

ONDA DE CALOR E TEMPERATURA SUPERFICIAL NA ÁREA URBANA DE TRÊS LAGOAS (MS) EM SETEMBRO DE 2023

Diogo Cerdan Brito

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, MS, Brasil
dcerdanb@gmail.com

Gislene Figueiredo Ortiz Porangaba

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, MS, Brasil
gislene.ortiz@ufms.br

RESUMO

Diante do contexto de mudanças climáticas cada vez mais intenso, visa-se, por meio deste trabalho, discutir e analisar a temperatura superficial da área urbana de Três Lagoas (Mato Grosso do Sul) durante um período de onda de calor ocorrido entre os dias 19 e 27 de setembro de 2023. Para isso, elaborou-se um painel espaço-temporal com base em dados de temperatura do ar, obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e realizou-se também o processamento digital de imagem para a elaboração de um mapa termal com imagem do satélite Landsat 8, do dia 25 de setembro de 2023 às 09h28 (hora local). Identificou-se a atuação de uma onda de calor durante 9 dias consecutivos em Três Lagoas, com temperatura mínima de 23,00 °C às 5h00 no dia 19 e máxima de 43,00 °C no dia 24 às 14h00. Verificou-se também, no âmbito da temperatura superficial, a mínima de 28,40 °C e a máxima de 59,60 °C, sendo que as menores temperaturas foram registradas em áreas com vegetação alta e densa, enquanto as mais elevadas estiveram associadas a áreas de solo exposto.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Eventos extremos de calor. Clima urbano. Processamento digital de imagens.

HEAT WAVE AND SURFACE TEMPERATURE IN THE URBAN AREA OF TRÊS LAGOAS (MS) IN SEPTEMBER 2023

ABSTRACT

In the context of increasingly intense climate change, this study aims to discuss and analyze the surface temperature in the urban area of Três Lagoas (Mato Grosso do Sul, Brazil) during a heatwave that occurred from September 19 to 27, 2023. For this purpose, a spatiotemporal panel was developed based on air temperature data obtained from the National Institute of Meteorology (INMET) website. Digital image processing was also conducted to create a thermal map using Landsat 8 satellite imagery from September 25, 2023, at 9:28 AM (local time). The analysis identified a heatwave event lasting nine consecutive days in Três Lagoas, with a minimum temperature of 23.00 °C at 5:00 AM on September 19 and a maximum of 43.00 °C at 2:00 PM on September 24. Regarding surface temperature, the study found a minimum of 28,40 °C and a maximum of 59,60 °C, with lower temperatures recorded in areas with tall and dense vegetation, while higher temperatures were associated with exposed soil areas.

Keywords: Climate change. Extreme heat events. Urban climate. Digital image processing.

INTRODUÇÃO

Considerando o contexto de mudanças climáticas, intensificado pela relação entre sociedade e natureza, ou seja, pela forma como a sociedade se apropria e modifica a natureza por meio do trabalho, é de suma importância compreender as implicações vivenciadas em diferentes escalas e com maior frequência, como evidenciado por Belini e Ortiz Porangaba (2023).

Um dos efeitos dessas mudanças são as ondas de calor, que se apresentam como um desafio para a sociedade. Esse fenômeno tem se tornado mais frequente, intenso e duradouro (Perkins-Kirkpatrick; Lewis, 2020), resultando em temperaturas elevadas por vários dias consecutivos e afetando principalmente aqueles que não dispõem de meios para lidar com o calor extremo, o que causa desconforto térmico.

Dessa forma, esses eventos extremos de calor, caracterizados por períodos de tempo quente e seco ou quente e úmido, impactam a experiência dos indivíduos de tal maneira que são registradas temperaturas elevadas não apenas durante o dia, mas também à noite, devido ao incremento térmico proveniente das ilhas de calor (McGregor et al., 2015). Segundo Kong et al. (2021), as ilhas de calor potencializam os efeitos das ondas de calor em áreas urbanas, elevando a temperatura do ar. Isso gera uma problemática, visto que o acesso a equipamentos que amenizam o calor nos ambientes é desigual.

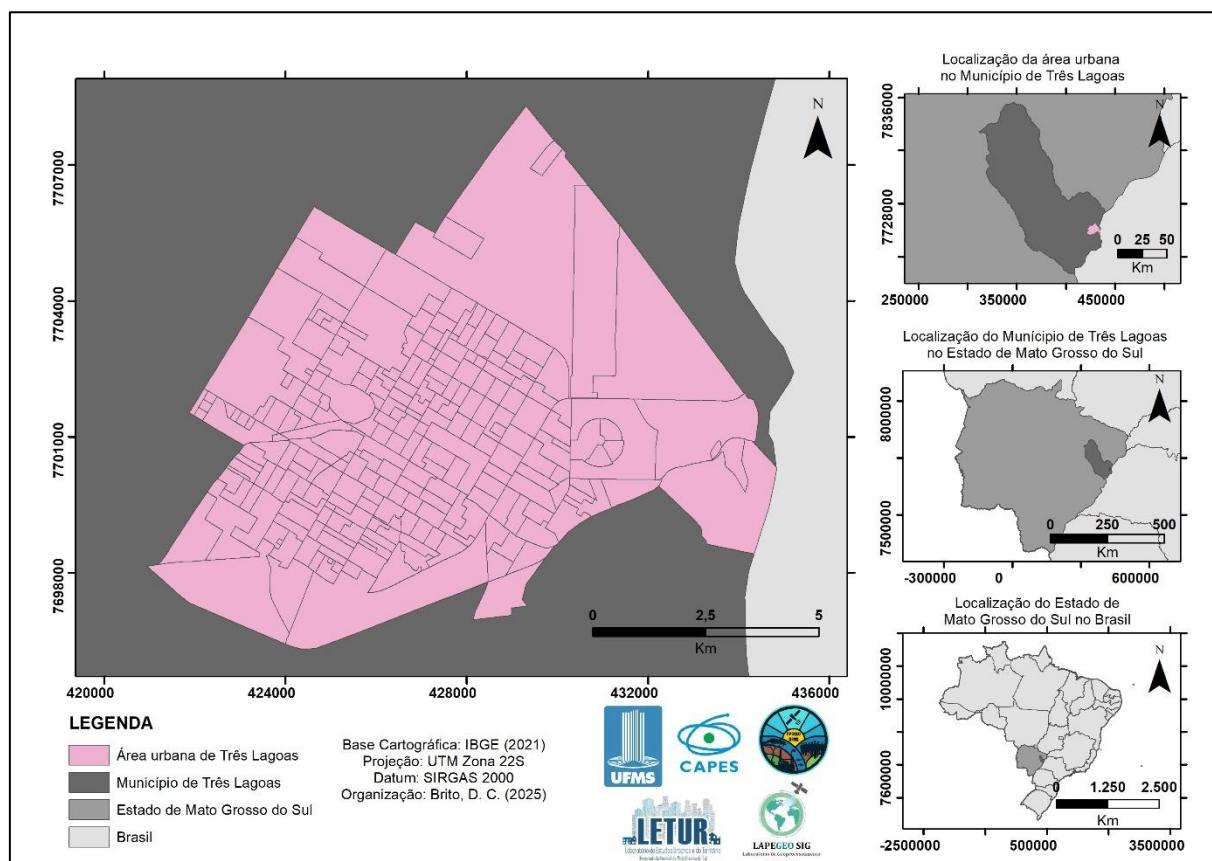
A dinâmica do clima urbano é impactada à medida que esse fenômeno ocorre. Considerando a problemática climática das ondas de calor, este trabalho tem como objetivo discutir e analisar a temperatura superficial da área urbana de Três Lagoas durante um período de onda de calor, entre os dias 19 e 27 de setembro de 2023.

