

Proposta metodológica para avaliação da transformação do microclima urbano em cidades de porte médio: um estudo de caso na malha urbana do município de Paracatu, Minas Gerais

Methodological proposal for evaluating the transformation of urban microclimate in medium-sized cities: a case study in the urban mesh of the municipality of Paracatu, Minas Gerais

Arthur Pereira dos Santos *, Henzo Henrique Simionatto **

* Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Universidade Estadual Paulista (UNESP/ Sorocaba – SP), arthur.p.santos@unesp.br

** Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Estadual Paulista (UNESP/ Ilha Solteira – SP), henzo.h.simionatto@unesp.br

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v57i0.92349>

Resumo

A supressão da vegetação para o incremento de áreas construídas intensifica os efeitos da urbanização e ocasiona alterações no microclima. Portanto, esta pesquisa elabora uma proposta metodológica para avaliar áreas com potencial de formação de ilhas de calor urbana. Foram utilizadas imagens de satélite para verificar a temperatura superficial e o índice NDVI da área de estudo. Também foram empregados dados de uso e ocupação do Mapbiomas. A cidade de Paracatu, localizada no Cerrado brasileiro, foi a escolhida para aplicação e validação do método proposto. Utilizou-se imagens dos satélites LANDSAT-5 e LANDSAT-8, que, inicialmente, passaram por uma reamostragem e padronização dos pixels. Posteriormente, foram aplicados os cálculos de temperatura da superfície e do NDVI, sendo esses dados, comparados com o uso e ocupação. De forma geral, foi possível notar que houve, na cidade, um aumento da temperatura superficial média, mínima e máxima. O mesmo comportamento espaço-espectral se deu para o NDVI, sendo esses, relacionados com as mudanças de uso e ocupação da terra. Em relação às áreas com potencial formação de ilhas de calor urbana, notou-se que essas, em um intervalo de 14 anos, triplicaram, sendo possível relacionar a situação com a expansão urbana e a presença de novos loteamentos em áreas periféricas. Notou-se também que as áreas com potencial de mitigação para com essas não foram planejadas, principalmente no bairro mais populoso do município. Os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios e a metodologia proposta poderá servir de base para os gestores públicos em relação às medidas mitigadoras do microclima urbano.

Palavras-chave:

Temperatura da superfície, NDVI, Ilha de calor urbana, Expansão urbana.

Abstract

The suppression of vegetation to increase built up areas intensifies the effects of urbanization and causes changes in the microclimate. Therefore, this research elaborates a methodological proposal to evaluate areas with potential for the formation of urban heat islands. Satellite images were used to verify the surface temperature and NDVI index of the study area. Mapbiomas usage and occupation data were also used. The city of Paracatu, located in the Brazilian Cerrado, was chosen for the application and validation of the proposed method. We used images from the LANDSAT-5 and LANDSAT-8 satellites, which initially underwent a resampling and standardization of the pixels. Subsequently, the surface temperature and NDVI calculations were applied, and these data were compared with the use and occupation. In general, it was possible to notice that there was, in the city, an increase in the average, minimum and maximum surface temperature. The same space-spectral behavior occurred for the NDVI, which are related to changes in land use and occupation. In relation to the areas with potential formation of urban heat islands, it was noted that these, in an interval of 14 years, tripled, being possible to relate the situation with urban expansion and the presence of new subdivisions in peripheral areas. It was also noted that the areas with mitigation potential for these were not planned, especially in the most populous neighborhood of the municipality. The results obtained were satisfactory and the proposed methodology may serve as a basis for public managers in relation to measures to mitigate the urban microclimate.

Keywords:

Surface temperature, NDVI, Urban heat island, Urban expansion.

I. INTRODUÇÃO

Independentemente do seu tamanho, as cidades geralmente se caracterizam pelo processo de expansão urbana de forma desordenada, provocando mudanças no uso e ocupação do da terra - *Land Use and Land Cover* (LULC) que impactam negativamente o meio ambiente. Portanto, ações de mitigação e descarbonização, não realizadas nesse processo, passam a ser essenciais para reverter as mudanças no microclima urbano, suas consequências e também para atingir a meta do Acordo de Paris. No entanto, a forma como esses efeitos são avaliados ainda é desconhecida pela ciência.

A situação exposta torna-se ainda mais crítica quando se analisa o relatório de mudanças climáticas AR6 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que indicou a influência antrópica no aumento dos Gases de Efeito Estufa (GEE) nas cidades, o que está intimamente relacionado com a LULC sem as suas respectivas mitigações (IPCC, 2022; HE et al., 2022), sendo esses, reconhecidos como um dos mais importantes desafios enfrentados pela sociedade atual (SONG et al., 2020), pois as alterações provocam variações em sua

temperatura da superfície – *Land Surface Temperature* (LST) e, conseqüentemente, no microclima local, que a ciência define, por meio de Monteiro (1976), como clima urbano.

Uma gestão urbana eficiente e capaz de solucionar esses problemas torna-se, cada vez mais, um desafio premente para os órgãos gestores, uma vez que os impactos negativos causados pelas mudanças no microclima nas cidades representam sérias ameaças aos seus processos biogeoquímicos e biofísicos, o que leva a impactos negativos no ecossistema (SHEN et al., 2022) e, conseqüentemente, na saúde da população (PANNO et al., 2017; ZHAO et al., 2018).

Chan et al. (2012) relacionaram o aumento da temperatura à mortalidade e concluíram que um aumento médio de 1° C na temperatura média diária acima de 28,2° C está associado a um aumento estimado de 1,8% na mortalidade local. Hua et al. (2023) analisaram a influência e os efeitos do desconforto térmico na saúde mental da população, concluindo que temperaturas acima de 30° C causam efeitos prejudiciais à saúde mental. Os autores também apontam que essa situação se torna ainda mais crítica quando se analisa apenas pessoas de meia-idade, idosos e mulheres.

Além disso, quando não planejadas, as LULC's, assim como o incremento da LST, são capazes de formar as Ilhas Urbanas de Calor (*Urban Heat Island* - UHI), o que merece destaque no meio científico, especialmente pela forma como essas podem ser avaliadas, medidas e também mitigadas (KAUR; PANDEY, 2022; LEE et al., 2022; WANG, 2022).

De acordo com Xiong et al. (2022), a crescente busca pela solução desse problema pode estar relacionada às melhorias das técnicas de geoprocessamento e à facilidade de trabalhar com imagens de satélite, que, quando comparadas a medições *in situ*, como a temperatura ambiente, têm a vantagem de realizar monitoramento de baixo custo e larga escala, sendo essenciais para a tomada de decisão efetiva (PAVÃO et al., 2017; SANTOS et al., 2022). No entanto, vale ressaltar que parâmetros meteorológicos, como velocidade de deslocamento do vento e temperatura do ar, diretamente afetados pelas variações topográficas impostas pelas edificações, ainda hoje, são fortes aliados para um diagnóstico mais preciso da UHI (LEAL FILHO et al., 2017).

