

Ao comparar os dados mensais registrados pela estação local INMET (Quadro 5), localizada a 8 km da área de estudo, com os dados horários simulados, vê-se que as T (médias) da estação são até 7,9°C e 8,1°C mais baixas em relação aos cenários simulados, no verão (fevereiro) e no inverno (julho), respectivamente.

Quadro 5. Temperaturas mensais entre a estação de Viçosa e os cenários simulados

	Fevereiro				Julho			
	INMET (1991-2021)	**C1**	**C2**	**C3**	**INMET (1991-2021)**	**C1**	**C2**	**C3**
T média (°C):	23,00	29,47	30,12	30,87	17,30	24,59	25,41	26,32

Fonte: Adaptado de Climate Data. Disponível em: https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/vicosa-25021/

Essas diferenças de T corroboram o aumento registrado pela simulação, representando tanto o impacto da área urbana no C1, quanto no acréscimo de temperaturas mais acentuadas no inverno nos cenários futuros.

CONCLUSÃO

A pesquisa buscou analisar o impacto das projeções de aquecimento futuro no campo térmico de um trecho da malha urbana da cidade de Viçosa, Minas Gerais, com simulações microclimáticas no ENVI-Met, utilizando arquivos climáticos futuros.

Os resultados mostraram, que as projeções de aquecimento futuro do IPCC tendem a impactar o campo térmico urbano de Viçosa, tanto no aumento das T, quanto na diminuição das UR nos cenários futuros simulados. Esses impactos são mais evidentes no cenário C3, correspondendo ao cenário de maior emissões do IPCC. Os resultados também mostraram uma relação com as projeções futuras de clima mais quente e seco no inverno para Viçosa [11 e 12], podendo indicar um agravamento das condições climáticas e de conforto térmico no futuro, principalmente em uma área urbana de fluxo intenso de pedestres e em contexto de crescimento urbano.

O possível impacto da cobertura do solo vegetada a noroeste no aumento da UR e consequentemente na diminuição da T, podem indicar essa área como potencial para a amenização do calor intra urbano frente às projeções de aquecimento futuro[8]. A vegetação interna da praça não desempenhou o efeito de amenização do calor urbano nos cenários simulados, mostrando a necessidade de planejamento estratégico para essa finalidade.

Apesar das limitações do trabalho relacionadas à falta de dados coletados *in loco*, o uso de arquivos climáticos futuros para forçamento das condições microclimáticas locais, demonstrou ser uma ferramenta importante de análise climática para o planejamento urbano, tendo em vista a mitigação do aquecimento futuro.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) – aviso de financiamento N° 59/2022 – sob o código de processo 406426/2022-8.

REFERÊNCIAS

[1] BUSCA, F; REVELLI, R. 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, jul, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/su14138091.

[2] 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.

[3] SHEN, P; WANG, M;LIU, J; JI, Y. Hourly air temperature projection in future urban area by coupling climate change and urban heat island effect. **Energy and Buildings.** v. 279, n. 112676, jan, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112676

[4] SOUZA, C; LEITE, L; PERINI, P; KARZMIERCZAK, L. A vegetação urbana a serviço do conforto térmico: uma proposta para um bairro metropolitano de São Paulo. **Labor & Engenho**. v. 13, p.1-11, nov, 2019. DOI: https://doi.org/10.20396/labore.v13i0.8654619.

[5] FILHO, W; WOLF, F.; CASTRO-DÍAZ, R.; LI, C.; OJEH, V.N.; GUTIÉRREZ, N.; NAGY, G.; 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, n. 753, p. 2-20, jan, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/su13020753.

[6] ARAÚJO, K; SANTOS, K; Júnior, A. A influência de áreas verdes na temperatura do ar urbana: estudo de áreas adjacentes ao Parque Ambiental–Paragominas–PA. In: **As múltiplas visões do meio ambiente e os impactos ambientais**. 2 ed. Paragominas: Universidade do Estado do Pará, 2019, p. 119-145, 2019.

[7] BRÚSSOLO, G; NEVES, G; VECCHIA, F; TECH, A. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. In: XVII Simpósio Brasiliero de Geografia Física Aplicada, 1, 2017, São Paulo. **Proposição metodológica para o estudo da Camada Limite Urbana utilizando VANT's.** São Paulo: Universidade Estadual de Campinas, 2017, p. 1590-1598.

[8] SHINZATO, P; YOSHIDA, D; DUARTE, D. In: 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, 2016, Singapore. **Parametrization of tropical plants using ENVI-met V. 4 and its impact on urban microclimates: São Paulo case study.** Singapore: National University of Singapore, 2016, p. 1-9.

[9] YAU, Y; 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, feb, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.035.

[10] LIU, Z.; CHENG, W.; JIM, C; MORAKINYO, T; 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, n. 107939, Ago, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.10793.

[11] SANCHES, F; FIALHO, E;QUINA, R. Evidências de Mudanças Climáticas em Viçosa (MG). **Revista Do Departamento De Geografia**. São Paulo: Brasil, v. 34, p. 122-136, 2017. DOI: https://doi.org/10.11606/rdg.v34i0.138581

[12] FIALHO, E; SANTOS, F. Unidades Mesoclimáticas de Viçosa-MG, na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira De Climatologia**. v. 31, n. 18, p. 230–258, 2022. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.15841

[13] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE-cidades**, 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/vicosa/panorama. Acesso em 10 de junho de 2024

[14] 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*** [S.l.], ano 14 – Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, nov, p. 129-156, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896

[15] 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.

[16] CLIMATE DATA. **Clima Viçosa (Brasil),** 2021. Disponível em : https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/vicosa-25021/. Acesso em 10 de junho de 2024.

[17] 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 [livro eletrônico] : guia metodológico**. 1 ed. Distrito Federal: Editora Universidade de Brasília, 2022.

[18] 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, apr, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110104.