

MODELAGEM ESPAÇO-TEMPORAL DE ILHAS DE CALOR URBANA E CORRELAÇÃO COM VARIÁVEIS- MONTES CLAROS, MG, BRASIL

SPACIO-TEMPORAL MODELING OF URBAN HEAT ISLANDS AND CORRELATION WITH VARIABLES- MONTES CLAROS, MG, BRAZIL

RESUMO

As ilhas de calor urbana (ICU) é um aumento da temperatura superficial (TS) e atmosférica, atingindo metrópoles e cidades médias do mundo. Alterações de uso da terra, clima e topografia modulam o fenômeno, compreender relação desses fatores possibilita identificar as causas de ICU. A pesquisa tem foco nesse âmbito, com análise TS, formação de ICU e relação com outras variáveis. O estudo foi na sexta maior cidade do estado de Minas Gerais (Montes Claros), em zona de clima AW (Köppen). A modelagem de TS foi a partir da banda termal Landsat 5 e 8 durante meses agosto de 1991, 2001, 2011 e 2018. Análise estatística multivariada foi aplicada entre informações de TS, variáveis de uso da terra e geomorfométricas. Entre 1991 a 2018 a TS aumentou, convertendo faixas de 22 a 26 °C para > 28 °C, com formação e aumento de 333% de ICU (ICU= > 4 °C média/período). Fatores naturais de radiação solar, altitude, índice de circulação do vento, e face de exposição de vertente influenciam na dinâmica de TS. Porém, o aumento de TS tem melhor relação com densidade urbana e com baixa cobertura vegetal. A redução do problema de ICU deve focar no planejamento de uso da terra e aumento de áreas verdes.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Temperatura de superfície. Densidade urbana. Variáveis geomorfométricas

ABSTRACT

The urban heat islands (UHI) refer to the increase in the surface and atmospheric temperature, reaching metropolises and medium cities globally. Changes in land use, climate, and topography modulate the UHI. Understanding the relationship of these factors helps to identify causes and consequences. The study focuses on this area, with surface temperature (ST) analysis, UHI formation, and connection with other variables. The study area is the sixth-largest city in the state of Minas Gerais (Montes Claros), in an AW climate zone (Köppen). The ST modeling was based on the thermal band Landsat 5 and 8 for months August 1991, 2001, 2011, and 2018. Multivariate statistical analysis was applied between ST information, land use, and geomorphometric data. From 1991 to 2018, ST increased, converting ranges from 22 to 26 °C to over 28 °C, with the formation and an increase of 333% of UHI (UHI => 4 °C average/period). Natural factors of solar radiation, altitude, wind circulation index, and slope exposure face influence the dynamics of ST. However, the increase in ST has a better relationship with urban density and lower vegetation levels. The reduction of the UHI problem should focus on planning land use and increasing vegetation greenness.

Keywords: Remote sensing. Surface temperature. Urban density. Geomorphometric variables

 Cristiano Marcelo Pereira Souza ^a
 Raul Magalhães Filho ^a
 Renata Silva Passos ^a
 Marcos Esdras Leite ^a
 Gustavo Vieira Veloso ^b
 Iara Soares França ^a

^a Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Montes Claros, MG, Brasil

^b Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil

DOI: 10.12957/geouerj.2020.42189

Correspondência: cmpsgeografia@gmail.com

Recebido em: 25 abr. 2019

Revisado em: 6 out. 2020

Aceito em: 11 nov.2020



INTRODUÇÃO

As ilhas de calor urbana (ICU) é um aumento da temperatura superficial e atmosférica em relação as áreas adjacentes, relacionado a redução no fluxo de calor latente e aumento no calor sensível (Oke et al., 2017). A expansão urbana sem planejamento e aspectos atrelados a esse uso, são preponderantes para aumento de ICU, conforme estudos em várias regiões no mundo (Silva et al., 2018; Amorim, 2019; Manoli et al., 2019; Nadizadeh Shorabeh et al., 2020; Sultana e Satyanarayana, 2020). No Brasil, ICU não é um fenômeno restrito as grandes metrópoles, alcançando a partir da década 80 as cidades médias, devido ao acelerado crescimento urbano (Silva et al., 2018). Além disso, condições climáticas e topográficas regionais exercem influência na dinâmica de temperatura. Entender a relação entre esses vários mecanismos é essencial para identificar causas e efeito do problema.

Determinados fatores interrelacionados contribuem para formação do fenômeno de ICU: (i) evaporação reduzida, condicionada pela diminuição da cobertura vegetal e armazenamento de calor durante o dia e reflexão no período noturno (Sultana e Satyanarayana, 2020); (ii) materiais de pavimentação e construção de impermeabilidade e grau de albedo baixos favorecem o armazenamento do calor (Allegrini e Carmeliet, 2018); (iii) o saldo de radiação aumenta devido ao acúmulo pelas construções de baixo índice de reflectância (Silva et al., 2018); (iv) convecção reduzida entre superfícies e o ar, pois edificações dificultam a circulação do vento (Gartland, 2011); (v) aumento do calor antropogênico gerado por atividades de veículos, industriais criando uma barreira para dissipação de temperatura (Sultana e Satyanarayana, 2020).

Diferentes tipos de ICU exigem diferentes abordagens de estudo, e na literatura há principalmente três categorias (Oke et al., 2017): A abordagem in situ são mais precisas, porém, tem expressividade territorial limitada, na maioria dos casos não há aferições pretéritas. Essa abordagem envolve identificação de ICU na atmosfera próxima a superfície (urban canopy layer), ou relacionada a atmosfera urbana (urban boundary layer), pois ilhas de calor da superfície costumam ser maiores durante o dia, e durante à noite, o aumento ocorre na atmosfera. O terceiro tipo são ICU relacionada a temperatura de superfície (Surface urban heat islands), diagnosticada por meio do sensoriamento remoto.

Com a maior disponibilidade de dados orbitais de sensoriamento remoto de acesso aberto, há uma tendência do uso de dados infravermelho térmico das imagens de satélite para identificação de ICU, com aplicabilidade em diversos contextos climáticos e espaciais (Imhoff et al., 2010; Silva et al., 2018; Nadizadeh Shorabeh et al., 2020; Sultana e Satyanarayana, 2020). Entretanto, tem a limitação de baixa resolução, influência de nuvens, medida estacionária no momento de aquisição. Por outro lado, são informações de maior escala temporal, permitindo análises evolutivas de ICU, são dados para grandes extensões territoriais (Estoque e Murayama, 2017). Além disso, o formato dos dados (raster) viabiliza correlações com outras informações espaciais (Estoque e Murayama, 2017), a exemplos, dados geomorfométricas de modelos digitais de elevação (MDE) e



aspectos de evolução de uso da terra. Ambos influenciam na dinâmica de temperatura, circulação de ar, albedo, evapotranspiração, ou seja, alguns componentes da dinâmica de ICU (Silva et al., 2018; Amorim, 2019; Nadizadeh Shorabeh et al., 2020; Sultana e Satyanarayana, 2020).

Considerando alguns dados topográficos, faces de exposição de vertente, exemplifica bem a influência na dinâmica de temperatura. Faces com direção para Norte e Oeste tem maior incidência de radiação solar no hemisfério sul, com predisposição ao aumento de temperatura (Passos et al., 2017; Souza et al., 2019). Outro aspecto é a presença de umidade do solo, um atenuador do aumento da temperatura (Martilli et al., 2020), e dados advindos de MDE indicar áreas de umidade mediante feições topográficas (Raduła et al., 2018). Além disso, informações de uso da terra, a exemplos, dados de índices de vegetação, classes de uso, bem como geometria de densidade urbana, são fatores explicativos de ICU (Nakata-Osaki et al., 2018; Rani et al., 2018).

Além de aspectos topográficos e uso da terra, a posição geográfica da área urbana pode potencializar o fenômeno ICU. Regiões de maior aridez possuem baixa precipitação, temperatura elevada, alta radiação solar e taxas de evapotranspiração (Manoli et al., 2019; Wu et al., 2019). No Brasil, áreas com essas características situam principalmente no nordeste do país. Entretanto, no sudeste, o estado de Minas Gerais tem uma zona de baixa precipitação, com distribuição irregular de chuvas, inclusive com zona de susceptibilidade a desertificação (Norte de Minas Gerais) (Brasil, 2004; Marques et al., 2017).