Portanto, é pertinente analisar e discutir como a onda de calor de setembro de 2023, com duração de nove dias consecutivos, se manifestou e impactou o clima urbano de Três Lagoas, a partir da articulação entre a temperatura do ar, obtida por meio de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet, 2023), e a temperatura superficial, obtida por meio de sensoriamento remoto.

ÁREA DE ESTUDO

Três Lagoas é uma cidade localizada na Mesorregião Leste de Mato Grosso do Sul (Figura 1), com aproximadamente 132.152 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022). A cidade tem experimentado um crescimento acelerado nas últimas décadas, como evidenciado por Delcol e Milani (2022). De acordo com o Censo de 2010 (IBGE, 2010), a população era de aproximadamente 101.791 habitantes, o que configura um aumento de cerca de 30 mil habitantes em pouco mais de uma década. Além disso, segundo dados do IBGE (2019), Três Lagoas conta com uma área urbanizada de 48,96 km².

Figura 1 - Área urbana de Três Lagoas (MS): Localização, 2023



Fonte: IBGE, 2021. Organização: os autores, 2024.

A cidade está situada em uma região cuja vegetação natural é caracterizada pela presença de cerrado e mata atlântica (IBGE, 2019) e cujo clima regional é tropical, classificado como Aw (Dubreuil et al., 2018). Assim, a região é quente e úmida, com chuvas no verão e inverno ameno e seco. No entanto, convém destacar que o inverno de Três Lagoas é caracterizado por episódios de frio associados principalmente à entrada de massas de ar, como a Massa Polar Atlântica (MPA). Dessa forma, a população da cidade experimenta as altas temperaturas da região durante a maior parte do ano.

Nesse sentido, a onda de calor registrada na área urbana de Três Lagoas ocorreu durante a transição do inverno para a primavera (entre os dias 19 e 27 de setembro de 2023). Esse é um período seco devido à dinâmica climática local, com maior intensidade dos efeitos da radiação solar que incide sobre a superfície terrestre e é emitida para a atmosfera, sem a presença de precipitação para amenizar o calor armazenado na superfície.

Além disso, Três Lagoas teve sua economia muito vinculada à pecuária em sua formação socioespacial, passando atualmente por uma transição "de uma economia baseada na pecuária para uma economia também urbano-industrial", conforme apontam Delcol e Milani (2022, p. 90). Um rebatimento dessa base econômica no clima urbano é o fato de o núcleo urbano ter em seus arredores a intensa presença de áreas de pastagem (Figura 2), o que tende a intensificar a temperatura superficial em determinadas áreas em períodos secos, como será retomado nos resultados e discussões deste trabalho.

Figura 2 - Área urbana de Três Lagoas (MS): Entorno do núcleo urbano, 2024



Fonte: Google Earth Pro, 2023. Organização: os autores, 2024.

Como é possível observar na Figura 2, o núcleo urbano de Três Lagoas é cercado por pastagens e áreas de vegetação natural da região, bem como por áreas de plantio de eucalipto — atividade que se intensificou em todo o estado de Mato Grosso do Sul, conforme evidenciado por Dubos-Raoul e Almeida (2022).

Nesta perspectiva, podemos observar que o próprio sítio urbano em que a cidade está inserida, em articulação com o clima regional que incide sobre esse espaço, confere especificidades ao clima urbano de

Três Lagoas, associadas ao seu processo de produção do espaço e à dinâmica climática que configura o clima da cidade.

METODOLOGIA

A metodologia quantitativa utilizada para a realização deste trabalho teve como base a tabulação e a organização de dados meteorológicos obtidos por meio do INMET, o uso de uma imagem térmica referente a um dos dias (25 de setembro de 2023) do período de onda de calor no mês de setembro do mesmo ano em Três Lagoas (MS) e a posterior análise dos dados.

Inicialmente, obtiveram-se os dados de temperatura do ar no site do INMET, a partir dos dados históricos anuais de 2023, para identificar o episódio de ondas de calor analisado. Convém destacar que foram utilizados os dados de uma estação automática (WMO A704), instalada no bairro Santos Dumont (Figura 3).

Figura 3 - Área urbana de Três Lagoas (MS): Localização da estação automática ativa, 2024



Fonte: INMET, 2024. Organização: os autores, 2024.

Em seguida, os dados obtidos por meio do INMET foram filtrados e tratados em planilha do Excel, conforme a definição para ondas de calor do Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC, 2001), que admite a formação de uma onda de calor a partir do acréscimo de 5 °C à média da temperatura máxima diária por pelo menos cinco dias consecutivos. Para a série de dados em questão, o limiar definido a partir das normas climatológicas (1991-2010) do INMET foi de 36,3 °C.

Com base nesse valor, foi elaborada uma tabela dinâmica que permitiu delimitar o início e o fim da onda de calor, que ocorreu entre 19 e 27 de setembro de 2023. Para melhor visualização do evento climático extremo, foi elaborado um painel espaço-temporal no software Surfer, versão de avaliação. Com base nesse painel, foi possível compreender, visualmente, o período de tempo em que a onda de calor atuou na área urbana de Três Lagoas.

O segundo passo foi a elaboração de uma tabela contendo os dados do total de precipitação (em milímetros), obtidos a partir dos dados históricos anuais do INMET (2023). Dessa maneira, os totais de

precipitação dos 10, 20 e 30 dias anteriores à tomada da imagem termal foram filtrados e organizados com base em Amorim (2017), considerando que:

Sob condições atmosféricas que prevalecem a estabilidade e baixos totais de precipitação no período que antecede a tomada das imagens, há diminuição da massa vegetal a partir da perda de parte das folhas da cobertura arbórea e exposição do solo devido à diminuição da cobertura vegetal rasteira, interferindo no balanço de energia - albedo, praticamente igualando as temperaturas dos alvos rurais aos urbanos (Amorim, 2017, p. 73).