Diante do exposto, pesquisas relatam uma correlação positiva entre o aumento do LST com o crescimento das áreas urbanas, bem como uma correlação negativa entre o LST e as áreas verdes, que são medidas por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI). Por exemplo: a vegetação tem o papel de mitigar as altas temperaturas causadas pela alteração da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis (KARAKUŞ, 2019; HUA et al., 2020; YANG et al., 2020). No

entanto, como encontrar áreas que foram impactadas por essa mudança e que atualmente têm potencial para formar UHI nesses locais?

Atendendo às definições de Oke (1978) e Arnfield (2003), bem como o reconhecimento dos autores da formação dos 3 tipos distintos de UHI, a saber: a) baixa atmosférica; b) atmosfera superior e; c) da superfície, o presente trabalho tem como objetivo propor um método no qual seja possível avaliar pontos de monitoramento de possíveis formações de UHI em cidades de médio porte e aplicá-lo, a fim de verificar sua variação espaço-temporal, com o intuito de apresentar novos caminhos para a climatologia geográfica, o que justifica esta pesquisa, uma vez que cidades como Paracatu apresentam notável crescimento econômico, proporcionando um aumento representativo no cenário nacional. Além disso, possuem consideráveis facilidades para a identificação de suas paisagens intraurbanas, permitindo uma melhor compreensão da interação sociedade-natureza na construção do clima urbano.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Localizada a 220 km da capital federal, Brasília - DF, Paracatu - MG (Figura 1) pertence, em sua totalidade, ao bioma Cerrado, sendo destaque nacional no turismo, nas riquezas minerais e na agricultura. De acordo com a última estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município possui uma população de aproximadamente 94 mil habitantes e uma densidade populacional de 10,29 hab./km² (IBGE, 2022).

Paracatu possui altitude entre 500 e 950 metros e está localizada entre duas bacias hidrográficas: São Francisco e Paraná. Sua área urbana está situada entre 650 e 800 metros. De acordo com a classificação de Köppen, o clima do município é de savana tropical úmida, com invernos secos e verões chuvosos, tipo Aw. Sua temperatura média anual é de 22,6° C e sua precipitação média é de 1.450 mm/ano (INMET, 2022).

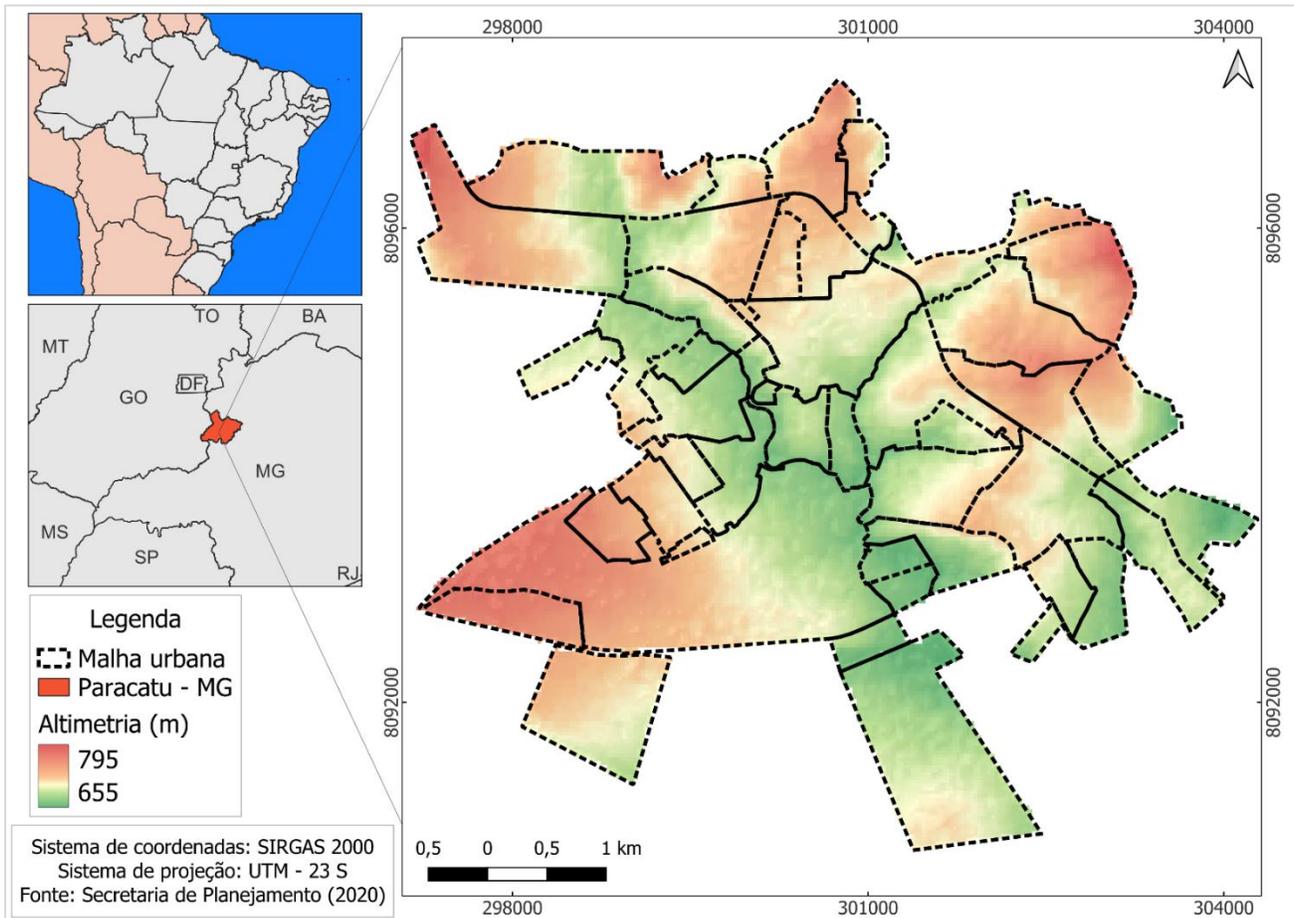


Figura 1 – Área de estudo. (Elaborados pelos autores, 2020)

Procedimentos metodológicos

Foram utilizadas cenas dos satélites LANDSAT-5 e LANDSAT-8, obtidas do sítio eletrônico do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey - USGS*). Neste estudo, optou-se pela análise de anos considerados normais, ou seja, nos quais não houve ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, dada a influência desses fenômenos nos parâmetros climatológicos e, conseqüentemente, na LST (NUNES; GIGLIO, 2022; UDELSMANN, 2022), sendo esse, o primeiro destaque apresentado por este trabalho. A segunda relevância deste método diz respeito à média das imagens escolhidas, ou seja, para cada período escolhido, a média das 2 imagens foi utilizada para representar a estação do ano, evitando, assim, questionamentos sobre a representatividade de estudos envolvendo dados de SR.