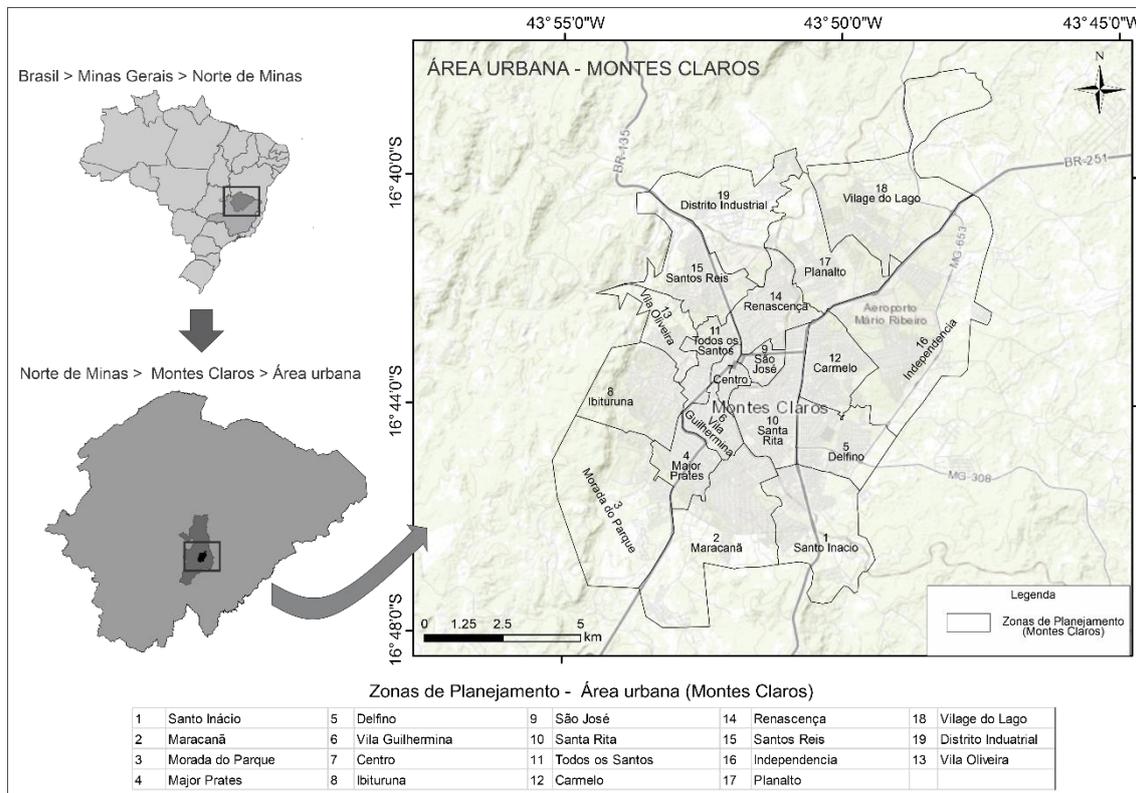
No norte de Minas Gerais, situa a sexta maior cidade do estado (Montes Claros). A cidade tem a característica de superexploração da infraestrutura urbana, com população altamente concentrada, com consequências negativa em termos de sombra e circulação do ar (Bolay, 2020). Portanto, é necessário análise da dinâmica de temperatura em escala espaço-temporal e observar possíveis relações com variáveis que expliquem o possível aumento de TS e formação de ICU. Considerando essa premissa, o estudo tem dois objetivos: (i) identificar a dinâmica TS em série temporal a partir de dados do satélite, e formação ICU considerando o aumento de (Surface urban heat islands); e (ii) observar correlações estatísticas que explique aumento de TS com determinadas condições ambientais dadas meio da topografia, vegetação, e densidade urbana.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo é a cidade de Montes Claros situada no norte do estado de Minas Gerais (-16° 43' latitude sul e - 43 ° 51' longitude oeste) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A população estimada em 404.804 habitantes (Ibge, 2018), mas se configura um polo urbano de dois milhões de habitantes (Bolay, 2020). A temperatura média anual é de 24,2 °C, mas excede ocasionalmente ~39 °C. O período chuvoso é de outubro a março, com uma precipitação anual de 1.082 mm (Leite e Pereira, 2008).

Figura 1. Localização geográfica da área urbana de Montes Claros e identificação de zonas de planejamento urbano.



Fonte: Elaborado pelos autores. Base de dados Prefeitura Municipal de Montes Claros.

Procedimentos metodológicos

Temperatura de Superfície

Imagens do satélite Landsat foram coletados gratuitamente por meio do site oficial do Serviço de Pesquisa Geológica dos Estados Unidos (USGS, 2016). Para satélite Landsat 5 as datas foram, 29/08/1991, 29/08/2001, 20/08/2012 e Landsat 8 do dia 08/08/2018. O satélite Landsat-5 possui vantagens especiais na obtenção de imagens de longo prazo, pois possui mais de 30 anos de dados disponíveis. Além disso, possui resolução espacial padronizada de 30 m para bandas multiespectrais e 120 m para a banda de infravermelho térmico, interpoladas para 30 m. As imagens Landsat-8 representam dados do último ano, para complementar nosso conjunto de dados, onde a imagem termal tem resolução original de 100 m e interpolada para 30 m (USGS, 2016). Esses produtos de imagem foram selecionados com base em três considerações: (i) representar a mesma estação, no mesmo mês; (ii) a imagem ter boa qualidade, com menos nuvens; (ii) sem precipitação nos dias próximos ao período.

As imagens pertencem ao conjunto da USGS - Level-1 products, e são consideradas apropriadas para análises espaço-temporal, com georegistro consistente e um RMSE de $\leq 0,5$ pixel (Firozjahi et al., 2020), porém, os dados não são corrigidos para efeitos atmosféricos. Na correção atmosférica, foi utilizado o módulo ATCOR2 do software Erdas. O procedimento envolve inserção dos dados, como hora de aquisição de imagem pelo satélite, elevação do



sensor, posição geográfica da região, ângulo de radiação solar, e um modelo atmosférico (tropical urbano) (Santos et al., 2017). Posteriormente, foram separadas as bandas termais referentes a cada sensor e utilizadas para o cálculo de TS. Para o sensor Landsat 5 é a banda 6, no Landsat 8 é banda 10.

A estimativa de TS foi com uso do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algoritmo for Land) (Bastiaanssen et al., 1998). Consiste em um algoritmo paramétrico para estimativa do balanço de energia em qualquer produto orbital que registre a radiância e emissividade terrestre. A eficiência do SEBAL é relatada para diversos ecossistemas (Santos et al., 2011; Feizizadeh e Blaschke, 2012; Silva et al., 2020). O método SEBAL estima TS a partir da radiância térmica corrigida (Rc). Para esse parâmetro, a princípio são necessários calcular três parâmetros, os quais envolvem a aplicação de outras equações para adquirir determinados dados, conforme detalha Feizizadeh et al. (2013). Os principais procedimentos, envolve calcular a emissividade na banda térmica, para a radiância espectral ($L\lambda$), os valores de refletividade em cada banda ($\rho\lambda$), e o albedo de superfície (α) (Allen et al., 2002). Os procedimentos e formulas são descritas em Feizizadeh et al. (2013).

A radiância espectral ($L\lambda$) é a energia radiante no topo da atmosfera, que é detectada pelos sensores do satélite (Equação 1).

$$L\lambda = \frac{L_{max} - L_{min}}{255} * ND + L_{min} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: L_{max} e L_{min} correspondem as radiâncias espectrais máximas e mínimas ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), ND são intensidade do pixel (número inteiro de 0 a 255 no caso do Landsat 5, e 0 a 64.000 no Landsat 8).

A refletividade de uma superfície ($\rho\lambda$) é a relação entre a energia refletida e a quantidade de energia que atinge a superfície. A quantidade de reflexão é calculada para cada banda (Equação 2)

$$\rho\lambda = \frac{\pi L\lambda - L_{min}}{ESUN\lambda * \cos \theta * dr} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde $\rho\lambda$ é a refletividade espectral para cada banda, $ESUN\lambda$ é a média para cada banda de radiação solar que atinge o topo da atmosfera ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$), específica para sensores Landsat. θ é ângulo de incidência da radiação solar (Feizizadeh et al., 2013). dr é o inverso da distância quadrada entre a Terra e o Sol (Allen et al., 2002).

