

XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

**Impacto da densidade e buffer na criação de arquivos com Ilhas de
calor urbano**

*Impacto de la densidad y el buffer en la generación de datos de islas
de calor urbanas*

Density and buffet impact on Urban Heat Islands data generation

Clima e Planejamento Urbano / *Clima y planificación urbana / Climate and Urban Planning*

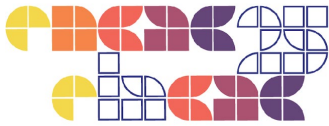
Oliveira, Raquel Diniz

Doutora, Professora pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais,
Belo Horizonte, Brasil, raqueldiniz@cefetmg.br.

Ítalo Bruno Baleeiro (2);

*Magíster, Profesor por el Instituto Federal Goiano,
Trindade, Brasil, italo.bruno@ifgoiano.edu.br.*





Resumo

O entendimento da evolução das variáveis climáticas que intensificam o fenômeno das ilhas de calor urbano mostra relevante para o planejamento urbano e concepção de edificações resilientes. Assim, o uso de projeções que consideram o efeito das mudanças climáticas em âmbito urbano, se mostram de suma importância para auxiliar a concepção e análises do tecido urbano e/ou edificações resilientes. Neste contexto, no presente trabalho investigou-se a variação da densidade e buffer para a geração de modelos climáticos com ilha de calor urbano em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Os resultados indicaram que fatores físicos e espaciais do entorno do arquivo climático devem ser bem entendidos e o buffer e a densidade influenciam na variação da TBS e UR do arquivo com ilha de calor.

Palavras-chave: Temperatura nas cidades. Adensamento populacional. Atenuação de calor.

Resumen

Comprender la evolución de las variables climáticas que intensifican el fenómeno de las islas de calor urbanas es relevante para la planificación urbana y el diseño de edificios resilientes. Así, el uso de proyecciones que consideren los efectos del cambio climático en áreas urbanas, son de importancia para ayudar en el diseño y análisis de tejido urbano y/o edificaciones resilientes. En este contexto, el presente trabajo investigó la variación de la densidad y el buffer para la generación de modelos climáticos con isla de calor urbana en Belo Horizonte, Brasil. Los resultados indicaron que los factores físicos y espaciales que rodean el archivo climático deben comprenderse bien y que el buffer y la densidad influyen en la variación de TBS y HR del archivo con isla de calor. Palabras clave: Temperatura en las ciudades. Densidad de población. Atenuación del calor.

Abstract

The climate data morphing comprehension which intensifies the urban heat islands play an important role in urban planning and resilient buildings design. Thus, urban climate change projections show to be crucial to assist design and analysis of urban areas and/or resilient buildings. Herein, these authors aimed at investigating density and buffer variation for climate urban heat islands models generation in Belo Horizonte, Brazil. The results indicated that physical and spatial factors surrounding the climate file must be analyzed and that the buffer and density affect TBS and RH variation of heat island file.

Keywords: Cities temperatures. Population density. Heat attenuation.

1 Introdução

As ilhas de calor urbana (ou *Urban Heat Island* - UHI, em inglês) ameaçam a saúde de mais da metade da população mundial que vive nas cidades. Tal aquecimento pode aumentar a morbidade e a mortalidade, (MANOLI et al., 2019), afetar a qualidade do ar e da água podem



ser afetadas, aumentando ainda mais a vulnerabilidade especialmente durante ondas de calor (AL-OBAIDI et al., 2021).

MANOLI et al. (2019), indicaram não linearidade da intensidade das UHIs no verão em relação à precipitação média e tamanho populacional. Mudanças associadas a liberação de calor, albedo, eficiência de convecção e evapotranspiração puderam ser explicadas pelos padrões globais de anomalias de temperatura da superfície urbana-rural. Assim, estratégias de mitigação destinadas a aumentar a cobertura verde e o albedo são mais eficientes em regiões secas, enquanto o desafio de resfriar cidades tropicais exigirá soluções inovadoras.