Como justificativa dos anos escolhidos para a análise do presente estudo (2005 e 2019), buscou-se analisar uma série que fosse capaz de explorar um período mínimo de dez anos de diferença entre esses, considerando que, nesse espaço de tempo, fosse possível verificar uma considerável expansão urbana na área

de estudo. No ano de 2005, foram utilizadas as imagens de 11/04 e 13/05, enquanto, para o ano de 2019, foram escolhidas as imagens de 02/05 e 21/06 (USGS, 2022).

Em relação à estação escolhida para análise, isso se deve aos seguintes fatores: a) maior neutralidade da disponibilidade hídrica no solo; b) baixa incidência de nuvens; c) estação que separa o período úmido, com possível excedente hídrico no solo, com o seco, de possível estresse hídrico. Após o download das imagens de satélite, foi utilizado o processo de *Resampling and Reducing Resolution*, com a técnica do vizinho mais próximo, do software QGis 3.2.12 (QGIS, 2021) para padronizar todos os pixels dos diferentes satélites utilizados (30 metros).

Para o cálculo do índice NDVI foram aplicadas as equações e recomendações sugeridas por Rouse (1973) (Equação 1), enquanto que para a LST foram utilizadas as sugestões da USGS (2022) (Equação 2). Para a aplicação dos respectivos métodos, foi utilizada a *raster calculation* do software Qgis 3.2.12 (QGIS, 2021).

Em relação ao cálculo da LST do satélite LANDSAT-8, foi adicionado o valor de $-0,29$ para cada pixel da imagem resultante da média, conforme recomendado pela USGS, uma vez que as bandas térmicas 10 e 11 recebem interferência da luz espalhada de áreas adjacentes à cena imageada e, portanto, requerem esse ajuste. A USGS recomenda o uso da banda 10 ao estimar a LST (USGS, 2022).

$$\frac{(\text{NIR } \rho_{(830\text{nm})} - \text{RED } \rho_{(660\text{nm})})}{(\text{NIR } \rho_{(830\text{nm})} + \text{RED } \rho_{(660\text{nm})})} \quad (1)$$

Equação 1: cálculo do NDVI.

Onde: NIR corresponde à banda do infravermelho próximo e RED corresponde à banda localizada na região vermelha.

$$T = \left(\frac{K2}{\ln \left(\left(\frac{K1}{ML * Qcal + AL} \right) + 1 \right)} \right) - 273.15 \quad (2)$$

Onde: ML = Fator multiplicativo de escala de banda térmica*, AL = Fator de escala de aditivo específico de banda térmica*, Qcal = Valor quantizado calibrado por pixels em DN, T = temperatura em Celsius, K2 = constante de calibração 2* e K1 = constante de calibração 1*.

*Valores utilizados no processamento de imagens (obtidos a partir do arquivo de metadados).

Em relação aos dados de uso e ocupação da terra da cidade de Paracatu, optou-se por utilizar os dados já validados pelo Mapeamento Anual de Uso e Cobertura da Terra do Brasil do Mapbiomas, que reúne uma rede colaborativa nas áreas do Sensoriamento Remoto, biomas e uso da terra, Sistema de Informação Geográfica (SIG) e informática. Esse projeto utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados, permitindo a geração de uma série histórica de mapas anuais e de uso da terra no Brasil por meio do satélite LANDSAT, com resolução espacial de 30 metros (MAPBIOMAS, 2022).

Com todos os processamentos, uma máscara da área de estudo foi utilizada para recortar a área de interesse, sendo essa em formato *Shapefile* (.shp) e representando a realidade da malha urbana do município. Esse arquivo foi obtido junto à Secretaria de Planejamento de Paracatu e com escala de 1:50000. Após o recorte dos parâmetros para com essa, os arquivos foram exportados para o software ArcGis (10.5) (ESRI, 2022) para realizar a junção das tabelas de atributos contendo os resultados dos respectivos índices.

Com o objetivo de verificar áreas com potencial para formação de UHI, foi elaborada uma regra, baseada em estudos correlatos, na *raster calculation* (Figura 2). Aqui, deve-se ressaltar que os valores de corte do índice NDVI e da LST foram realizados com base em resultados correlacionados envolvendo a evolução do clima urbano (GAMEIRO et al., 2016; MURTINOVA et al., 2022; FLOYD; RUTE, 2022; CHOWDHURY; ISLÃ, 2022).

Finalmente, e com o objetivo de verificar a influência de áreas com potencial de formação de UHI sobre o clima urbano do município de Paracatu, foi realizada uma comparação espaço-espectral do NDVI e da LST das áreas, por meio da análise de dados com potencial de formação de UHI para as demais áreas da cidade.

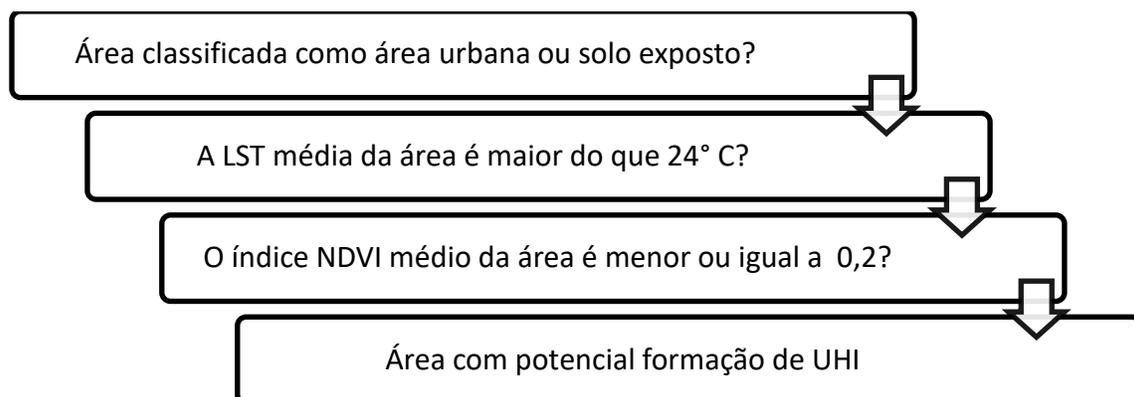


Figura 2 – Método utilizado para verificar a formação potencial de UHI. (Elaborados pelos autores, 2022)

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta o comportamento espaço-temporal da LST na cidade de Paracatu e, a Figura 4, o índice NDVI. Na Figura 5 é apresentado o comportamento dos pixels para com esses parâmetros e, por fim, na Figura 6, a LULC da malha urbana do município.