O albedo é a proporção da radiação incidente do sol refletida da superfície (Feizizadeh et al., 2013) (Equação 3)

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path-radiance}}{\tau_{sw}^2} \quad \text{Eq. 3}$$

onde α_{toa} é o albedo do topo da atmosfera, $\alpha_{path-radiance}$ é o albedo que é causado pela radiação efetiva, e τ_{sw}^2 é a atmosférica. A determinação desses parâmetros são descritas em Allen et al. (2002); Feizizadeh et al. (2013).



Além desses parâmetros, no método SEBAL são utilizadas duas radiações de superfície: a primeira para a energia térmica emitida em uma faixa térmica estreita (λ_{NB}) de 10,4 a 12,5 microns; e o segundo em uma ampla faixa térmica (λ_0) de 6 a 14 microns. O valor λ_{NB} é usado para calcular a temperatura da superfície (T_s) (Allen et al., 2002).

$$\lambda_{NB} = 0,97 + 0,00331 \cdot IAF \quad \text{Eq. 4}$$

Em que, no caso dos pixels utilizando IAF (índice de área foliar) considera-se $\lambda_{NB}=0,98$, no caso onde se usa pixels NDVI < 0 (índice de vegetação normalizada), considera-se $\lambda_{NB}=0,99$. (Feizizadeh et al., 2013).

A partir dos parâmetros aplicados, se obtém variáveis para calcular a Radiância térmica corrigida (R_c) (Equação 5).

$$R_c = \frac{L_{NB} - R_p}{\tau_{NB}} (1 - \epsilon_{NB}) R_{sky} \quad \text{Eq. 5}$$

onde L_{NB} é a radiância da banda térmica, R_p é a radiância do curso da banda térmica, R_{sky} é a radiância na banda térmica para condições de céu claro e τ_{NB} é a capacidade de transição atmosférica na banda térmica (Feizizadeh et al., 2013).

Por fim, é determinada temperatura da superfície em (K) (Equação 6), e utilizando a relação $T^{\circ}C = TK - 273,5$ a temperatura de Kelvin é convertida $^{\circ}C$.

$$T_s = \frac{K_2}{\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{R_c} + 1\right)} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde ϵ_{NB} é a emissividade das superfícies de banda estreita, R_c é a radiância térmica corrigida da superfície e K é a radiância espectral da banda térmica.

Ilhas de calor Urbana

A partir de dados de T_s das imagens são identificadas as áreas com maiores ganho de temperatura em relação a média. Segundo a proposta de Trindade et al. (2017), áreas com diferenças positivas superiores a $3^{\circ}C$ em relação à média, é indicativo de formação de ICU (Equação 7). Na área de estudo, por ser uma região de climas seco, com tendência natural a aumento de temperatura, foi considerado como zonas de ICU áreas com ganhos de $4^{\circ}C$ acima da média/período.

$$Dift = B1 - Tmed \quad \text{Eq. 7}$$



Em que, $DifT$ é a diferença entre a temperatura de cada pixel e a média de temperatura de toda área; $B1$ corresponde a imagem em temperatura de superfície; $Tmed$ é o valor de temperatura média na imagem.

Variáveis de correlação

As variáveis geomorfológicas e relacionadas ao uso da terra influenciam as variações espaciais de temperatura. Considerando geomorfológicas, o dado base foi imagem de radar SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) (1 arco segundo - 30 m) (USGS, 2016), com extração de covariáveis com uso do software SagaGis, a saber, DAH (Diurnal Anisotropic Heating) um indicador de diferença de aquecimento em relação a inclinação do terreno e face de exposição (Cristea et al., 2017). TWI (Topographic Wetness Index), estimado pela relação área contribuinte e o declive local, é comumente utilizado para quantificar o controle topográfico em processos hidrológicos, e correlação com umidade no solo (Grabs et al., 2009; Raduła et al., 2018). EAFH (Effective Air Flow Heights) indicador de direção do vento, começando com 0 para Norte e aumentando no sentido horário (Böhner e AntoniĆ, 2009). Por fim, dados de radiação solar e face de exposição de vertentes.

Em relação a variáveis de uso da terra, a geometria urbana e densidade urbana, um aspecto de estreita relação com ICU (Kardinal Jusuf et al., 2007; Gartland, 2011). A partir da base da distribuição de logradouros da cidade de Montes Claros, foi realizado um mapa de densidade, utilizando polígonos referente construções, e cada polígono convertido em ponto, e gerado um mapa de densidade com a função kernel density do software Arcgis. Referente ao mês de agosto de 2018, um mapa de índice de vegetação normalizada (NDVI) médio/mensal, foi elaborado para identificar correlação com temperatura e áreas verdes.

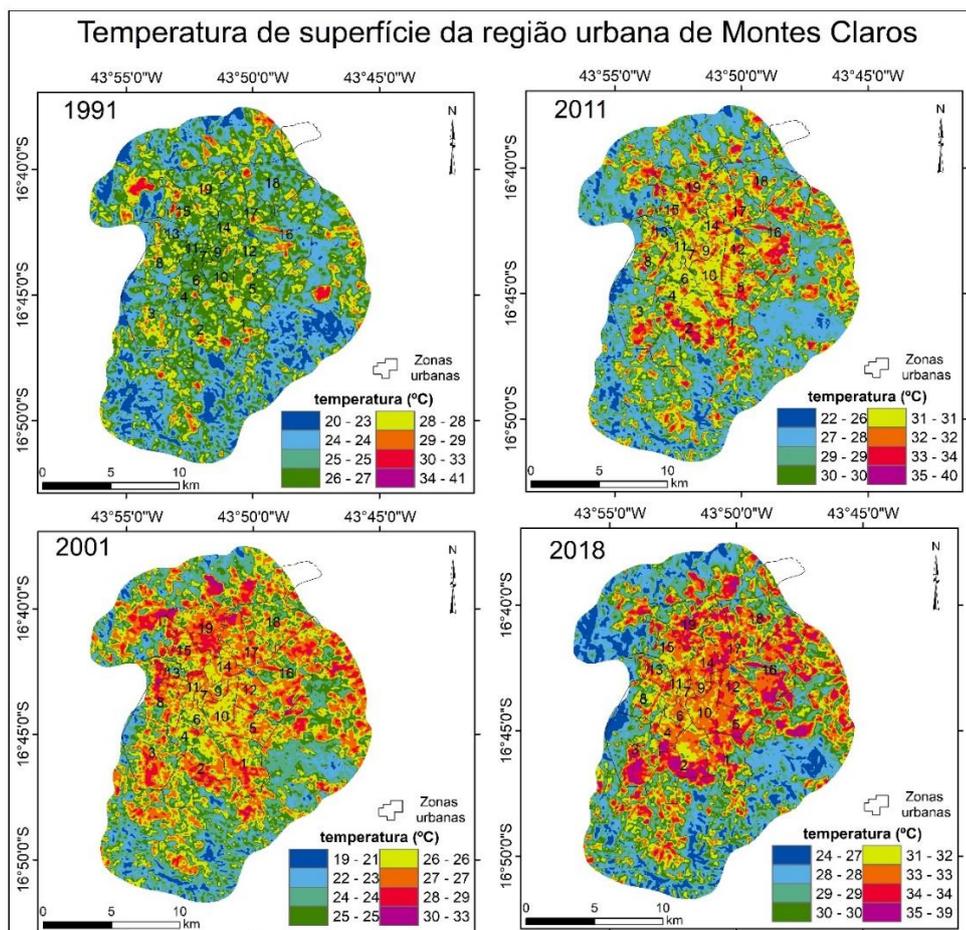
Análise estatística

Considerando limites da área urbana, uma grade irregular de pontos com distância mínima de 1 km foi plotada e foram extraídos os valores de TS e variáveis topográficas (DAH, EAHF, TWI) e relacionadas ao uso da terra (NDVI e densidade urbana). Nos dados, testes de correlação Pearson que mensura o grau de associação ou distanciamento linear entre variáveis quantitativas foi aplicada. Além disso, análise estatística multivariada (Análise de componente principal -ACP), que reduz sobreposições e seleciona as formas mais representativas a partir de combinações lineares foram aplicadas (Souza et al., 2018). Ao final, o critério de Kaiser (Kaiser, 1960) para reduzir o número de variáveis e de componentes principais, na qual componentes com autovalor $< 1,00$ possuem baixa significância foi aplicado.