Os principais contribuintes para a UHI em 75 estudos foram (DELIAMI; KAMRUZZAMAN; LIU, 2018): cobertura vegetal (44%), estação do ano (33%), área construída (28%), dia/noite (25%) e densidade populacional (14%). Tais fatores classificam-se como controláveis ou não e, de efeito temporário (velocidade do vento, cobertura de nuvens, etc.), permanente (áreas verdes, material construtivo, fator de visão do céu, entre outras) ou cíclico (ex.: radiações solares, fontes de calor antropogênicas). Ademais, a intensidade da UHI se mostrou negativamente relacionada à densidade do espaço verde (KE et al., 2021), distância e área de corpos d'água, altitude e fator de visão do céu e positivamente relacionada à densidade de áreas construídas, densidade populacional e altura média construtiva. A densidade viária também está significativamente associada à intensidade da UHI (LIN et al., 2023).

Dessa forma, novas metodologias de estudo das UHIs fornecem subsídios para o planejamento urbano das cidades, ao direcionar estratégias baseadas nos fatores controláveis contribuintes desse fenômeno. Adicionalmente, a inclusão dos efeitos das ilhas de calor em arquivos climáticos possibilita também análises mais precisas do desempenho térmico e energético das edificações, integrando as mudanças climáticas associadas às UHIs no desenvolvimento de projetos. Este estudo teve como objetivo específico avaliar os impactos da densidade urbana e do amortecimento nas ilhas de calor.

1.1 Fundamentação Teórica

A UHI caracteriza-se pelo alto gradiente térmico na fronteira urbano-rural, seguido por um aumento gradual da temperatura em direção ao centro, mais adensado e menos vegetado. A magnitude ou intensidade da UHI, definida como a diferença de temperatura entre áreas urbanas e rurais, é fortemente afetada por condições sinóticas, como o clima (precipitação, nebulosidade e vento) e, também, pela população (CARDOSO et al., 2017; MANOLI, 2019, YU

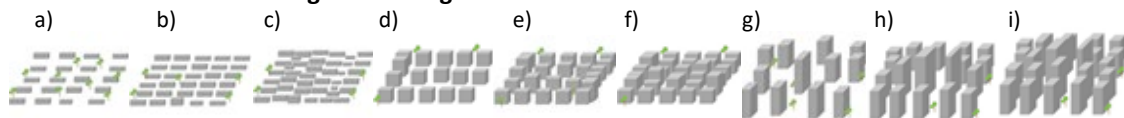


et al., 2025, entre outros). Tal condição se mostra mais pronunciada à noite quando o céu está sem nuvens e/ou em calma (velocidade do vento - $VV < 2\text{m/s}$ (AL-OBAIDI et al., 2021).

Assim, a VV é inversamente relacionada à UHI. Em cinco cidades australianas, as menores magnitudes ocorreram quando as VVs excederam 6m/s , sendo consideravelmente minimizada na faixa de $4\text{-}5\text{m/s}$ (AL-OBAIDI et al., 2021). Adicionalmente, em seis grandes cidades Sul Coreanas, a VV , umidade relativa - UR, tamanho da cidade e elevação média apresentou relação inversa com a ilha de calor urbana de superfície - SUHI, enquanto a densidade populacional revelou correlação positiva e forte (UL MOAZZAM; KIM; LEE, 2024). Cardoso et al. (2017) observaram padrão de distribuição de temperatura semelhante (maiores magnitudes relacionadas à maior densidade e vice-versa) em algumas cidades brasileiras.

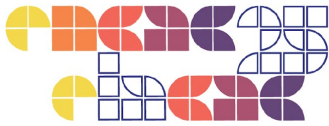
Zhou et al. (2022) consideraram resolução de 30 m para 113.671 bairros, em 57 cidades na China. A proporção referente ao aspecto tridimensional - 3D (altura e a fração de superfície dos edifícios) foi categorizada em nove tipologias (Figura 1). Em algumas cidades pequenas ou médias com grande área urbana e densidade populacional menor verificou-se apenas alguns poucos prédios altos. Já em cidades mais desenvolvidas e/ou montanhosas, com menos área plana, a altura média dos edifícios era muito maior do que em outras cidades.