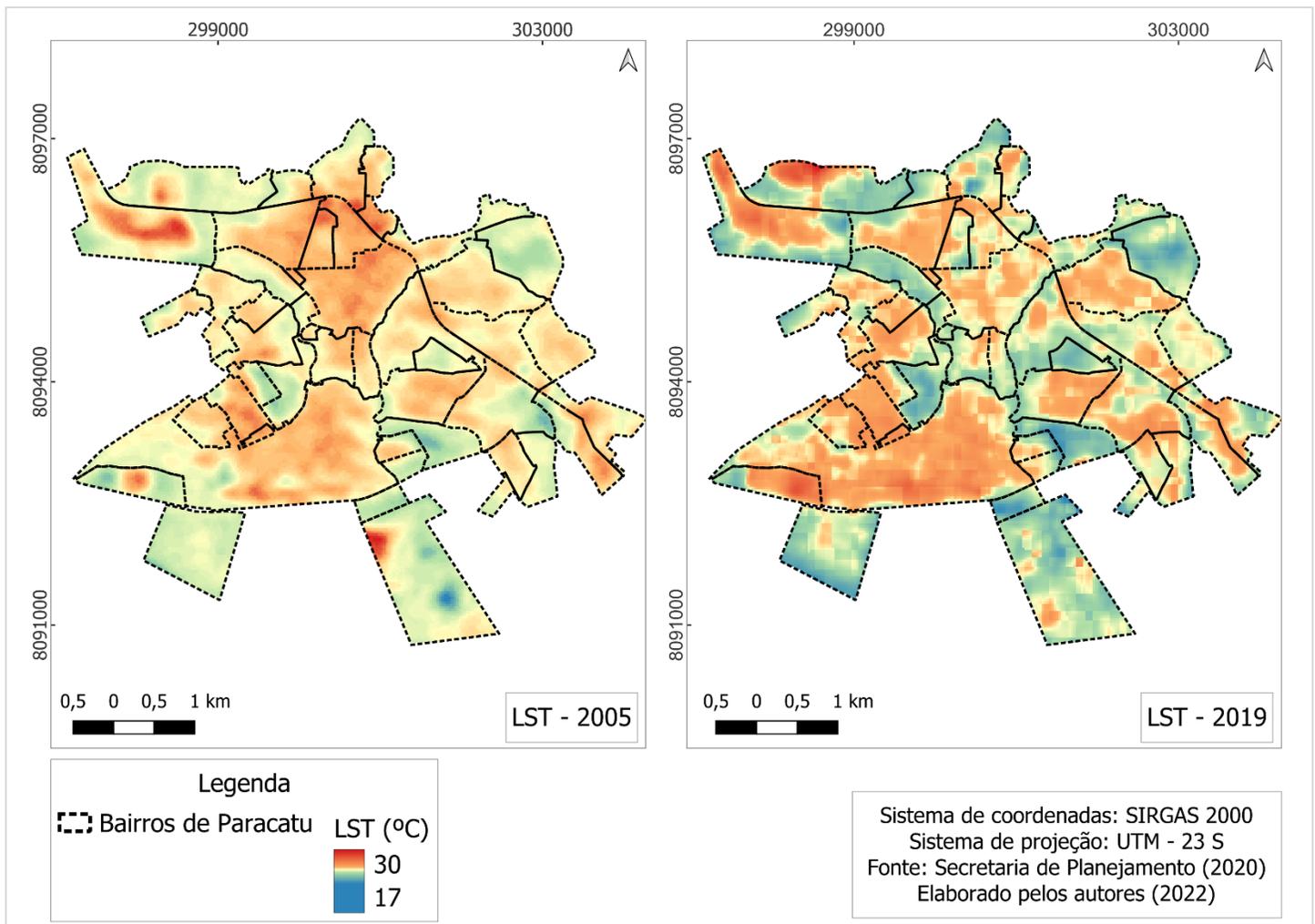


Figura 3 - Variação espaço-temporal da LST na malha urbana de Paracatu – MG. (Elaborados pelos autores, 2022)