O terceiro passo consistiu na elaboração do mapa da temperatura superficial da área urbana de Três Lagoas durante o período da onda de calor. Para isso, foi necessário realizar uma série de procedimentos, desde a obtenção da imagem de satélite até a aplicação das equações necessárias para se obter a temperatura superficial em graus Celsius. Esses procedimentos serão detalhados a seguir.

A imagem de satélite do Landsat 8, banda 10, referente ao infravermelho termal (Thermal Infrared Sensor/TIRS), com resolução espectral de 10,6-11,19 μm e resolução espacial de 100 m, foi obtida por meio da United States Geological Survey (USGS). A imagem foi tratada e disponibilizada pela USGS com 30 m de resolução espacial. A imagem obtida foi adquirida em 25 de setembro de 2023, às 9h28 (hora local).

No software ArcMap 10.8.2, foram realizados todos os demais procedimentos para a obtenção da temperatura superficial da área urbana de Três Lagoas em graus Celsius. Primeiramente, foi feita a reprojeção do raster para SIRGAS 2000 UTM Zona 22S. Em seguida, foi realizado o recorte do raster utilizando como máscara um arquivo shapefile que englobou toda a área de estudo. O produto desse procedimento inicial foi o raster da área urbana de Três Lagoas, reprojetado para SIRGAS 2000 UTM Zona 22S.

Com o raster devidamente reprojetado e recortado, aplicamos as fórmulas de Dumke (2007), Gomide, Vieira e Machado (2018), Ortiz, Porangaba e Amorim (2019), Ortiz, Porangaba, Bacani e Milani (2020) e Brito, Milani e Ortiz, Porangaba (2023) para: converter os níveis de cinza em radiância espectral; realizar a correção atmosférica; converter os valores digitais em temperatura em Kelvin; e converter os graus Kelvin em Celsius. Para a conversão dos níveis de cinza em radiância espectral, aplicamos a seguinte fórmula (Eq. 1):

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (1)$$

Em que:

$L\lambda$ = radiância espectral do sensor de abertura em Watts / (m² * sr * μm);

ML = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda termal (obtido nos metadados da imagem);

Qcal = Número Digital (ND) do pixel (obtido nos metadados da imagem) e;

AL = Fator de redimensionamento aditivo específico por banda.

Posteriormente, foi realizado o cálculo de correção atmosférica, utilizando como base os parâmetros (*UpRadiance*, *Transmitância* e *DownRadiance*) da *Atmospheric Correction Parameter Calculator* (ACPC), obtidos com base na inserção de dados locais do dia do imageamento (data, horário, altitude, coordenadas geográficas, temperatura do ar, umidade e pressão atmosférica). Para essa etapa, foi utilizada a fórmula (Eq. 2), exposta a seguir (Gomide Vieira e Machado, 2018):

$$((Imagem\ feita\ anteriormente - UpRadiance) / (Emissividade * Transmitância)) - (0.05263 * DownRadiance) \quad (2)$$

Em que:

UpRadiance = 3.55

Emissividade = 0.95

Transmitância = 0.60

DownRadiance = 5.57

Após essa etapa, em que se obteve o *raster* com a correção atmosférica realizada, foi necessário que o *raster* passasse então pelo procedimento adequado para a conversão dos valores digitais em temperatura em Kelvin, conforme a fórmula (Eq.3) utilizada nesse procedimento:

$$K2 / ln(k1/[imagem]) + 1 \quad (3)$$

Em que:

K2 = Constante de calibração 2 – valor = 1 321,08;

Ln = Logaritmo neperiano e;

K1 = Constante de calibração 1 – valor = 774,89;

PPor fim, com a temperatura superficial obtida em graus Kelvin, o último procedimento necessário foi a conversão dos valores de Kelvin para Celsius. Para isso, subtraiu-se o valor de -273,15 dos valores da temperatura superficial em Kelvin obtidos previamente. Após a obtenção da temperatura em graus Celsius, a malha dos setores censitários (IBGE, 2021) foi inserida, permitindo a identificação das diferentes áreas da cidade com maior facilidade para a análise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o IPCC (2022), em seu sexto relatório, os sistemas físicos e sociais entrarão em colapso até 2040 devido ao aumento de eventos extremos relacionados às mudanças climáticas, além das alterações climáticas naturais.

Entre esses eventos, destacam-se as ondas de calor, que estão se tornando mais frequentes e intensas (IPCC, 2022). Elas são definidas como um período de alguns dias consecutivos em que a temperatura em um determinado local está acima do normal. No entanto, não há um consenso sobre a definição de ondas de calor (McGregor et al., 2015; Monteiro, 2013; Robinson, 2001). Para o IPCC (2022), ondas de calor são eventos extremos em que se registram 5 °C acima da temperatura máxima média de um determinado local por um período mínimo de cinco dias consecutivos. Já para a Organização Meteorológica Mundial (OMM), as ondas de calor ocorrem quando, durante um período mínimo de seis dias consecutivos, são registrados 5,00 °C a mais que a temperatura máxima média.

As ondas de calor, eventos de calor extremo, podem ser observadas a partir das interações entre a superfície e a atmosfera. Horton et al. (2016, p. 244) discutem que, à medida que "solos em condições anormais de baixa umidade são associados ao calor, uma vez que a energia da insolação é preferencialmente particionada para o calor sensível — ao invés do latente", a temperatura se eleva ainda mais.

Em áreas urbanas, os efeitos das ondas de calor são potencializados pela presença de ilhas de calor. Segundo Kong et al. (2021), pesquisas recentes demonstram essa dinâmica, pois a presença de ilhas de calor pode prolongar os períodos de altas temperaturas e reduzir o período de alívio para os habitantes das cidades. Além disso, Perkins-Kirkpatrick e Lewis (2016, p. 2) apontam que "existem diversos impactos das ondas de calor, incluindo na saúde humana, na agricultura, na produtividade no trabalho, na frequência e na intensidade de queimadas e na infraestrutura pública". Nesse sentido, o evento climático extremo das ondas de calor mostra-se como uma problemática para a sociedade, tanto direta quanto indiretamente, pois o calor intensifica problemas de saúde ligados à questão termo higrométrica, afetando diretamente os indivíduos que já têm problemas de saúde, bem como ao intensificar as queimadas, por exemplo, o que impacta a qualidade do ar e afeta a sociedade indiretamente.