Figura 1: Categorias 3D de áreas urbanas na China.



Fonte: Zhou *et al.* (2022, p. 06). Legenda: a) Baixa densidade e baixa elevação - LDLR, $1 \leq H_{ed} \leq 3$ e densidade edilícia ($D_{ed} \leq 0,15$); b) Média densidade e baixa elevação - MDLR, $1 \leq H_{ed} \leq 3$ e $0,15 < D_{ed} \leq 0,25$; c) Alta densidade e baixa elevação - HDLR, $1 \leq H_{ed} \leq 3$ e $D_{ed} > 0,25$ (16%); d) Baixa densidade e elevação média - LDMR, $4 \leq H_{ed} \leq 7$ e $D_{ed} \leq 0,15$; e) Média densidade e elevação média - MDMR, $4 \leq H_{ed} \leq 7$ e $0,15 < D_{ed} \leq 0,25$ (12%); f) Alta densidade e elevação média - HDMR, $4 \leq H_{ed} \leq 7$ e $D_{ed} > 0,25$ (36% ou até 20% em cidades com menos área plana e montanhosas); g) Baixa densidade e alta elevação - LDHR, $H_{ed} > 7$ e $D_{ed} \leq 0,15$ (4%); h) Média densidade e alta elevação - MDHR, $H_{ed} > 7$ e $0,15 < D_{ed} \leq 0,25$ (6,9% em cidades pequenas ou médias); i) Alta densidade e alta elevação - HDHR e $H_{ed} > 7$ e $D_{ed} > 0,25$.

Alta densidade foi observada em todas as cidades e a altura menor do que 10 se fez presente na maioria dos bairros, com média de 5 andares. A presença expressiva de espaço verde urbano acarretou temperaturas mais baixas. Já na densidade média ou alta de edifícios, as intensidades da UHI diminuíram com a sombra ocasionada pela altura do edifício. O índice verde teve o maior impacto negativo (62%), seguido pela altura dos edifícios - BH (27%). A contribuição verde diminuiu com o aumento da densidade dos edifícios, mas a BH apresentou a tendência oposta. Assim, as maiores intensidades foram observadas em edifícios ou áreas



verdes urbanas mais baixas. Além disso, o índice urbano de corpos d'água e de fachadas faceando o fluxo do vento também apresentaram relações negativas com as intensidades de calor da superfície da UHI. Assim, o aumento da área vegetada e da ventilação urbana se mostram eficazes para mitigar tais efeitos (ZHOU et al., 2022).

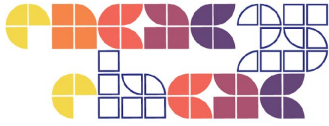
Situação semelhante pode ser notada em Belo Horizonte – MG em que valores mais baixos de temperatura concentram-se nas partes mais elevadas ou verticalizadas da cidade e vice e versa. O sombreamento entre os edifícios altos pode impedir a incidência de radiação solar direta nas envoltórias ao passo que nas áreas adensadas com edificações mais baixas, a radiação solar direta é recebida durante praticamente todo o dia, o que eleva a temperatura de suas superfícies e do ar durante o dia (FERREIRA; LOBO; ASSIS, 2019).

Em Jinan, China, o efeito de resfriamento das UHI ocorreu a partir dos 11m e a temperatura aumentou quando a altura do edifício subiu de 10 para 20m. A altura, densidade edilícias, a área média de pavimentos construídos, e a densidade populacional na faixa de colina foram maiores do que em vales, aumentando a diferença de temperatura entre estas áreas. O efeito de aquecimento foi de $\sim 0,7^{\circ}\text{C}$ para 10.000 hab./km², nas áreas mais elevadas. Assim, o controle da altura dos edifícios e da concentração da densidade populacional se fazem relevantes como estratégia de mitigação das UHIs (YU et al., 2025).