RESULTADOS

Temperatura de superfície e ilhas de calor

Considerando a temperatura de superfície (TS) na área urbana e adjacências da cidade de Montes Claros, houve uma variação do intervalo de TS de 19 a 41,2 °C nos anos de 1991, 2001, 2011 e 2018 para os meses de agosto. Em 1991 e 2001 houve maiores máximas de TS, mas a média nesses períodos não são efetivamente altas. Ao longo dos anos ano houve aumento de áreas com de TS elevada, influenciando na média ao longo dos anos, conforme a seqüência 25,0, 29,1, 24,9, e 30,1 °C (

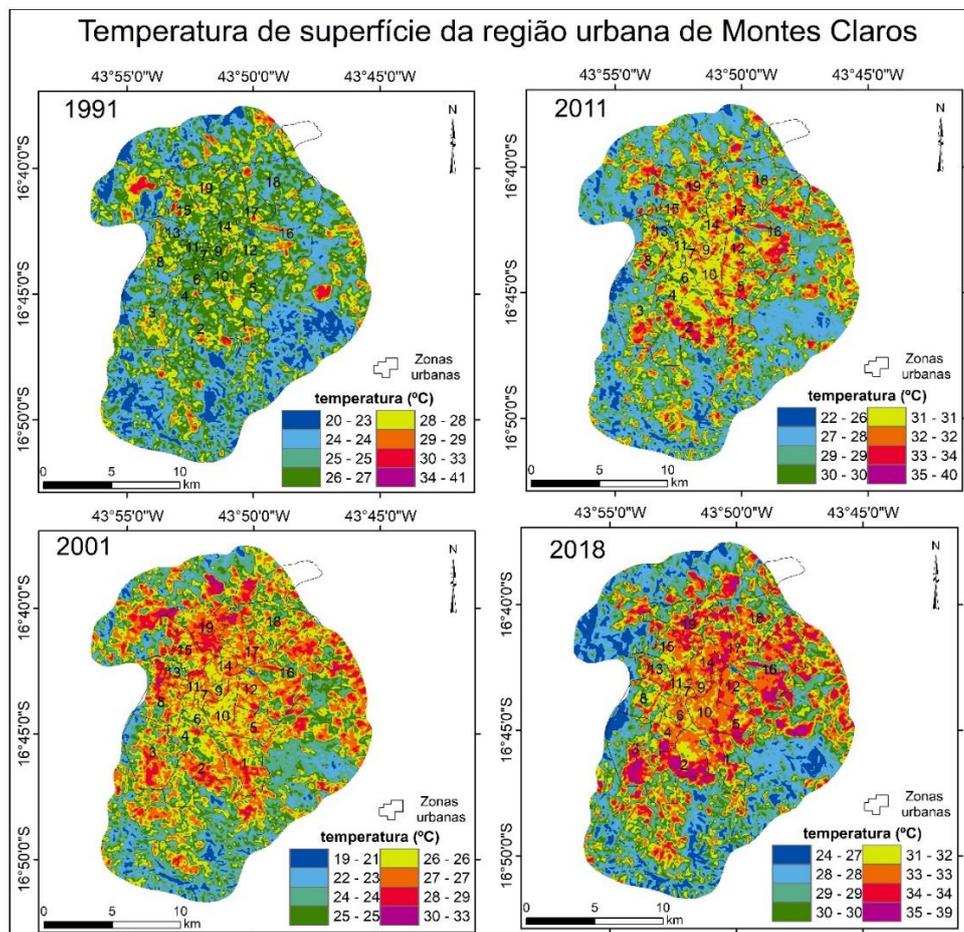


e Erro! Fonte de referência

não encontrada.)

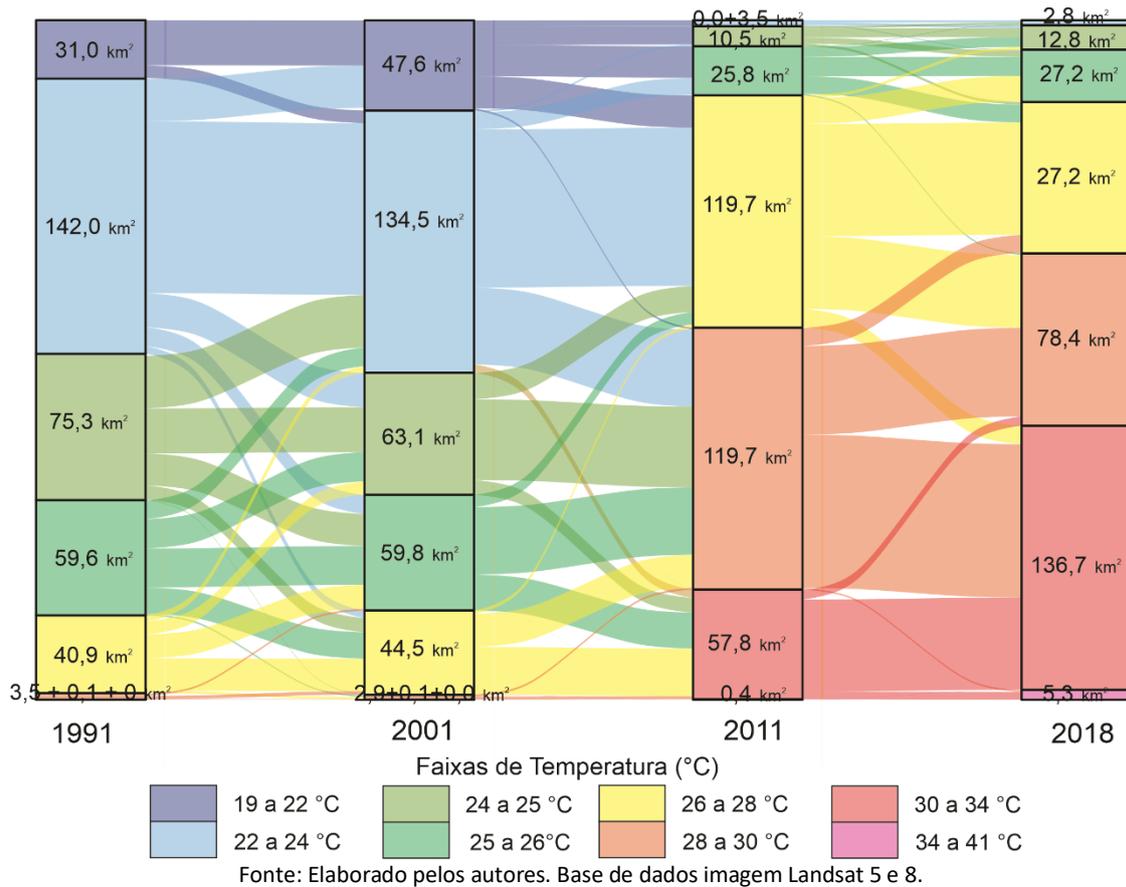
Em agosto de 1991 foi o período de maior temperatura (20 a 41,2 °C), porém predominando faixas de 25 a 27 °C nos limites das zonas urbanas. Nos anos seguintes há uma tendência de conversão de faixas de TS mais baixas para maiores, a exemplo, ano de 2001, regiões com TS de 19 a 22 °C convertem para faixas de 26 °C a 29 °C em 2011 (Erro! Fonte de referência não encontrada.). Além disso, as TS mais altas ocorrem com maior frequência no perímetro urbano a partir de 2001. Nessa tendência, considerando a dinâmica espacial, em 2011, 33% da área tinha faixas de TS ~28 °C, após sete anos essas áreas registram temperaturas entre 30 a 34 °C, e essa classe ocupou 38% da área de estudo em 2018.

Figura 2. Temperatura de superfície da área de estudo referente aos anos de 1991, 2001, 2011 e 2018.