Ao articular uma discussão pautada na temperatura superficial da área urbana de Três Lagoas, trabalha-se com base em uma perspectiva de clima urbano. Quando se fala em clima urbano, pensa-se em "um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização" (Monteiro, 1976, p. 144), ou seja, um sistema aberto no qual se articulam o clima local e a cidade, em uma retroalimentação mútua. Essa retroalimentação ocorre à medida que o clima local influencia a cidade e implica uma dinâmica climática local, e as características físicas da cidade (como densidade construtiva, verticalidade e presença de vegetação) influenciam a forma como essa dinâmica ocorrerá no espaço, gerando um clima urbano com suas especificidades conforme a própria cidade em suas múltiplas escalas. O Sistema Clima Urbano (SCU) é caracterizado por:

[...] importa energia através do seu ambiente, é sede de uma sucessão de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, a ponto de gerar produtos que se incorporam ao núcleo e/ou são exportados para o ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria dos sistemas abertos (Monteiro, 1976, p. 118).

Nesse sentido, Mendonça e Dubreuil (2005, p. 26) pontuam que "o clima urbano coloca em evidência as alterações do ambiente precedente decorrentes das atividades humanas, sendo ele o resultado da interação entre a sociedade e a natureza na cidade". Ou seja, o clima urbano é resultado de ações realizadas ao longo do tempo em um determinado espaço, transformando a dinâmica climática que se manifesta ali.

Além disso, é de suma importância a articulação entre as diferentes escalas climáticas, que também exerce influência no clima local. Isso porque "o clima local se insere em climas sub-regionais, regionais e zonais, podendo ser subdividido até os microclimas" (Monteiro, 1976, p. 118). Dessa forma, eventos extremos de calor, como ondas de calor advindas de outras escalas climáticas, incidem sobre o clima local. Em sua interação com a cidade e o núcleo urbanizado, tais eventos incidirão sobre o clima urbano.

É importante mencionar que, em 2023, o fenômeno climático El Niño ocorreu a partir de junho e teve como um de seus desdobramentos temperaturas acima da média histórica nacional entre julho e outubro, conforme informações consultadas no portal do INMET (2024). Assim, o período em que ocorreu a onda de calor na área urbana de Três Lagoas, o mês de setembro, contou com temperaturas acima da média histórica nacional. No balanço de inverno de 2023, o INMET (2023):

Além das altas temperaturas, a estação foi ainda marcada por eventos de onda de calor, em grande parte do País, especialmente nos meses de agosto e setembro. As temperaturas máximas ultrapassaram 40°C em alguns municípios do centro-norte do País, com anomalias positivas de temperatura máxima e mínima, isto é, temperaturas maiores que a média climatológica e acima de 1,5°C.

Constata-se, assim, como processos que ocorrem em diferentes níveis das escalas climatológicas se articulam e podem ter repercuções na escala local. Nesta análise, observa-se como o fenômeno climático El Niño, de escala global, intensificou a ocorrência de ondas de calor no período de transição entre o inverno e a primavera, impactando a dinâmica climática local da área de estudo e, consequentemente, a vida da população que enfrentou a onda de calor. Considera-se também a desigualdade presente na sociedade brasileira, que implica diferentes possibilidades de lidar com temperaturas elevadas por um período prolongado.

Ao analisar a temperatura superficial da área urbana de Três Lagoas durante um episódio de onda de calor, torna-se pertinente compreender a influência da temperatura da superfície sobre o clima urbano. A superfície tende a emitir a energia solar que recebe ao longo do dia, impactando as camadas mais baixas da atmosfera (Voogt; Oke, 2003).

Nesse mesmo sentido, Monteiro (1976, apud Amorim, 2019, p. 2) aponta que "[...] nos ambientes urbanos, a impermeabilização da superfície, decorrente da substituição da vegetação por diversos tipos de materiais, resulta no aquecimento não apenas dos alvos, gerando ilhas de calor superficiais, mas também da atmosfera sobre as cidades", corroborando a ideia de que a temperatura superficial é fundamental para compreender a dinâmica do clima urbano, pois o aquecimento da superfície também aquece a atmosfera sobre as cidades.

No entanto, convém ressaltar que a temperatura superficial é influenciada pela precipitação ocorrida até 30 dias antes da tomada da imagem termal, conforme expõem Amorim (2017) e Ortiz Porangaba (2024). Sendo assim, foi organizada a Tabela 1 com a finalidade de investigar a precipitação total (mm) que ocorreu nos 10, 20 e 30 dias anteriores ao imageamento.

Tabela 1 - Três Lagoas (MS): Dados de precipitação de até 30 dias antes do imageamento, 2023

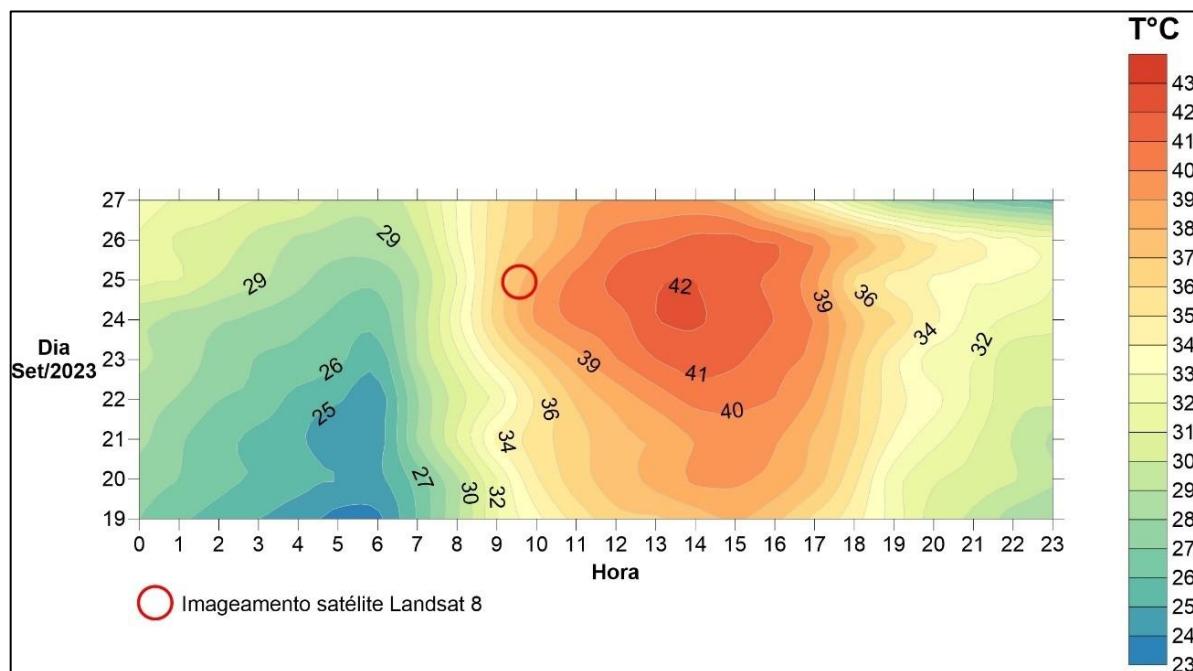
Data	Precipitação total (mm) 10 dias antes	Precipitação total (mm) 20 dias antes	Precipitação total (mm) 30 dias antes
	25/09/2023	0,2	9,8

Fonte: INMET, 2023. Organização: os autores, 2024.