Adicionalmente, em florestas com pelo menos 50% de cobertura de árvores, o amortecimento das temperaturas máximas (Tmax) se intensificou em regiões com maior precipitação, uma vez que a evapotranspiração impulsionou o deslocamento de picos. Assim, a capacidade de amortecimento global das Tmax e médias em cenários futuros (2060–2080), poderá aumentar desde que não haja mudança na composição florestal, fato improvável. Já o amortecimento das Tmin será reduzido à medida que a temperatura do ar se tornar menos fria (DE LOMBAERDE et al., 2022). Por outro lado, a água subterrânea moderou o impacto de secas ao umedecer o solo e permitir que a vegetação mantenha evaporação mais alta. No sudeste da Austrália, as temperaturas do dossel florestal reduziram em até 5°C durante ondas de calor, em lençol freático raso. Este efeito, contudo, diminuiu à medida que a seca se prolongou além de dois anos e estas reservas de água foram esgotadas (MU et al., 2021).

2 Metodologia

O método de procedimentos deste trabalho divide-se em duas etapas, a saber: 1) Análise e elaboração de arquivos climáticos com ilha de calor e 2) Análise e discussão dos resultados.



2.1 Análise e elaboração de arquivos climáticos com ilha de calor urbana

Informações espaciais (densidade e altura média das edificações) e físicas (presença de corpos d'água e área verde) foram analisados no entorno dos aeroportos de Belo Horizonte - MG (Pampulha e Carlos Prates) além dos dados meteorológicos referentes aos seus arquivos climáticos mais recentes do tipo TMYx (*Typical meteorologia year*), disponíveis na base Climate Onebuilding Organization (2024). Na sequência, arquivos climáticos com ilhas de calor para BH e Viçosa -MG foram gerados no Future Weather Generator seguindo as orientações de Rodrigues, Fernandes e Carvalho (2023). Testou-se o impacto do buffer automático para densidade urbana variável (muito alto, alto, média, baixa, muito baixa) além da variação do buffer (muito alto, alto, média, baixa, muito baixa) para a densidade alta e baixa.

2.2 Análise e discussão dos resultados

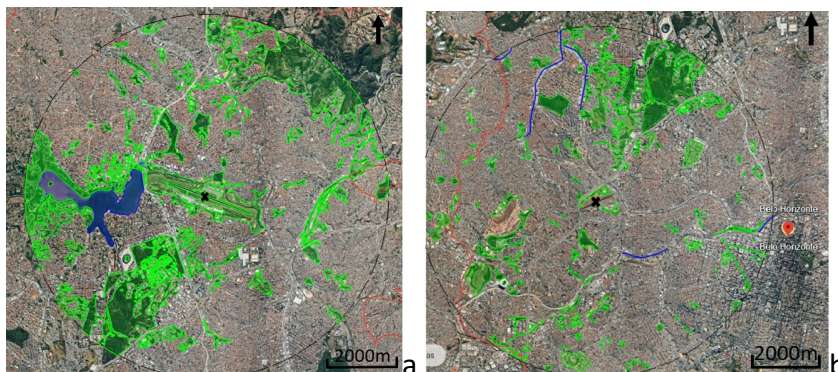
Os arquivos climáticos de ilhas de calor encontram-se disponíveis na plataforma Google Drive do grupo de pesquisa do CEFET MG (2024), para livre acesso. Análises estatísticas foram empregadas de modo a investigar se o percentual de variação média era constante ou não.

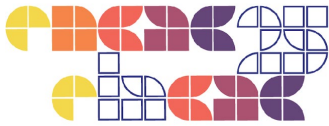
3 Resultados e Discussão

3.1 Análise espaciais e físicas do entorno dos aeroportos de BH

Na Figura 2 observa-se um círculo de 5km de raio centrado na pista de pouso da Pampulha (2a) e Carlos Prates (2b) além dos limites urbanos em vermelho. A área de corpos d'água (em azul) equivalem a 2,4 e 0,1% e as vegetadas por grama ou árvores (em verde), 20,8 e 10,4%, no entorno da Pampulha e Carlos Prates, respectivamente (GOOGLE EARTH, 2024).

Figura 2: Entorno dos Aeroportos da Pampulha (a) e Carlos Prates (b).