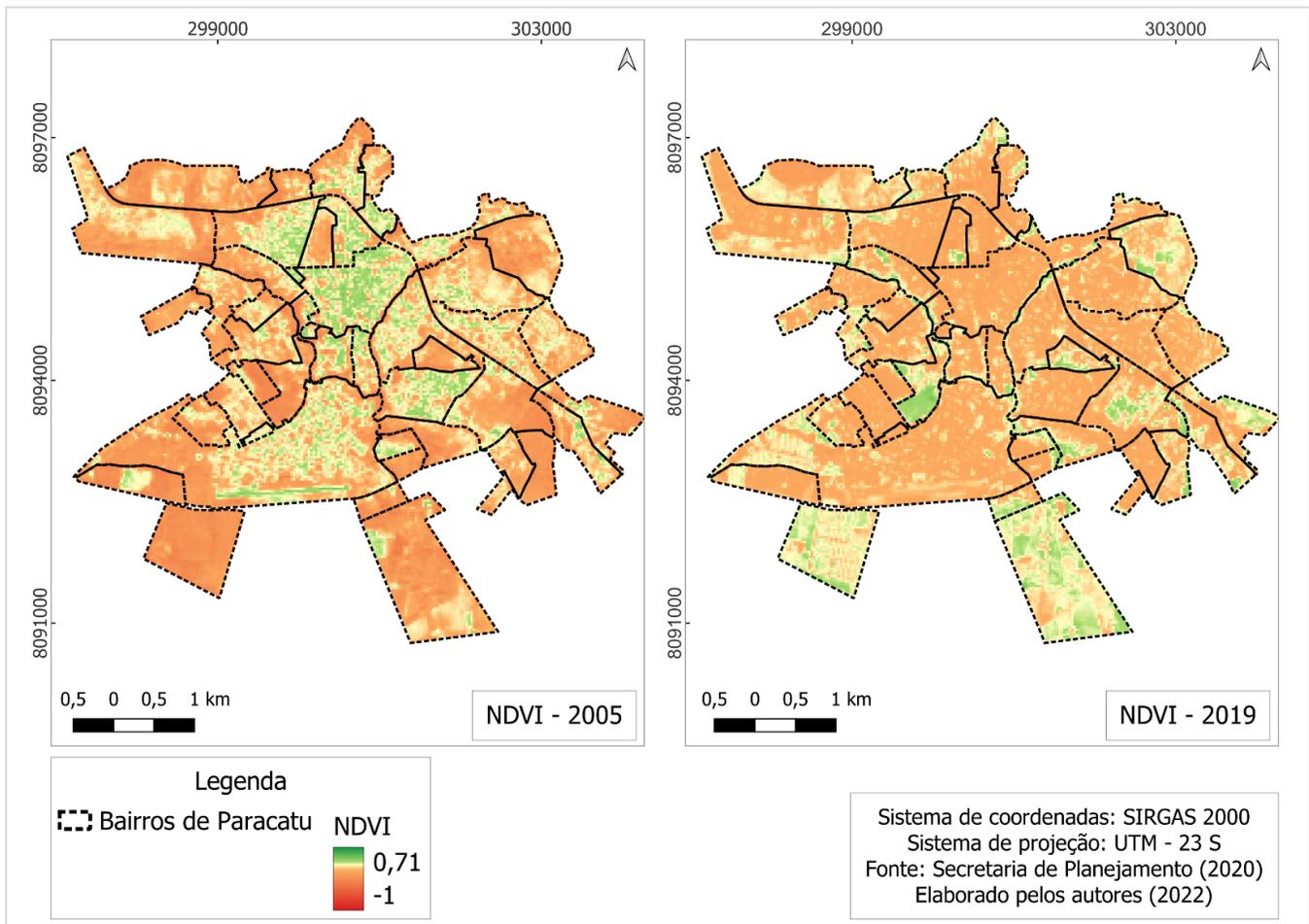


Figura 4 - Variação do índice NDVI na cidade de Paracatu – MG. (Elaborados pelos autores, 2022)

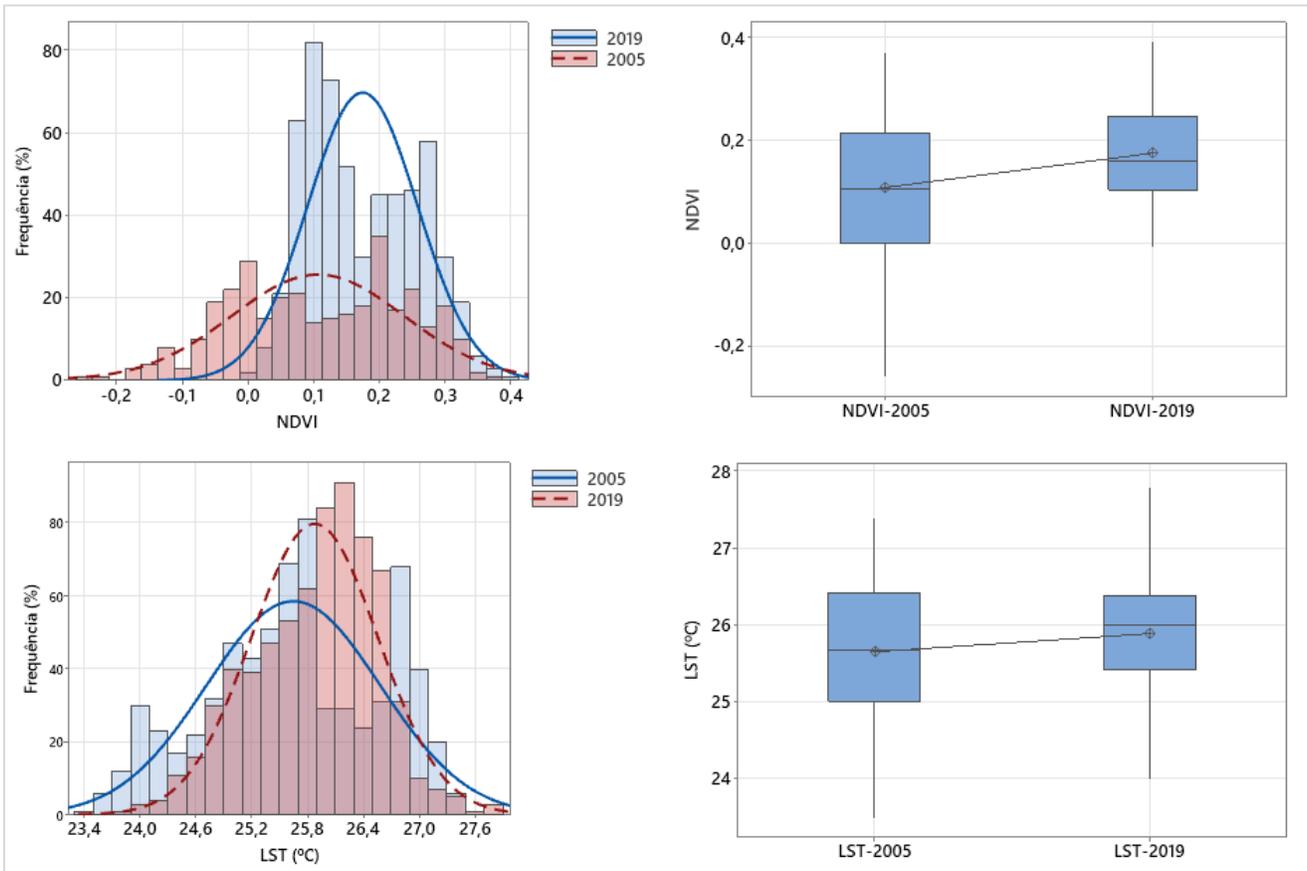


Figura 5 - Comportamento espaço-espectral do NDVI e da LST. (Elaborados pelos autores, 2022)