A Tabela 1 mostra que houve um total de 58,6 mm de precipitação nos 30 dias anteriores à imagem. No entanto, nos 20 dias anteriores à captura da imagem, o total de precipitação foi de 9,8 mm, enquanto nos 10 dias anteriores, foi de apenas 0,2 mm. A precipitação acumulada nos 30 dias anteriores à imagem está próxima das médias do INMET para o período de 1961 a 1990 (61 mm) e de 1981 a 2010 (64,3 mm), não havendo anormalidades em relação à precipitação durante o período.

A Figura 4 mostra que uma onda de calor atuou na cidade de Três Lagoas por nove dias consecutivos entre 19 e 27 de setembro de 2023. Nesse período, a menor temperatura registrada foi de 23 °C às 5h no dia 19, e a maior, de 43 °C às 14h no dia 24.

Figura 4 - Área urbana de Três Lagoas (MS): Temperatura do ar durante onda de calor, setembro de 2023



Fonte: Dados da estação meteorológica do INMET, 2023. Organização: os autores, 2024.

Destaca-se que no dia 25 às 9h28 se deu a tomada da imagem de satélite utilizada neste trabalho, processada digitalmente e apresentada na Figura 5. Neste momento a temperatura do ar estava em aproximadamente 37,00 °C, no entanto, não havia ainda atingido sua máxima, sendo assim, pode-se considerar que posteriormente a superfície esteve ainda mais aquecida.

No mapa termal (Figura 5), observa-se que a maior parte da área urbana de Três Lagoas apresenta temperaturas superficiais variando entre 48,10 e 52,00 °C, com exceção das áreas de vegetação alta e densa e dos corpos hídricos. Isso evidencia o impacto da onda de calor durante o período do El Niño sobre a temperatura da superfície da cidade, refletindo as altas temperaturas observadas na maior parte da área urbana. Essas temperaturas influenciam a experiência espacial dos habitantes, especialmente daqueles com menor capacidade socioeconômica para se protegerem das elevadas temperaturas.

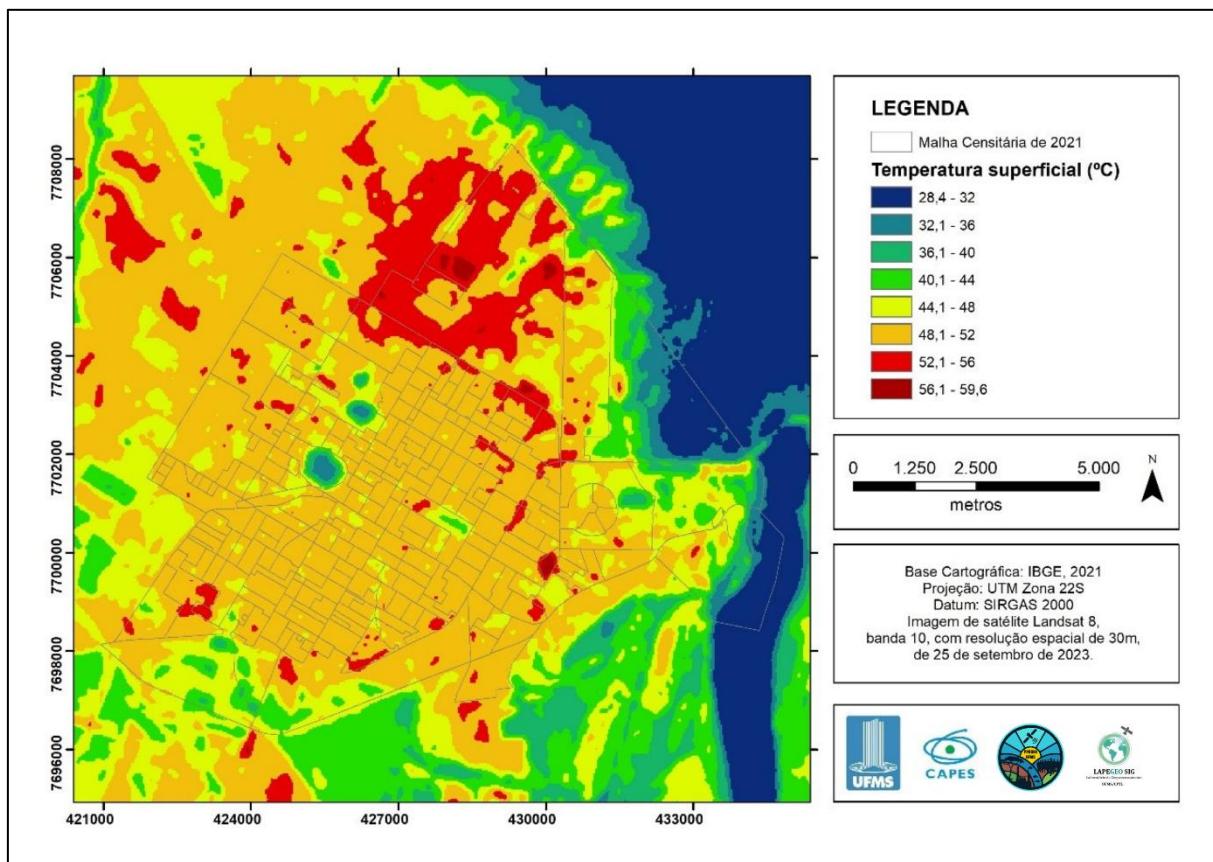
Durante a onda de calor, veículos de comunicação locais veicularam notícias sobre as medidas adotadas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Agronegócio (SEMEA) para mitigar os efeitos do calor no horário de trabalho dos coletores de resíduos sólidos. Como resultado, o horário de coleta foi alterado para as 5 horas da manhã. Essa mudança permaneceu mesmo após o término da onda de calor. Conforme informações disponíveis na página de coleta seletiva do site da Prefeitura Municipal de Três Lagoas, o horário de coleta diurna ainda tem início às 4 horas da manhã.