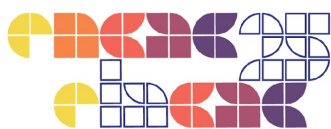


Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH (2024).

Destaca-se a lagoa da Pampulha na porção central e lateral esquerda, a mata da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG na parte inferior esquerda e a Mata da Granja Werneck e do Quilombo Mangueiras bem como o Parque da Izidora, na porção superior direita da Figura 2a. Além da relevante área verde junto ao aeroporto e a lagoa, verifica-se os Parques Fazenda Lagoa do Nado e Planalto na porção central, acima da pista de pouso. Já no entorno do aeroporto Carlos Prates (Figura 2b) a pequena faixa azul ateu-se a área de córregos a céu aberto em trechos das avenidas do Contorno, Heráclito Mourão de Miranda, Tancredo Neves e Prof. Clovis Salgado. A principal área verde está na porção superior esquerda (Parque Ursulina de A. M.) e direita (Jardim Zoológico e mata da UFMG), além da mata da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC-MG na porção inferior (GOOGLE EARTH, 2024).

Em virtude do controle do espaço aéreo, a verticalização no entorno das áreas aeroportuárias é limitada. Desta forma, em relação ao adensamento no entorno do aeroporto da Pampulha, verifica-se, em sua grande maioria, edificações unifamiliares de um a três andares sendo 1,5/2,0, em média. Algumas poucas edificações multifamiliares de cinco a 10 pavimentos são esparsas a partir de um raio de 500m da pista de pouso, especialmente na porção inferior da Figura 2a, em direção a UFMG. A parte oeste e norte do aeroporto, especialmente no entorno da Lagoa, apresenta conjunto arquitetônico tombado com restrição de até 9m de altimetria. A partir do raio de 4,5Km nota-se maior concentração de prédios com 10 andares no bairro Castelo, abaixo da mata da UFMG. No entorno do aeroporto Carlos Prates verifica-se, também, em sua grande maioria, edificações unifamiliares de um a três andares, mas com a presença esparsa de prédios de 5 pavimentos desde a área limite da pista de pouso, sendo 2,5/3,0, em média. A partir de 700m, principalmente na porção central direita e contorno próximo às áreas verdes, prédios de 5 a 10 pavimentos podem ser notados ainda que mais espaçados, com verticalização mais expressiva a partir do raio de 7km em direção ao hipercentro, na porção inferior direita (GOOGLE EARTH, 2024). Conforme definido por Zhou et al. (2022), em ambas as áreas nota-se uma alta densidade (HDLR) e baixa elevação (entre 1 a 3 andares) em grande parte da área delimitada pelo raio de 5Km, e algumas áreas com alta densidade (HDMR) e elevação média (entre 4 e 7 andares) ou alta (acima de 7 andares), em menor número, sendo que no Carlos Prates esta proporção se mostrou ligeiramente maior.

Em ambos os casos, entre 2003-2023, nota-se um aumento da amplitude térmica e da temperatura de bulbo seco (TBS) e a redução da umidade relativa (UR). A VV se mostrou próxima de 2m/s, fato pode contribuir para acentuar os efeitos da ilha de calor urbana



conforme pontuado por Al-Obaidi et al. (2021) e Ul Moazzam, Kim e Lee (2024). Na Pampulha o aumento da VV pode ser justificado pela alteração do dado de coleta referente a altitude. De toda forma, mesmo a radiação horizontal global tendo se mostrado menor em ambos os casos, o adensamento populacional pode ter contribuído para intensificar os efeitos da ilha de calor nestas regiões. A maior presença de áreas verdes e corpos d'água no entorno do aeroporto da Pampulha não parece ter sido suficiente para garantir maiores níveis de umidade relativa e menores temperaturas da superfície e do ar. A menor altitude, menor velocidade do vento e a menor altura média das edificações pode ter sido responsável pela desigualdade de calor distribuída ao longo do seu entorno, que compartilha área comum com o aeroporto Carlos Prates que apresentou maiores valores para estes parâmetros confirmando, portanto, os resultados indicados por Ferreira, Lobo e Assis (2019), Zhou et al. (2022), Yu et al. (2025).