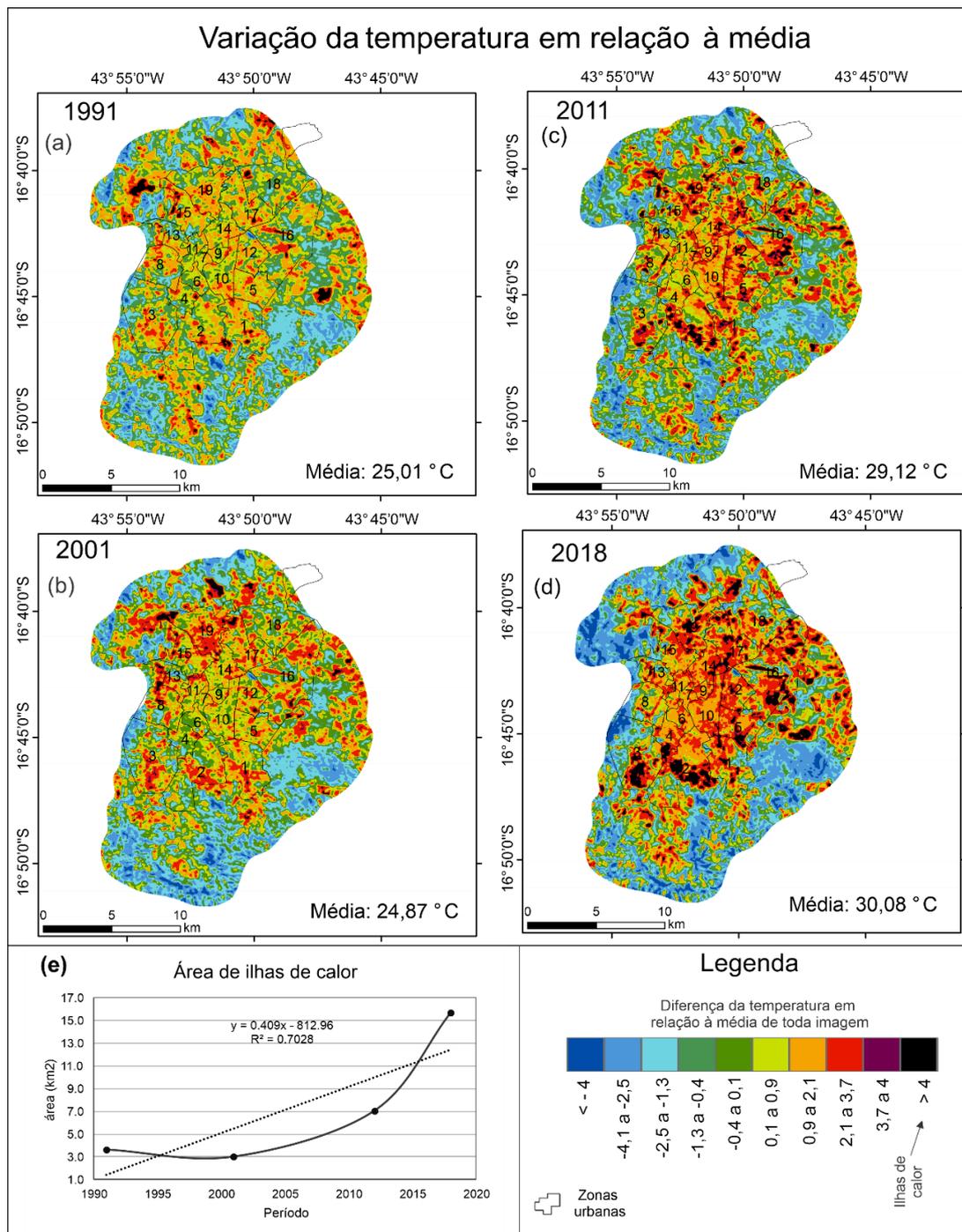
Fonte: Elaborado pelos autores. Base de dados imagem Landsat 5 e 8.

Figura 3. Gráfico de conversão de faixas de temperatura ao longo do período dos meses de agosto de 1991, 2001, 2011 e 2018.



A variação de TS de cada período em relação à média indicou áreas com maiores ganhos de temperatura em cada ano (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Aumentos de ~4 °C é indicativo de ICU, e nessa categoria houve entre 1991 a 2018, um aumento de área 333% de ICU (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**E). Em 1991, áreas de ICU prevaleciam nas adjacências do perímetro urbano, com área 3.62 km². O padrão de distribuição geográfica altera a partir de 2001, que embora apresente uma redução de área da ICU, porém, as regiões com maior ganho de TS aumentam no perímetro urbano. Esse aspecto mais evidente em 2012 e 2018, com concentração e aumento de áreas de ICU no interior da área urbana, com área de 7,0 e 15,6 km², respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**e). Ao observar as faixas de temperatura da superfície, elas são altas e decrescem na ordem das seguintes formas de uso: solo exposto, aeroportuária, uso da terra industrial/comercial, residencial, parque/vegetação arbórea e corpos d'água.

Figura 4. (a,b,c,d) Representação das ilhas de calor urbanas de cada período. (e) Variação das áreas das ilhas de calor no período analisado.



Fonte: Elaborado pelos autores. Base de dados imagem Landsat 5 e 8.

Correlações estatísticas (TS e variáveis)

Considerando os dados de TS em cada período, existe uma crescente e positiva correlação entre os anos indicando aumento das faixas de temperatura entre de 1991 a 2018 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Além disso, o aumento de TS é acompanhado pela elevação do nível de radiação solar, maior densidade urbana, e de maneira intrigante com áreas topográficas de maior umidade (índice TWI). Por outro lado, as correlações



negativas indicou que áreas de menor temperatura possuem valores altos nas variáveis índice de verde (NDVI), elevação (MDE), fluxos de ar (EAFH- Effective Air Flow Heights), e também de maneira intrigante com níveis de aquecimento (DAH- Diurnal Anisotropic Heating) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Tabela 1. Matrix de correlação entre temperatura de superfície e variáveis ambientais.

Variáveis	T °C 2018	T °C 2011	T °C 2001	T °C 1991	DAH	EAFH	TWI	Dens. Urb	Altitude	Rad. solar	NDVI
T °C 2018	1.00										
T °C 2011	0.83	1.00									
T °C 2001	0.73	0.77	1.00								
T °C 1991	0.60	0.63	0.71	1.00							
DAH	-0.18	-0.27	-0.36	-0.26	1.00						
EAFH	-0.32	-0.26	-0.35	-0.26	-0.07	1.00					
TWI	0.11	0.08	0.12	0.07	0.02	-0.22	1.00				
Dens. Urb	0.28	0.27	0.15	0.16	0.02	-0.21	0.07	1.00			
Altitude	-0.49	-0.39	-0.49	-0.34	-0.07	0.67	-0.32	-0.28	1.00		
Rad. solar	0.15	0.19	0.21	0.14	-0.82	0.18	0.05	0.01	0.13	1.00	
NDVI	-0.67	-0.57	-0.42	-0.36	0.04	0.17	-0.05	-0.36	0.27	-0.10	1.00
Legenda											

T °C: temperatura de superfície no mês de agosto de 1991, 2001, 2011 e 2018; DAH: Diurnal anisotropic heating; EAFH: Effective air flow heights; TWI: Topographic wetness index; Dens urb: Densidade urbana; Alt: altitude em metros; Rad solar: radiação solar total; NDVI: Normalized difference vegetation index. Fonte: Elaborado pelos autores. Base de dados imagem Landsat 5 e 8 e dados de imagem SRTM.

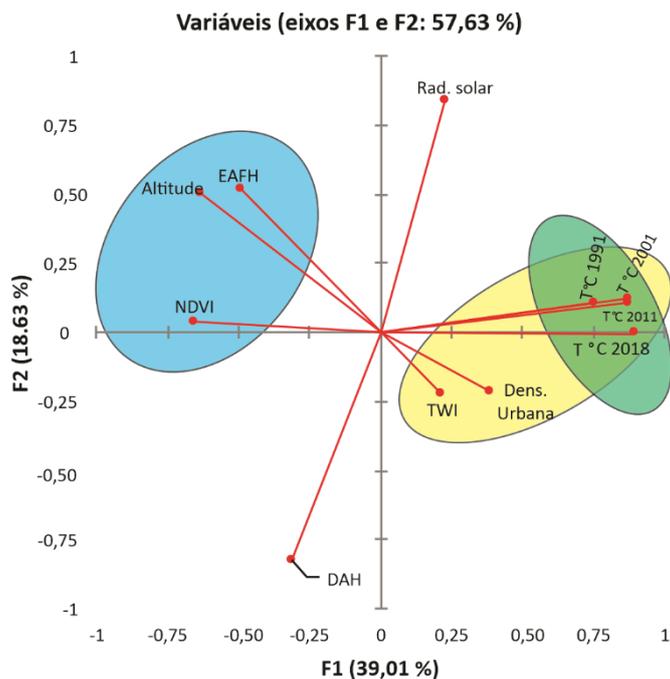
Na seleção de variáveis a partir da PCA, quatro foram relevantes com base no critério Kaiser (Kaiser, 1960) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), e conjuntamente explicam 77,49% da variação dos dados. O primeiro componente inclui a variável mais importante, e houve a seleção de TS do ano de 2018, com carga de explicação baixa de 18,53%, pois a informação é análoga aos dados de outros períodos, os quais possuem valores de contribuição semelhantes no componente (CP1). Na ordem dos componentes seguintes, a carga de explicação aumentou até 55,50%, com seleção de radiação solar (34,50%), índice de umidade topográfica (36,10%) e densidade urbana (55,50%). Considerando o gráfico de vetores de PCA, as variáveis dos quatro primeiro componentes tem maior relação, pois estão no mesmo eixo, embora TWI apresente uma relação mais baixa (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). No eixo contrário, indicando relação antagônica, ocorre NDVI, Altitude, EAHF, e DAH,

Tabela 2. Autovalor, variabilidade e porcentagem explicada pelos quatro primeiros componentes principais.