Destaca-se que algumas áreas da cidade apresentaram temperaturas ainda mais elevadas, variando entre 52,10 e 56,00 °C. Essas áreas são caracterizadas pela presença de vegetação baixa ou rasteira e estão distribuídas em espaços vazios, decorrentes da rápida expansão da malha urbana nas últimas décadas, conforme apontado por Delcol e Milani (2022). Além disso, a cidade é cercada por áreas de vegetação baixa que, em períodos secos, tendem a apresentar temperaturas mais elevadas do que as áreas construídas.

As temperaturas superficiais mais elevadas, que variaram entre 56,10 e 59,60 °C, referem-se a áreas da cidade com solo exposto, onde a temperatura da superfície geralmente é mais alta e pode ser superior à dos ambientes construídos (AMORIM, 2017, p. 67). Essas áreas, que apresentam alta inércia térmica, podem registrar temperaturas mais elevadas do que os materiais construtivos, como o concreto, embora percam temperatura mais rapidamente.

Outro ponto relevante são as áreas de vegetação alta e densa e os corpos hídricos, identificáveis em tons de verde e azul na Figura 5. As áreas em azul correspondem aos corpos hídricos, e os tons de verde, predominantemente, às áreas de vegetação densa. A presença de vegetação é fundamental para a amenização das elevadas temperaturas, tanto em eventos climáticos extremos quanto em situações de "normalidade".

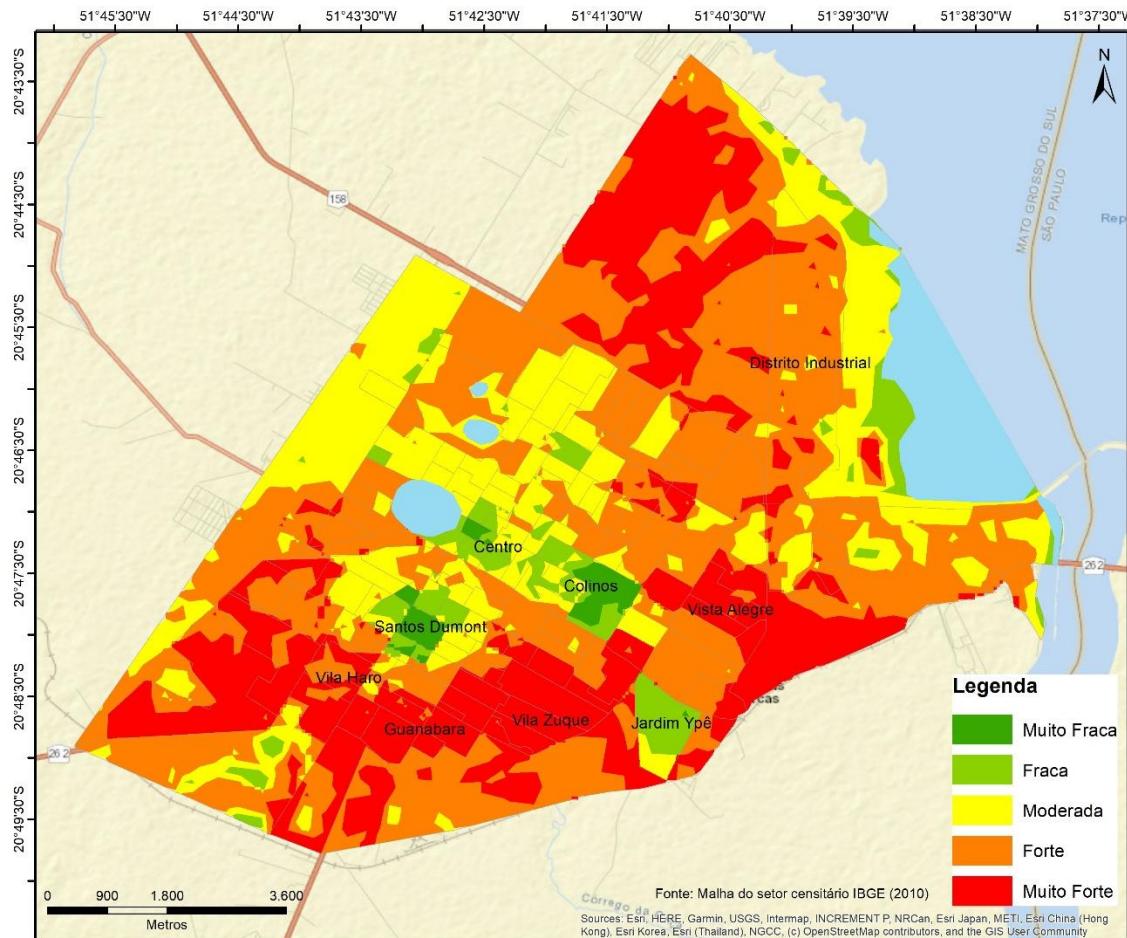
Figura 5 - Área urbana de Três Lagoas (MS): Temperatura superficial, setembro de 2023



Fonte: os autores, 2024.

Ao comparar a área construída da cidade com as áreas de vegetação densa, observa-se que a diferença de temperatura superficial, que na maior parte da cidade varia entre 48,1 °C e 52,0 °C, é de aproximadamente 4,0 °C a 12,0 °C nas áreas de vegetação densa, que apresentam temperaturas entre 40,1 °C e 44,0 °C. Entretanto, ao considerar as áreas mais quentes, que variam entre 52,10 °C e 59,60 °C, a diferença em relação às áreas de vegetação densa passa a ser de 8,00 a 19,50 °C.