Tabela 1: Síntese da média anual das principais variáveis dos arquivos climáticos de BH entre 2003 a 2023.

Aeroporto de BH	Alt. m	TBS °C	UR %	RHG W/m²	CTE %	CN %	VV m/s	AP °C
Carlos Prates (2003-2017)	928	20,9	72	5839	62,4	62,4	3,0	10,6
Carlos Prates (2009-2023)	928	21,8	69	5508	56,9	62,9	2,8	11,7
Pampulha (2003-2017)	785	21,8	69	5645	54,9	54,9	2,1	10,0
Pampulha (2009-2023)	789	22,1	66	5479	54,3	58,9	2,6	10,5

Fonte: Adaptado de Climate OneBuilding Organization (2024). Legenda: Radiação Horizontal Global - RHG, Céu Totalmente Encoberto - CTE, Céu Nublado - CN, Velocidade do Vento - VV e Amplitude Térmica - AP.

3.2 Análise da variação da densidade para o buffer automático

Como resultado do presente estudo foi identificado que o Future Weather Generator - FWG aumentou a TBS e reduziu a UR à medida que a densidade eleva (Tabelas 2, 3 e 4). Os demais parâmetros permaneceram inalterados, independentemente das configurações. A opção Auto, analisa o histórico meteorológico do arquivo original e classifica o buffer conforme a evolução dos seus dados, sendo que o amortecimento só ocorreu quando as densidades foram mais baixas do que o buffer definido como Alto para BH (Tabela 2). Para a densidade e buffer altos os dados foram inalterados ao passo que para a densidade muito alta e o buffer alto verificou-se suavização dos resultados. Para Viçosa-MG, o buffer foi baixo demonstrando que a opção automática define um padrão próximo do efeito do adensamento da cidade nos dados, anulando também o amortecimento neste caso, buffer baixo e densidade baixa. A UR, reduz para a densidade Muito Alta e aumenta para densidades mais baixas (Tabela 3).



Tabela 2 - Variação das médias mensais de TBS dos arquivos criados x original (BH Pampulha).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Original	24.1	23.0	23.4	22.4	20.0	19.1	18.2	19.9	22.2	23.6	22.3	22.8	21.7
Muito Baixa	-12%	-13%	-13%	-13%	-14%	-15%	-15%	-14%	-13%	-12%	-13%	-13%	-13%
Baixa	-3%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-5%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%
Média	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-2%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
Alta	0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	0%	-1%
Muito Alta	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%

Fonte: Autor (2024).

Tabela 3 - Variação das médias mensais de UR dos arquivos criados x original (BH Pampulha).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Original	65	69	75	66	75	66	59	54	60	61	71	74	66.22
Muito Baixa	21%	21%	21%	21%	21%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	21%	20%
Baixa	5%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	5%	6%
Média	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Alta	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%
Muito Alta	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-3%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%

Fonte: Autor (2024).

Para BH Carlos Prates e Pampulha, o buffer automático foi definido semelhante a alta densidade em ambos. Para o Carlos Prates, a densidade foi ligeiramente superior a Pampulha, o que resultou em pequenas diferenças percentuais nas variações dos dados (Tabela 2 e 4).

Tabela 4 - Variação das médias mensais de TBS dos arquivos criados x original (BH Carlos Prates).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Original	24.0	23.7	23.6	21.7	19.3	18.8	19.2	19.6	21.8	23.5	22.9	23.3	21.8
M. Baixa	-13%	-14%	-13%	-14%	-16%	-16%	-15%	-15%	-14%	-13%	-13%	-14%	-14%
Baixa	-4%	-5%	-5%	-5%	-5%	-6%	-5%	-5%	-5%	-4%	-5%	-5%	-5%
Média	-2%	-2%	-2%	-2%	-3%	-3%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%
Alta	-1%	-1%	-1%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-1%	-1%	-1%	-2%
M. Alta	1%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%

Fonte: Autor (2024).