Variáveis	Componentes Principais			
	CP1	CP2	CP3	CP4
Contribuições das variáveis (%):				
T °C 2018	18,53	0,00	3,26	0,13
T °C 2011	17,82	0,56	3,23	0,77
T °C 2001	17,61	0,72	0,23	7,80
T °C 1991	13,06	0,60	0,21	10,05
DAH	2,28	33,34	7,76	0,51
EAFH	5,63	13,38	12,88	0,52
TWI	1,04	2,43	36,10	9,26
Dens, Urbana	3,40	2,20	4,11	55,50
Altitude	9,35	12,32	10,17	0,00
Rad, solar	1,22	34,35	6,27	6,95
NDVI	10,08	0,09	15,77	8,51
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Autovalor	4,29	2,05	1,20	1,0
Variabilidade (%)	39,01	18,63	10,92	8,93
% acumulada	39,01	57,63	68,56	77,49

T °C: temperatura de superfície no mês de agosto de 1991, 2001, 2011 e 2018; DAH: Diurnal anisotropic heating; EAFH: Effective air flow heights; TWI: Topographic wetness index; Dens urbana: Densidade urbana; Alt: altitude em metros; Rad solar: radiação solar total; NDVI: Normalized difference vegetation index. Fonte: Elaborado pelos autores. Base de dados imagem Landsat 5 e 8 e dados de imagem SRTM.

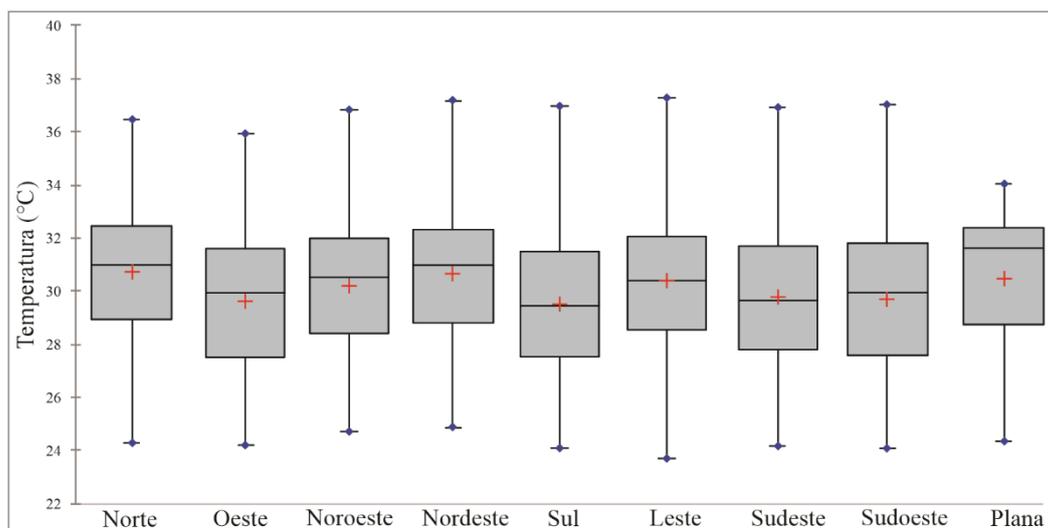
Figura 5. Relação e agrupamento entre variáveis de temperatura e dados ambientais, resultantes da análise de componente principal. (CP1 vs CP2). T °C: temperatura de superfície no mês de agosto de 1991, 2001, 2011 e 2018; DAH: Diurnal anisotropic heating; EAFH: Effective air flow heights; TWI: Topographic wetness index; Dens urbana: Densidade urbana; Alt: altitude em metros; Rad solar: radiação solar total; NDVI: Normalized difference vegetation index.



Fonte: Elaborado pelos autores, com base em software R

O comportamento de TS em diferentes faces de exposição do relevo indicaram que as vertentes direcionadas para norte e nordeste tem uma concentração dos valores (75%) em faixas de temperaturas mais alta, porém, outras faces do relevo não diferem fortemente desse padrão (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 5. Representação gráfica (média, mediana, 1º e 3º Quartil, e valores máximo e mínimo) da temperatura de superfície (08/2018) em relação a face de exposição do relevo



Fonte: Elaborado pelos autores. Base de dados Imagem SRTM e imagem Landsat 5 e 8.

DISCUSSÃO

Correlações estatísticas (TS e variáveis)



Na área de estudo, a TS aumentou ao longo de 1991 a 2018 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), com alta correlação entre os períodos, indicado pela PCA e testes Pearson (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Esse comportamento mostra que áreas de maior TS em anos anteriores, aumentaram a temperatura nos anos seguintes. Estudos climáticos regionais atestam esse padrão, pois entre 1960 e 2010 houve aumento da temperatura máxima e mínima, mas sem alteração expressiva dos índices de precipitação (Ávila et al., 2014). Esse aumento pode ter relação com vários aspectos, pois a TS não depende exclusivamente do uso e cobertura da terra. Outros fatores ambientais, a exemplos, umidade da superfície, intensidade da radiação solar e velocidade do vento, feições topográficas influenciam (Estoque e Murayama, 2017; Martilli et al., 2020).

Na cidade, entre variáveis de maior influência na TS é a dinâmica de evolução e crescimento das áreas urbanas (Amorim, 2019; Wu et al., 2019; Nadizadeh Shorabeh et al., 2020; Sultana e Satyanarayana, 2020). Em Montes Claros, as correlações estatísticas confirmam esse efeito, houve uma correlação crescente ao longo dos anos com o nível de densidade urbana. Atribui-se esse aspecto ao arranjo estrutural e densidade urbana, e formas de uso relacionadas, influenciando no aumento da temperatura em determinadas zonas da cidade (Gomes e Lamberts, 2009; Fonseca, 2010; Bolay, 2020).

Outras variáveis também foram importantes na explicação de dinâmica de TS. As áreas de cotas mais elevada atenuam o aumento TS, aspecto evidente pela correlação negativa MDE e TS (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Esse comportamento ocorre, pois em altitude há um processo de gradiente adiabático, reduz a pressão, favorece a expansão do ar, e conseqüente resfriamento (Gartland, 2011). Além disso, em setores de cotas elevadas, há maior circulação do ar e reduz a magnitude do aumento da temperatura (Gartland, 2011), e isso explica a correlação negativa entre TS e índice Effective Air Flow Heights. Contudo, a cidade de Montes Claros, em maior parte situa em condição de relevo aplainado e abaciada, portanto, altitude e índice circulação do ar baseado nas feições do relevo não são fatores decisivos para redução de TS na maior parte da cidade.

Considerando característica geomorfológica da cidade de Montes Claros, com relevo tendencialmente plano em posição de relevo depressional, uma geomorfologia contribuinte a maior umidade no solo, o qual gera uma redução TS (Martilli et al., 2020). Um índice topográfico de boa correlação com umidade no solo é TWI (Topographic Wetness Index) (Raduła et al., 2018). Contudo, embora a TWI é a terceira variável mais importante pelo modelo de PCA (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), a correlação foi positiva, ainda que baixa, com aumento de TS. Esse comportamento inesperado pode ter relação com a limitação da variável, pois direções de fluxo em área plana a partir de MDE SRTM não são bem definidas (Grabs et al., 2009). Além disso, várias áreas mais baixa da cidade possuem pavimentação, e não reflete condições naturais de manutenção de umidade, infiltração de água no solo, contribuindo para aumento de TS.