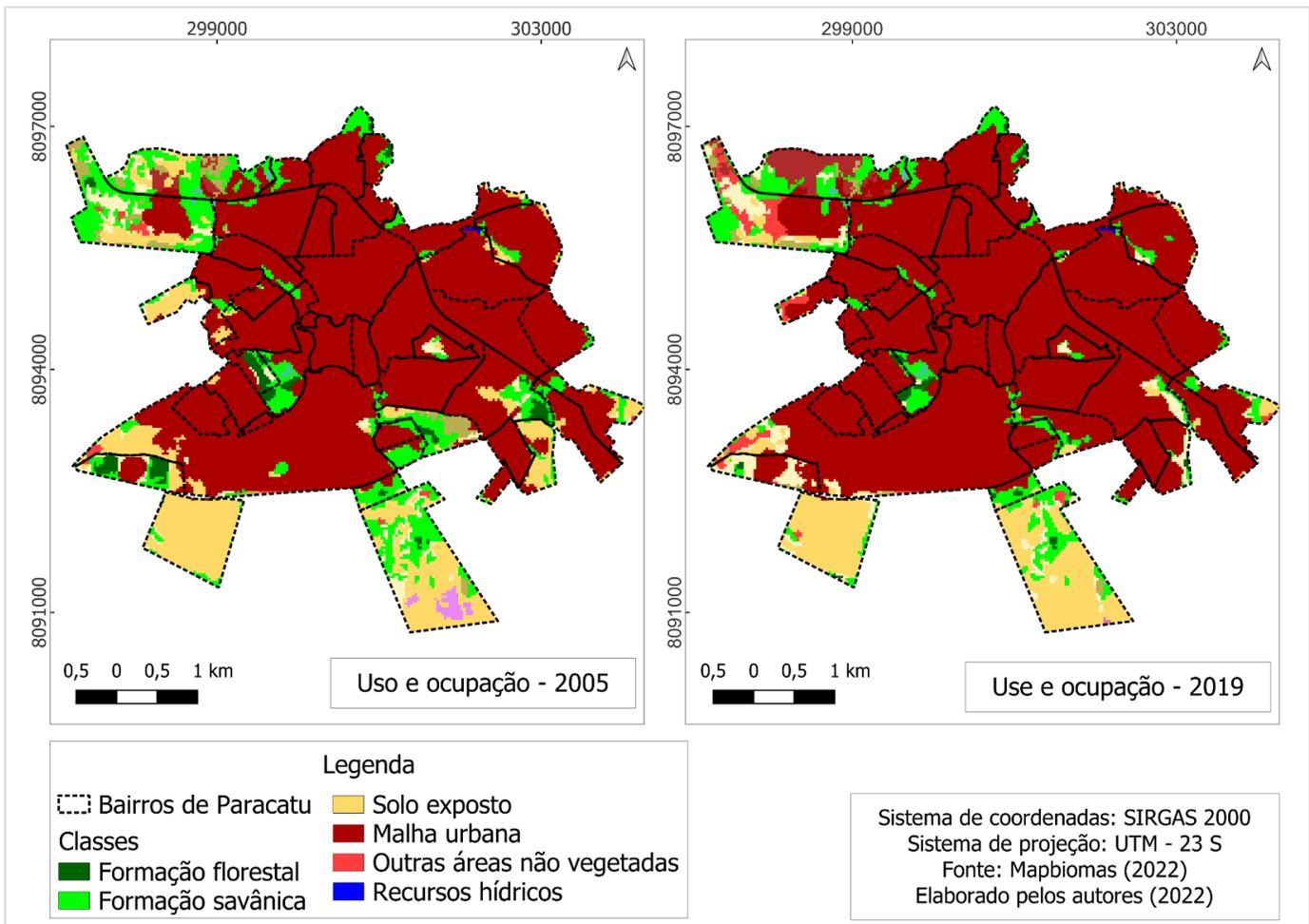


Figura 6 - LULC da malha urbana de Paracatu – MG. (Elaborados pelos autores, 2022)

De modo geral, é possível perceber que, ao analisar espaço-temporalmente, ambos os parâmetros – NDVI e LST – tiveram aumento em sua média, mínima e máxima. Ao comparar esses dados com a LULC, fica claro a interferência da expansão urbana nesses. É importante mencionar que o aumento da LST em áreas urbanas está intimamente relacionado à presença de áreas urbanizadas e/ou à presença de solo exposto (terra descoberta), que são os principais responsáveis pela variação temporal desse parâmetro (GUHA; GOVIL, 2018).

Tendo em vista a análise da influência da variação da LULC na LST, menciona-se a importância da vegetação para neutralizar e/ou reduzir esse impacto, tendo em vista estudos que mencionam a correlação negativa entre a LST e o NDVI. Por exemplo: áreas com vegetação densa e NDVI acima de 0,5 apresentam LST mais branda, enquanto áreas com baixo NDVI, relacionado à presença de vegetação espessa e/ou ausência de áreas verdes, apresentam temperaturas mais elevadas (MATHEW et al., 2022; MOISA et al., 2022).

Vale destacar também que a cidade de Paracatu possui um alto índice de população flutuante e/ou migração fixa, dada a presença de multinacionais na exploração e beneficiamento de minério na cidade. Além

disso, o município é destaque na produção de grãos, o que atrai indústrias e, conseqüentemente, novos funcionários para a cidade. Por exemplo: dado que Paracatu tem tais características em termos de oportunidades de emprego, o fluxo migratório e a ocupação de novas áreas na cidade são intensos e, com o passar dos anos, essas mudanças vão se espacializando, sendo essas, passíveis de observação via mapa LULC.

Nessa perspectiva, Rezende (2016) verificou, na malha urbana de Paracatu, que as ocupações recentes apresentam falta de vegetação nas calçadas, o que não deveria ocorrer, uma vez que o município tem, desde 2009, legislado, a obrigação de plantar árvores nas calçadas públicas nas novas edificações, que é de responsabilidade do proprietário após a obtenção do alvará – Habite-se – para construção no terreno.

Percebe-se que, por mais que a gestão pública exerça sua função, ela não é rigorosamente cumprida pelos moradores. Dessa forma, o uso de imagens de satélite com alta resolução espacial, bem como o uso de imagens de drones, poderiam ser utilizados, na cidade, com a finalidade de monitorar o cumprimento da legislação municipal vigente.

As áreas com potencial de formação de UHI nos anos analisados estão dispostas na Figura 7 e, na Figura 8, as áreas de intersecção, ou seja, apresentaram potencial de formação de UHI em 2005 e 2019, que são consideradas como áreas de monitoramento. O comportamento espaço-espectral dessas áreas para o índice NDVI e a LST é apresentado na Figura 9.