3.3 Análise da variação do buffer para a densidade alta ou baixa

Para a densidade Alta ou Baixa variando o buffer as alterações também ocorreram apenas nos TBS e UR. Assim, quando ambos os parâmetros (Density e Buffer) são definidos como Alto (Tabela 5) ou Baixo (Tabela 6) a TBS não é alterada em comparação ao arquivo original. Nos arquivos que apresentam variações, estas foram consistentes. Para o Buffer configurado com densidade inferior a Alta, ocorre um incremento nos valores de TBS (Tabela 5) e o inverso



ocorre para o Buffer definido com uma densidade superior a Alta (Tabela 6), corroborando a consistência das variações identificadas nos dados climáticos analisados.

Tabela 5 - Variação das médias mensais de TBS dos arquivos criados x original (Urban Density Alto).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Original	24.3	23.2	23.6	22.6	20.2	19.3	18.4	20.1	22.3	23.8	22.5	23.0	21.9
Muito Baixa	14%	15%	15%	15%	16%	16%	17%	15%	14%	14%	15%	15%	15%
Baixa	3%	3%	3%	3%	4%	4%	4%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Média	2%	2%	2%	2%	2%	2%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Alta	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Muito Alta	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-4%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%

Fonte: Autor (2024).

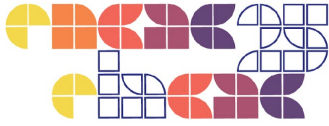
Tabela 6 - Variação das médias mensais de TBS dos arquivos criados x original (Urban Density Baixo).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Original	24.3	23.2	23.6	22.6	20.2	19.3	18.4	20.1	22.3	23.8	22.5	23.0	21.9
Muito Baixa	11%	12%	12%	12%	13%	13%	13%	12%	11%	11%	12%	12%	12%
Baixa	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Média	-2%	-2%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
Alta	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%
Muito Alta	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%	-7%	-7%	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%

Fonte: Autor (2024).

4 Conclusões

A incorporação dos efeitos das ilhas de calor em arquivos climáticos para simulações computacionais proporciona resultados mais precisos, viabilizando aplicações práticas como o planejamento urbano - que se beneficia de subsídios técnicos para desenvolver estratégias de mitigação desse fenômeno. No presente estudo, verificou-se que o programa Future Weather Generator determina as variações aplicadas aos dados climáticos de TBS e UR com base na interação entre os parâmetros de Densidade Urbana e Buffer. E, uma vez que a seleção da densidade urbana e buffer é qualitativa na geração de arquivos com ilhas de calor, análises espaciais e físicas do entorno dos aeroportos podem auxiliar entendimento do tipo do adensamento e o potencial de amortecimento das mudanças climáticas propiciadas pelo entorno (área vegetada, corpos d'água, etc). Desta forma, a definição precisa do Buffer e da densidade urbana mostrou-se fundamental, por influenciar diretamente a variação da TBS e UR. Em síntese, densidades menores do que o buffer as TBS são amortecidas, em densidades maiores elas são aumentadas e em densidade igual ao buffer o efeito de amortecimento seria nulo. Efeito inverso aconteceria para UR.



AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET MG, à CAPES e à FAPEMIG pelo apoio durante a realização dessa pesquisa.

Referências

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL AERODYNAMICS OF THE UNIVERSITY OF COIMBRA - ADAI-UC; CENTRE FOR ENVIRONMENTAL AND MARINE STUDIES AT THE UNIVERSITY OF AVEIRO - CESAM-UA. Future Weather Generator developed under the CLING Project, supported by the Portuguese Foundation for Science and Technology with grant number PTDC/EME-REN/3460/2021, 2021. Disponível em: <https://future-weather-generator.adai.pt/>. Acesso em: 10 jan. 2025.

AL-OBAIDI, I.; RAYBURG, S.; PÓŁROLNICZAK, M.; NEAVE, M. Assessing the Impact of Wind Conditions on Urban Heat Islands in Large Australian Cities. **Journal of Ecological Engineering**. Lublin: JEE, v. 22(11), 2021, pp. 01-15.

CARDOSO, R. S., DORIGON, L. P.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Assessment of Urban Heat Islands in Small- and Mid-Sized Cities in Brazil. **Climate**. Basel: MDPI, v. 5, n. 1: 14, 2017, p. 01-13.