O fator natural de radiação solar da região de Montes Claros contribui para aumento de TS, pois houve correlação positiva entre as variáveis (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Um fator importante para controlar essa predisposição natural é a presença de áreas vegetadas. A planta tem capacidade de absorver parte da radiação solar, reflete parte para atmosfera, e gera sombreamento das áreas, isso resulta positivamente no conforto térmico em centros urbanos (Wang e Akbari, 2016). Contudo, em Montes Claros, a correlação negativa entre TS e NDVI (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), ratifica que setores de maior TS tem baixa cobertura vegetal, inclusive a variável NDVI é posicionada em sentido antagônico aos dados de TS (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

O índice de Diurnal Anisotropic Heating, indicador de áreas de maior calor, mostrou correlação linear negativa. Presumivelmente, isso é pelo fato do índice considerar que faces voltada para o sul com maior radiação (Cristea et al., 2017). Essa característica não é aplicável para regiões do hemisfério sul, nessa condição, vertentes direcionadas para norte e oeste tem maior período de incidência solar (Passos et al., 2017; Souza et al., 2019). Em áreas de maior incidência, aumenta temperatura, reduz disponibilidade hídrica na superfície, afetando inclusive porte e desenvolvimento de vegetação (Matos et al., 2008; Passos et al., 2017; Souza et al., 2019). No entanto, a posição da vertente não é um fator determinante para TS mais elevada no ano de 2018, embora face norte e nordeste concentre valores altos de TS (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A condição de relevo tendencialmente plana na cidade, explica essa baixa influência das vertentes na TS, e a maioria possuem distribuição dos valores TS semelhantes (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Dinâmica de Ilhas de calor urbana

Além do efeito da correlação estatística da densidade urbana e aumento de TS, a dinâmica espacial de TS, com aumento médio de 25 para 30 °C ao longo de 1991 a 2018, mostra que fatores de expansão, adensamento, e construções urbanas contribuem para aumento e formação de ilhas de calor (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). O contexto histórico da evolução demográfica, econômica, e construção urbana é uma explicação plausível para aumento de TS em Montes Claros. Até a década de 1980, a atividade industrial dominava a economia de Montes Claros, a partir de 1990 os investimentos neste setor reduziram (Bolay, 2016). Alternativamente, o setor de serviços tornou-se o principal componente do PIB municipal e contribuiu para acelerar o processo de urbanização (Leite e Pereira, 2008; França et al., 2009; Bolay, 2020). Em 1990 a população urbana de Montes era de 227,76 mil hab, em 2010 houve um crescimento de 51,2 % da população urbana (344.43 mil hab) (Ibge, 2018).

O aumento populacional, demanda novas áreas urbanas, mas o crescimento de Montes Claros em muitos casos foi intraurbano (Bolay, 2016). Entre 1990 a 2000, a cidade aumentou o crescimento vertical, com



novas infraestruturas e reforma dos espaços públicos, principalmente no centro da cidade, com reestruturação das ruas da cidade com grandes vias de tráfego (França e Almeida, 2015; Bolay, 2016). Entre as consequências do intenso processo de urbanização foi aumento de temperatura em relação as formações naturais, conforme estudos anteriores na região (Pereira et al., 2017; Leite et al., 2018).

Determinadas formas de uso do solo urbano de Montes Claros, contribuem de forma mais eficiente para aumento de TS, e as áreas de solo exposto são as áreas de maior ganho de TS. Considerando o período de 2018, essas áreas prevalecem em partes periféricas da cidade, caracterizadas por áreas de novos loteamentos e vetores de crescimento da cidade na parte sul e leste (Bairros: Morada do Parque, Maracanã, Independência e Delfino) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Áreas de solo exposto têm maior capacidade reflexiva (albedo), além disso, a ausência quase que completa de vegetação no entorno, não atenua o aumento de TS. Resultado semelhante também foi encontrado por Amorim (2019), pois altas intensidades de TS tinha relação com conjunto habitacional de menor padrão construtivo.

Na região central e pericentral da cidade, onde há construções consolidadas, as áreas > 4 °C em relação à média (ICU), são construções aeroportuárias. Nesses setores, a ausência de vegetação cria um hotspot de temperatura. Condição similar acontece também na área do shopping Montes Claros, uma construção com cobertura metálica na edificação, e também em zona do distrito industrial. Essas formas de uso gera uma redução das superfícies de evaporação e coloca mais energia no calor sensível e menos no calor latente (Kardinal Jusuf et al., 2007).

Apesar da correlação entre densidade urbana e aumento de TS (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), a presença das áreas consideradas com 4 °C acima da média não tem relação predominantemente com construções. A presença de fatores mitigadores do aumento da temperatura explica esse padrão, pois 56% das vias públicas possui arvores, jardins e canteiros (Ibge, 2018), um aspecto importante para reduzir o efeito de aumento de TS ao longo do dia (Gomes e Lamberts, 2009). Além disso, em regiões de clima mais seco, caso de Montes Claros, a estratégia de mitigação ICU por meio de aumento de áreas verdes é mais eficiente, em relação as áreas úmidas (Manoli et al., 2019).

Além do componente arborização, a presença de edificações reduz o efeito de altas temperaturas pelo sombreamento (Emmanuel, 2012). Por outro lado, zonas de baixa densidade construída e áreas de baixa verticalização, recebem maior quantidade de radiação direta incidente durante o dia (Souza et al., 2010; Rocha et al., 2011), e isto também explica regiões periféricas de Montes Claros, com baixo nível de vegetação ter muitas áreas de 4 °C acima da média/período. Portanto, a estratégia de aumentar áreas verdes nos centros urbanos é eficiente para controle de temperatura e conforto térmico



CONCLUSÕES

O estudo de temperatura de superfície por sensores remotos e o uso de algoritmos permitiu uma análise cronológica e espacial do comportamento térmico. Os dados termais apontam um aumento médio 6 °C, com crescente conversão de zonas de menor temperatura para faixas mais altas ao longo de 1991 a 2018, com alta correlação positiva e crescente entre os períodos.

A abordagem com análise de componentes principais (PCA) e testes de correlação foi eficiente para indicar variáveis explicativas e relacionadas a dinâmica de TS. Portanto, fatores naturais de radiação solar, altitude, índice de circulação do vento, e face de exposição de vertente influenciam na dinâmica de TS. Porém, o aumento dessa variável tem melhor relação com aspectos antrópicos de densidade urbana e menor nível de vegetação (NDVI).

As regiões de crescimento da cidade com baixa vegetação e presença de solo exposto são áreas que possuem tendência a formar ilha de calor (> 4 °C acima da média/período). Nas áreas de construções consolidadas, fatores de sombreamento e presença de arborização favorece em alguns locais decréscimo da temperatura. Em contexto geral, a redução do problema de ICU deve focar no planejamento de uso da terra e aumento de áreas verdes.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – pelo apoio a bolsa do PNPd/CAPES (Programa Nacional de Pós-Doutorado/Capes). Número do Processo:88882.315083/2019-01.

REFERÊNCIAS

- Allegrini, J., Carmeliet, J. Simulations of local heat islands in zürich with coupled cfd and building energy models. **Urban Climate**, v.24. p.340-359. 2018.
- Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R., Bastiaanssen, W.J.K.I.I., **Surface energy balance algorithm for land (sebal)–advanced training and users manual**. University of Idaho: Kimberly, ID, USA, 2002. 98 p.
- Amorim, M.C.D.C.T. Ilhas de calor superficiais: Frequência da intensidade e variabilidade espacial em cidade de clima tropical continental. **Geo UERJ**, n. 34, p.409-459. 2019.
- Ávila, L.F., Mello, C.R.D., Yanagi, S.D.N.M., Sacramento Neto, O.B. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no estado de minas gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49. p.247-256. 2014.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.a.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (sebal). 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v.212-213. p.198-212. 1998.
- Böhner, J., AntoniĆ, O., Chapter 8 land-surface parameters specific to topo-climatology. In: T. Hengl, H.I. Reuter (Eds.) **Developments in soil science**. Elsevier, 2009. 195-226.
- Bolay, J.-C. Prosperity and social inequalities: Montes claros, how to plan an intermediary city in brazil. **Current Urban Studies**, v.4. n. 2, p.175-194. 2016.