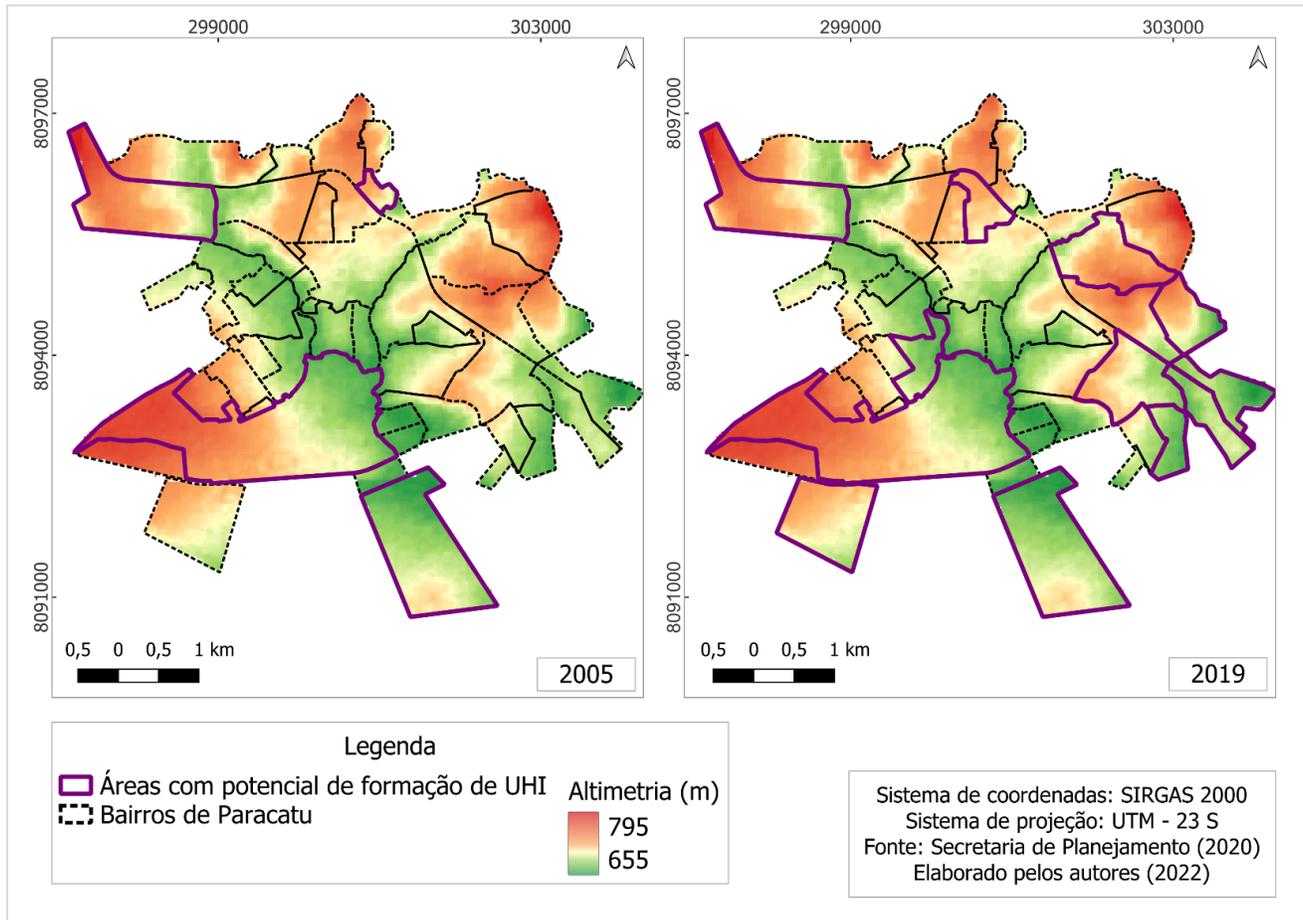


Figura 7 - Áreas com potencial de formação de UHI. (Elaborados pelos autores, 2022)

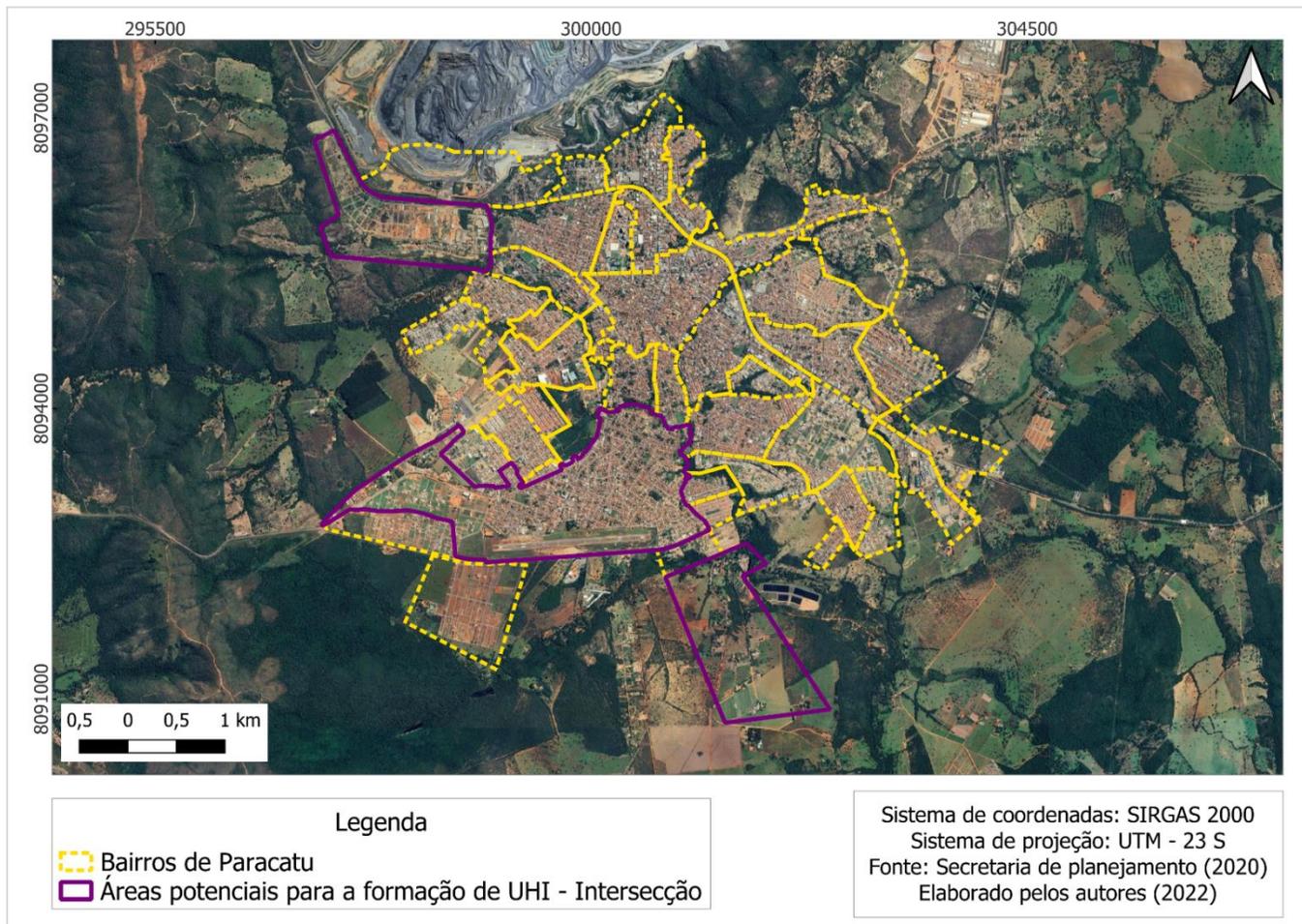


Figura 8 - Áreas de monitoramento (UHI). (Elaborados pelos autores, 2022)