CEFET MG - Departamento de Engenharia Civil e Mecânica: Projeto PVC00199-2023. Arquivos climáticos futuros e de ilha de calor urbanas para Minas Gerais. Belo Horizonte: DEC/DEM CEFET MG, 2024. Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1HUX4V4WF9jx4UAIg2mN2vAR_pXB5X5HZ

CLIMATE ONEBUILDING ORGANIZATION. USA, 2024. Disponível em: <https://climate.onebuilding.org/>. Acesso em: 10 jan. 2025.

DEILAMI, K.; KAMRUZZAMAN, M.; LIU, Y. Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. Amsterdam: Elsevier, v. 67, 2018, pp. 30–42.

DE LOMBAERDE, E.; VANGANSBEKE, P.; LENOIR, J.; et al. Maintaining forest cover to enhance temperature buffering under future climate change. **Science of The Total Environment**. Amsterdam: Elsevier, v. 810, 2022, pp. 151338.



FERREIRA, D. G.; LOBO, C. F. F.; ASSIS, W. L. Temperatura do Ar, Densidade de Volume Construído e Topografia em Belo Horizonte/MG. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: USP, v. 37 (95), 2019, p. 95-107.

GOOGLE EARTH. Abrir o Earth – Novo Projeto – Pesquisar – Aeroporto de Belo Horizonte Carlos Prates e da Pampulha. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/index.html>. Acesso em: 06 fev. 2025.

KE, X.; MEN, H.; ZHOU, T.; LI, Z.; ZHU, F. Variance of the impact of urban green space on the urban heat island effect among different urban functional zones: A case study in Wuhan. **Urban Forestry & Urban Greening**. Amsterdam: Elsevier, v. 62, 2021, pp. 127159.

LIN, J.; QIU, S.; TAN, X.; ZHUANG, Y. Measuring the relationship between morphological spatial pattern of green space and urban heat island using machine learning methods. **Building and Environment**. Amsterdam: Elsevier, v. 228, 2023, pp. 109910.

MANOLI, G.; FATICHI, S.; SCHLÄPFER, M.; YU, K.; CROWTHER, T. W.; MEILI, N.; BURLANDO, P.; KATUL, G. G.; BOU-ZEID, E. Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. **Nature**. London: Springer Nature, v. 573, 55–60, 2019, s41586-019-1512-9.

MU, M.; DE KAUWE, M. G.; UKKOLA, A. M.; PITMAN, A. J.; GUO, W.; HOBEICHI, S.; BRIGGS, P. R. Exploring how groundwater buffers the influence of heatwaves on vegetation function during multi-year droughts. **Earth System Dynamics**. Göttingen: Copernicus, v. 12(3), 2021, pp. 919–938.

RODRIGUES, E.; FERNANDES, M. S.; CARVALHO, D. Future weather generator for building performance research: An open-source morphing tool and an application. **Building and Environment**. Amsterdam: Elsevier, v. 233, p. 110104, 2023.

UL MOAZZAM, M. F.; KIM, S.; LEE, B. G. Cities in the heat: Unveiling the urbanized impacted surface urban heat island of South Korea's metropolises. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**. Amsterdam: Elsevier, v. 36, 2024, pp. 101271.

YU, W.; YANG, J.; REN, J.; ZHANG, Z.; SUN, D.; XUE, B.; SUN, W.; XIAO, X.; XIA, J.; LI, X. Identifying localized heat zones in urban heat islands from a hill and saddle perspective. **Sustainable Cities and Society**. Amsterdam: Elsevier, v. 118, 2025, pp. 106028.

ZHOU, Y.; ZHAO, H.; MAO, S.; ZHANG, G.; JIN, Y.; LUO, Y.; HUO, W.; PAN, Z.; AN, P.; LUN, F. Exploring surface urban heat island (SUHI) intensity and its implications based on urban 3D neighborhood metrics: An investigation of 57 Chinese cities. **Science of the Total Environment**. Amsterdam: Elsevier, v. 847, 2022, pp. 157662.