- Bolay, J.-C., An intermediate city in brazil: Between inequalities and growth. In: J.-C. Bolay (Eds.) **Urban planning against poverty: How to think and do better cities in the global south**. Cham: Springer International Publishing, 2020. 121-165.
- Brasil, P. Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca. **PAN-Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente**, 2004.
- Cristea, N.C., Breckheimer, I., Raleigh, M.S., Hillerislambers, J., Lundquist, J.D. An evaluation of terrain-based downscaling of fractional snow covered area data sets based on lidar-derived snow data and orthoimagery. **Water Resources Research**, v.53. n. 8, p.6802-6820. 2017.
- Emmanuel, R., **An urban approach to climate sensitive design: Strategies for the tropics**. London: Taylor & Francis, 2012. 208 p.
- Estoque, R.C., Murayama, Y. Monitoring surface urban heat island formation in a tropical mountain city using landsat data (1987–2015). **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.133. p.18-29. 2017.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., Akbari, E., Kohbanani, H.R. Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite imagery in maraqeh county, iran. **Journal of Environmental Planning and Management**, v.56. n. 9, p.1290-1315. 2013.
- Firozjaei, M.K., Weng, Q., Zhao, C., Kiavarz, M., Lu, L., Alavipanah, S.K. Surface anthropogenic heat islands in six megacities: An assessment based on a triple-source surface energy balance model. **Remote Sensing of Environment**, v.242. p.111751. 2020.
- Fonseca, D.D.S.R. Análise bioclimática do bairro morada do parque de montes claros (mg). **Caminhos de Geografia**, v.11. n. 33, p.138-156. 2010.
- França, I.S., Almeida, M.I.S. O processo de verticalização urbana em cidades médias e a produção do espaço em montes claros/mg. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v.42. n. 2, 2015.
- França, I.S., Pereira, A.M., Soares, B.R., Medeiros, D.L.J.F. Cidade média, polarização regional e setor de educação superior: Estudo de montes claros, no norte de minas gerais. **Formação**, v.2. n. 16, 2009.
- Gartland, L., **Ilhas de calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 248 p.
- Gomes, P.S., Lamberts, R. O estudo do clima urbano e legislação urbanística: Considerações a partir do caso montes claros–mg. **Ambiente Construído**, v.9. n. 1, p.73-91. 2009.
- Grabs, T., Seibert, J., Bishop, K., Laudon, H. Modeling spatial patterns of saturated areas: A comparison of the topographic wetness index and a dynamic distributed model. **Journal of Hydrology**, v.373. n. 1, p.15-23. 2009.
- Ibge, 2018. **Instituto brasileiro de geografia e estatística - ibge cidades** <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/montes-claros/panorama> 15 abr. 2019.
- Imhoff, M.L., Zhang, P., Wolfe, R.E., Bounoua, L. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. **Remote Sensing of Environment**, v.114. n. 3, p.504-513. 2010.
- Kaiser, H.F. The application of electronic computers to factor analysis. **Educational and psychological measurement**, 1960.
- Kardinal Jusuf, S., Wong, N.H., Hagen, E., Anggoro, R., Hong, Y. The influence of land use on the urban heat island in singapore. **Habitat International**, v.31. n. 2, p.232-242. 2007.
- Leite, M.E., Pereira, A.M., **Metamorfose do espaço intra-urbano de montes claros/mg**. Montes Claros: Editora Unimontes, 2008. 208 p.
- Leite, M.R., Silva, L.A., De Magalhães Filho, R. Análise do comportamento da temperatura de superfície e fluxo de calor no solo: Um estudo de caso no perímetro urbano de montes claros, minas gerais. **Espaço Aberto**, v.8. n. 1, p.109-125. 2018.
- 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**, v.573. n. 7772, p.55-60. 2019.
- Marques, M.V.A., Moreira, A.A., Nery, C.V.M.J.B.D.G. Diagnóstico da desertificação na região norte de minas gerais por meio de técnicas de geoprocessamento. **Boletim de Geografia**, v.35. n. 2, p.99-116. 2017.
- Martilli, A., Krayenhoff, E.S., Nazarian, N. Is the urban heat island intensity relevant for heat mitigation studies? **Urban Climate**, v.31. p.100541. 2020.



- Matos, E.D.S., Mendonça, E.D.S., Lima, P.C.D., Coelho, M.S., Mateus, R.F., Cardoso, I.M. Green manure in coffee systems in the region of zona da mata, minas gerais: Characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32. p.2027-2035. 2008.
- Nadizadeh Shorabeh, S., Hamzeh, S., Zanganeh Shahraki, S., Firozjahi, M.K., Jokar Arsanjani, J. Modelling the intensity of surface urban heat island and predicting the emerging patterns: Landsat multi-temporal images and tehran as case study. **International Journal of Remote Sensing**, v.41. n. 19, p.7400-7426. 2020.
- Nakata-Osaki, C.M., Souza, L.C.L., Rodrigues, D.S. This – tool for heat island simulation: A gis extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry. **Computers, Environment and Urban Systems**, v.67. p.157-168. 2018.
- Oke, T.R., Mills, G., Voogt, J., **Urban climates**. Cambridge Cambridge University Press, 2017.
- Passos, R.R., Costa, L.M., Assis, I.R., Santos, D.A., Ruiz, H.A., Prata, G.L.a.D.O., Vaz, A.F. Least limiting water range of udox soil under degraded pastures on different sun-exposed faces. **intag**, v.31. n. 3, p.393. 2017.
- Pereira, B.R., Mees, M.B., Leite, M.R., Magalhães Filho, R. Análise da gestão ocupacional em montes claros–mg: Impactos do uso do solo e suas consequências na temperatura de superfície. **Cerrados**, v.15. n. 1, p.285-311. 2017.
- Raduła, M.W., Szymura, T.H., Szymura, M. Topographic wetness index explains soil moisture better than bioindication with ellenberg’s indicator values. **Ecological Indicators**, v.85. p.172-179. 2018.
- Rani, M., Kumar, P., Pandey, P.C., Srivastava, P.K., Chaudhary, B.S., Tomar, V., Mandal, V.P. Multi-temporal ndvi and surface temperature analysis for urban heat island inbuilt surrounding of sub-humid region: A case study of two geographical regions. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v.10. p.163-172. 2018.
- Rocha, L.M.V., Souza, L.C.L., Castilho, F.J.V.J.a.C. Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. **Ambiente Construído**, v.11. n. 3, p.161-175. 2011.
- Santos, T.C.C., Antunes, M.a.H., Seoane, J.C.S., De Sousa, G.M. Comparação de modelos de correção atmosférica para imagem worldview-2. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.69. n. 2, 2017.
- Santos, T.V., Fontana, D.C., Alves, R.D.C.M. Avaliação de fluxos de calor e evapotranspiração pelo modelo sebal com uso de dados do sensor aster. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.45. n. 5, p.488-496. 2011.
- Silva, J.S., Silva, R.M.D., Santos, C.a.G. Spatiotemporal impact of land use/land cover changes on urban heat islands: A case study of paço do lumiar, brazil. **Building and Environment**, v.136. p.279-292. 2018.
- Silva, L.A., Souza, C.M.P., Leite, M.E., Filgueiras, R. Estimativa da perda de água na apa do rio pandeiros, minas gerais. **Caderno de Geografia**, v.30. n. 62, p.768-768. 2020.
- Souza, C.M.P., Francelino, M.R., Costa, L.M., Fernandes Filho, E.I. Pastures degradation and the relation with pedo-geomorphological attributes in watershed. **Floresta e Ambiente**, v.26. 2019.
- Souza, C.M.P., Thomazini, A., Schaefer, C.E.G.R., Veloso, G.V., Moreira, G.M., Fernandes Filho, E.I. Multivariate analysis and machine learning in properties of ultisols (argissolos) of brazilian amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.42. p.1 - 20. 2018.
- Souza, L.C.L.D., Tente, C.M., Giunta, M.B., Nakata, C.M. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente construído**, v.10. n. 4, p.155-167. 2010.
- Sultana, S., Satyanarayana, A.N.V. Assessment of urbanisation and urban heat island intensities using landsat imageries during 2000 – 2018 over a sub-tropical indian city. **Sustainable Cities and Society**, v.52. p.101846. 2020.
- Trindade, P.M.P., Saldanha, D.L., Pereira Filho, W.J.R.B.D.C. Utilização do infravermelho termal na análise espaço temporal da temperatura de superfície e ilhas de calor urbanas. **Revista Brasileira de Cartografia** v.69. n. 4, 2017.
- USGS, 2016. **Earthexplorer** Disponível em:< <http://earthexplorer.usgs.gov>> 11 outubro 2020.
- Wang, Y., Akbari, H. The effects of street tree planting on urban heat island mitigation in montreal. **Sustainable Cities and Society**, v.27. p.122-128. 2016.
- Wu, X., Wang, G., Yao, R., Wang, L., Yu, D., Gui, X. Investigating surface urban heat islands in south america based on modis data from 2003–2016. **Remote Sensing**, v.11. n. 10, p.1212. 2019.