Figura 6 - Mapas noturno e diurno de vulnerabilidade socioambiental urbana a eventos extremos de calor em Três Lagoas. Data: 16/11/2019. Hora local: 21:51

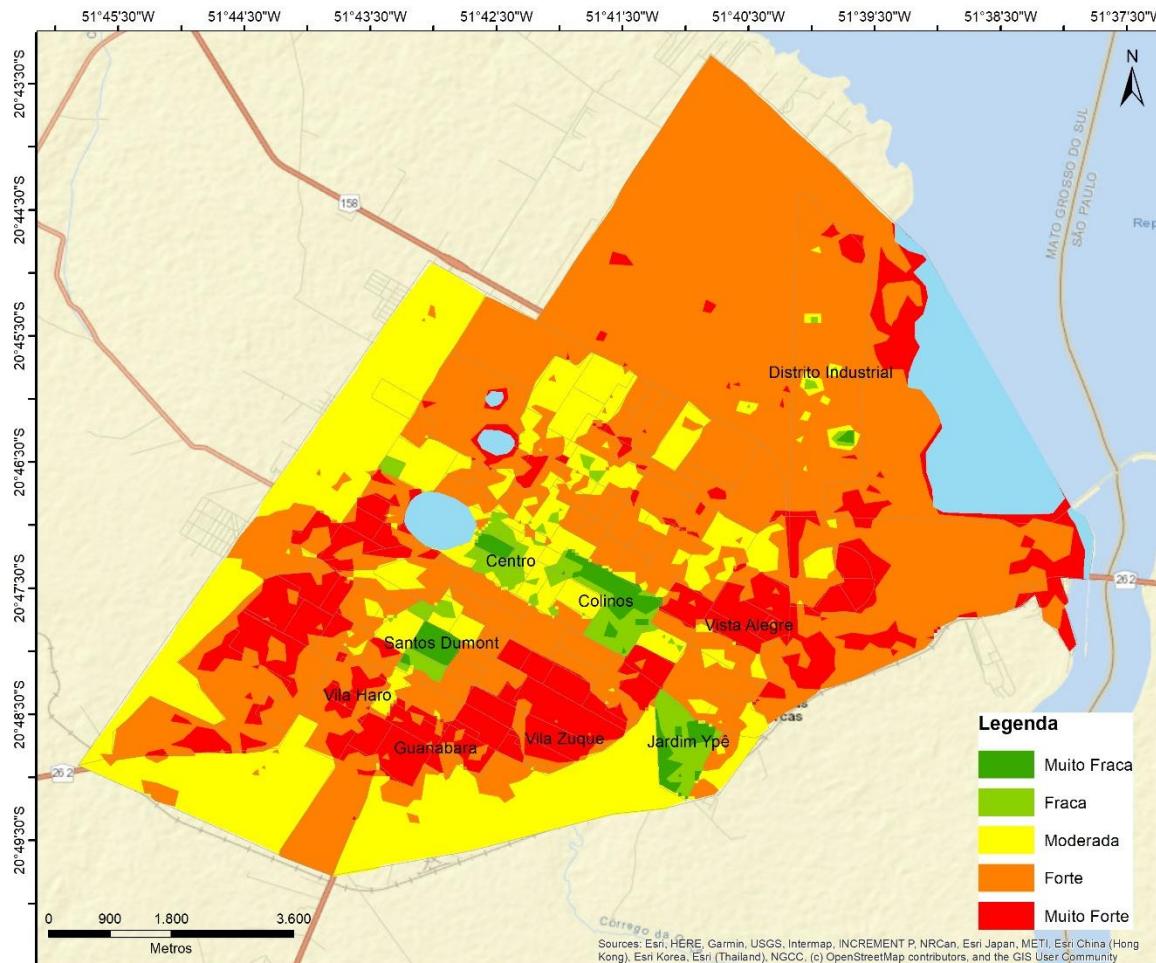


Fonte: Porangaba, Galvani e Amorim, 2024, p. 292.

Portanto, é imprescindível considerar que as diferenças de temperatura impactam a população de maneira desigual. A faixa de temperatura entre 48,10 °C e 52,00 °C, vivenciada na maior parte da área urbana de Três Lagoas, será experimentada de maneira diferente de acordo com a classe social e as condições de cada indivíduo para lidar com essas temperaturas. Nesse sentido, destacam-se os mapas de vulnerabilidade socioambiental urbana a eventos extremos de calor em Três Lagoas (Figura 6), elaborados por Porangaba, Galvani e Amorim (2024). Esses mapas evidenciam a condição socioespacial ao sobreporem informações de temperatura de superfície durante ondas de calor com dados de rendimento domiciliar.

Assim, ao abordar o clima urbano, é fundamental reconhecer que o acesso a materiais construtivos com maior eficiência térmica e à climatização de ambientes internos é desigual, levantando a reflexão sobre como amenizar os efeitos de eventos climáticos extremos no clima urbano.

Figura 7 - Mapa noturno de vulnerabilidade socioambiental urbana a eventos extremos de calor em Três Lagoas. Data: 16/11/2019. Hora local: 21:51



Fonte: Porangaba, Galvani e Amorim, 2024, p. 291 – 292.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um contexto de mudanças climáticas e de intensificação de fenômenos como ondas de calor, é essencial entender como esses eventos afetam o espaço urbano. Essa compreensão permite uma análise mais aprofundada dos efeitos no clima da cidade, considerando as particularidades da dinâmica climática local.

Diante da importância de se discutir os impactos das ondas de calor no clima urbano, buscou-se analisar a incidência desse fenômeno sobre a temperatura superficial da área urbana de Três Lagoas, identificando as áreas com as menores e as maiores temperaturas, bem como a diferença entre elas.

Constatou-se que as menores temperaturas ocorreram em áreas com vegetação alta e densa e com corpos hídricos, enquanto as mais elevadas estavam associadas a áreas com solo exposto. De maneira geral, a cidade apresentou altas temperaturas superficiais, especialmente em locais com menor cobertura vegetal.

Dessa forma, contribui-se para a discussão sobre a problemática das mudanças climáticas, evidenciando como a onda de calor afetou a área urbana de Três Lagoas e, principalmente, a experiência das pessoas, que vivem a cidade e o clima urbano de maneira desigual. Essa desigualdade se manifesta nas diferentes capacidades de lidar com eventos climáticos extremos e com elevadas temperaturas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil e também, com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo n. 422686/2021-2 da chamada CNPq/MCTI/FNDCT Nº 18/2021 – UNIVERSAL. Este projeto teve apoio financeiro da Fundect, TO número 164/2024, Chamada Especial Fundect/CNPq 15/2024 - Bolsas de Produtividade.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, M. C. C. T. **Teoria e método para o estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte.** 2017. 178 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.
- AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor superficiais: frequência da intensidade e variabilidade espacial em cidade de clima tropical continental. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 34, p. 1-18, 2019. DOI: [10.12957/geouerj.2019.40959](https://doi.org/10.12957/geouerj.2019.40959).
- Balanço de inverno/2023 no Brasil. **Instituto Nacional de Meteorologia**, Brasília, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/notasTecnicas> Acesso em: 18 set. 2024.
- BELINI, H. M. P.; ORTIZ PORANGABA, G. F. Análise das ondas de calor em Três Lagoas/MS, no período de 2012 a 2019. In: XV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica: Climatologia, Crises Socioambientais e Justiça Climática: ações e desafios da sustentabilidade. **Anais** do XV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Guarapuava: UNICENTRO, 2023. v. 1. p. 199-208. Disponível em: <https://www3.unicentro.br/sbcg/> Acesso em: 18 set. 2024.
- BRITO, D. C.; MILANI, P. H.; ORTIZ PORANGABA, G. F. Temperatura de superfície e ilhas de calor em Três Lagoas-MS. In: XXXIX Semana da Geografia da Universidade Estadual de Londrina (UEL), n. 1, vol. 1, 2023, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2023, vol. 1. p. 545-560.
- DELCOL, R. F. R.; MILANI, P. H. A produção do espaço urbano em Três Lagoas – MS com base na dinâmica demográfica. **GEOGRAFIA (Londrina)**, [S. I.], v. 31, n. 2, p. 87–106, 2022. DOI: [10.5433/2447-1747.2022v31n2p87](https://doi.org/10.5433/2447-1747.2022v31n2p87).
- DUBOS-RAOUL, M.; ALMEIDA, R. A. de. A chegada do eucalipto no município de Três Lagoas (MS) na percepção dos moradores das comunidades rurais de Arapuá e Garcias: entre a sujeição e a resistência territorial. **REVISTA NERA**, [S. I.], v. 25, n. 64, 2022. DOI: [10.47946/rnera.v25i64.8625](https://doi.org/10.47946/rnera.v25i64.8625).
- DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins** (Revista franco-brasileira de geografia), n. 37, p. 1-22, 2018. DOI: [10.4000/confins.15738](https://doi.org/10.4000/confins.15738).
- DUMKE, E. M. S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba**. 2007. 417 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- El Niño: saiba como foi a atuação do fenômeno no Brasil. **Instituto Nacional de Meteorologia**, Brasília, 25 abr. 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/el-ni%C3%B1o-saiba-como-foi-a-atua%C3%A7%C3%A3o-do-fen%C3%ADmeno-no-brasil> Acesso em: 18 set. 2024.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute. 2021. ArcGIS Desktop (Arcmap), Version 10.8.2.
- GOMIDE VIEIRA, M; MACHADO, G. GEOTECNOLOGIAS E ILHAS DE CALOR URBANAS: UMA APLICAÇÃO A UBERLÂNDIA – MG. **Geographia Opportuno Tempore**, [S. I.], v. 4, n. 3, p. 137–159, 2018. DOI: [10.5433/got.2018.v4.36161](https://doi.org/10.5433/got.2018.v4.36161).
- HORTON, R. M.; MANKIN, J. S.; LESK, C.; COFFEL, E.; RAYMOND, C. A review of recent advances in research on extreme heat events. **Current Climate Change Reports**, v. 2, p. 246-259, 2016. DOI [10.1007/s40641-016-0042-x](https://doi.org/10.1007/s40641-016-0042-x).
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos anuais**. Brasília, Distrito Federal, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos> Acesso em: 19 de set. 2024.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Mapa de Estações Meteorológicas**. Brasília, Distrito Federal, 2024. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br/> Acesso em: 24 de set. 2024.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normas climatológicas**. Brasília, Distrito Federal, 2010. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais> Acesso em: 24 de set. 2024.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 944, 2001. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf Acesso em: 19 set. 2024.
- IPCC – Painel Intergovernamental on Climate Change. **Sexto Relatório de Avaliação do Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2022.. Disponível em <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> Acesso em: 18 set. 2024.
- McGREGOR, G. R.; BESSEMOULIN, R.; EBI, K.; MENNE, B. **Heatwaves and health: Guidance on warning-system development**. Geneva, Switzerland. World Meteorological Organization and World Health Organization, 2015. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/heatwaves-and-health--guidance-on-warning-system-development> Acesso em: 20 set. 2024.
- MICROSOFT OFFICE LTSC Professional Plus 2021. **Microsoft Excel**, Versão 2108. 2021.
- KONG, J.; ZHAO, Y.; CARMELIET, J.; LEI, C. Urban Heat Island and Its Interaction with Heatwaves: A Review of Studies on Mesoscale. **Sustainability**, 2021, 13, 10923. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131910923>
- MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba/PR). **Revista RAEGA**, Curitiba, n. 9, p. 25-35, 2005. DOI: [10.5380/raega.v9i0.3444](https://doi.org/10.5380/raega.v9i0.3444).
- MONTEIRO, A.; CARVALO, V. Uma abordagem metodológica para avaliação de eventos climáticos extremos. In: AMORIM, M. C. C. T. SANT'ANNA NETO, J. L., MONTEIRO, A. (org.). **Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso**. São Paulo: Outras Expressões – Geografia em Movimento, 2013. p. 117-142.
- MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976 (Série Teses e Monografias, n. 25).
- ORTIZ PORANGABA, G. F.; AMORIM, M. C. C. T. Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. I.], v. 12, n. 6, p. 2041–2050, 2019. DOI: [10.26848/rbgf.v12.6.p2041-2050](https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.6.p2041-2050).
- ORTIZ PORANGABA, G. F.; BACANI, V. M.; MILANI, P. H. RISCO E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL URBANA: análise comparativa entre os dados socioeconômicos e a temperatura superficial em Três Lagoas (MS). **Brazilian Geographical Journal**, Ituiutaba, v. 11, n. 2, p. 100–112, 2020. DOI: [10.14393/BGJ-v11n2-a2020-57154](https://doi.org/10.14393/BGJ-v11n2-a2020-57154).
- ORTIZ PORANGABA, G. F. Análise do NDVI e da temperatura superficial em Três Lagoas (MS), no período de 2013 a 2023. In: AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. (org.). **Cidades, clima e vegetação: modelagem e políticas públicas ambientais**. Porto Alegre: TotalBooks, 2024. p. 59-71. DOI: [10.5263/978-65-88393-62-8](https://doi.org/10.5263/978-65-88393-62-8).
- PERKINS-KIRKPATRICK, S. E.; LEWIS, S. C. Increasing trends in regional heatwaves. **Nature Communications**, v. 11, n. 3357, p. 1-8, 2020.
- PORANGABA, G. F. O., GALVANI, E., AMORIM, M. C. DE C. T. (2024). Ilhas de calor superficiais e ondas de calor em Três Lagoas, MS: análise pela ótica do risco e da vulnerabilidade socioambiental. **Revista Brasileira De Climatologia**, 35(20), 275–296. [10.55761/abclima.v35i20.18319](https://doi.org/10.55761/abclima.v35i20.18319)
- ROBINSON, P. J. On the definition of a heat wave. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 40, n. 4, p. 762-775, 2001.
- Três Lagoas. Google Earth Pro, 2023. Acesso em: 18 set. 2024.
- VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 3, p. 370-384, 2003. DOI: [10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8).