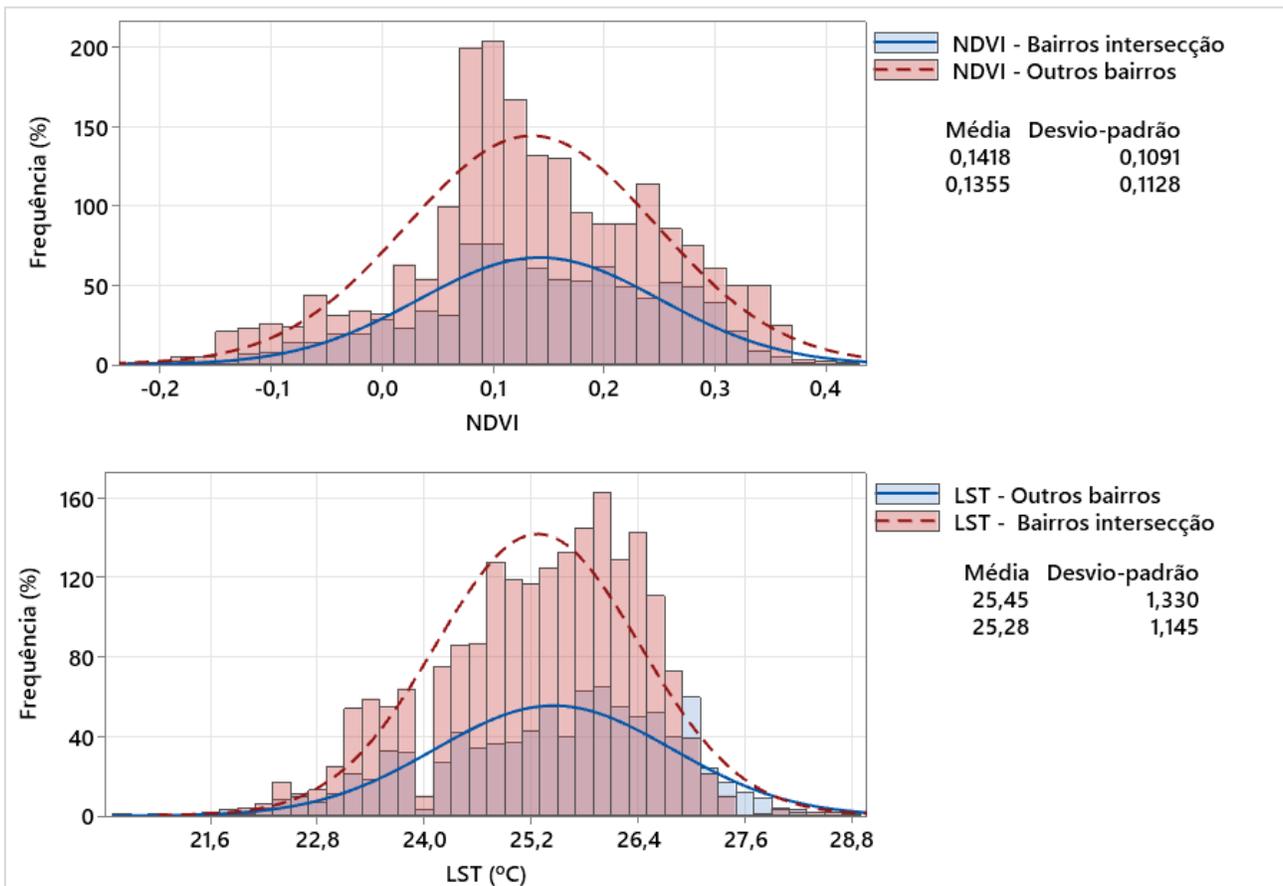


Figura 9 - Comportamento espaço-espectral de áreas com potencial de formação de UHI. (Elaborados pelos autores, 2022)

De modo geral, é possível verificar, em relação à espacialidade das áreas com potencial de formação de UHI, novas formações em bairros periféricos do município de Paracatu. Além disso, em 14 anos, o número de áreas com potencial de formação de UHI na cidade triplicou, passando de 4 para 12.

O cenário descrito pode ser explicado por vários fatores. Dentre esses, destaca-se a formação de inúmeros loteamentos na cidade durante a última década. Diante da expansão urbana, a cidade iniciou um processo de crescimento em direção às áreas periféricas, até então desocupadas. Por exemplo: a partir do momento em que o alvará para o início das obras é aprovado, a vegetação é retirada para o início das vendas e as construções nos lotes. Assim, nota-se que essa LULC, sem as devidas medidas mitigadoras, está implicando diretamente no microclima urbano de Paracatu.

Outro fator a ser mencionado é que o custo da moradia no município é bastante alto. Dessa forma, e tendo em vista o fluxo migratório e/ou fixo de novos trabalhadores que ingressam na cidade, as residências em áreas periféricas, e mesmo em novos loteamentos construídos, tornam-se atrativas para os novos moradores,

que optam por morar em locais mais distantes. Esse cenário é corroborado pela verificação da série temporal apresentada na Figura 10.



Figura 10 - Bairro com potencial de formação de UHI em 2003 (a) e em 2019 (b). (Elaborados pelos autores, 2022)

Historicamente, a cidade concentrava todos os seus serviços – comércios, hospitais, farmácias, bancos e opções de lazer – no centro urbano municipal. No entanto, de acordo com informações coletadas no sítio eletrônico da prefeitura, visando, dentre outros fatores, melhorar o fluxo do centro urbano, tanto a prefeitura quanto todas as suas demandas executivas foram transferidas para um centro administrativo localizado em uma área periférica. Atualmente, também é possível verificar a instalação de bancos nos distritos do município, facilitando o fluxo do centro urbano, principalmente no horário de pico.

Em relação aos bairros que apresentaram potencial para a formação de UHI nos dois anos analisados, destaca-se o bairro popularmente conhecido como Paracatuzinho, que é o mais populoso da cidade. Dados do Serviço Nacional de Censos para o ano de 1960 já mostravam que, naquela época, a população do bairro era maior que a do centro da cidade, conforme Lima (2019), que destacou em seu estudo que, segundo planilha obtida junto à Secretaria Municipal de Endemias, a área contava com 5.369 edificações, superando até mesmo o centro de Paracatu, que contabilizava 2.188 imóveis para o mesmo período.

Diante disso, é possível inferir que a expansão urbana de forma não planejada está intimamente relacionada à variação da LST da área. Além disso, esse crescimento local desordenado provavelmente ocorreu sem mitigação para o microclima local, impactando diretamente em possíveis formações de UHI.

Tendo em vista o comportamento espectral dos parâmetros analisados nas áreas que apresentaram potencial de formação de UHI nos dois períodos analisados, é possível perceber que, analisando-as de forma separada, são responsáveis por representar um grande percentual do comportamento da cidade como um todo.

Assim, a partir do momento em que os impactos causados a esses forem mitigados, muito provavelmente, o comportamento da LST, bem como os efeitos da UHI, serão minimizados em toda a cidade.

Os resultados apresentados corroboram aos apresentados por Albuquerque e Lopes (2016), que verificaram a influência da vegetação sobre as variáveis climáticas em alguns bairros da cidade de Teresina, Piauí (PI), concluindo que esses, entre outros fatores, auxiliam nas condições climáticas locais, sendo de extrema importância para a melhoria da qualidade ambiental em aglomerações urbanas, mitigando os efeitos das UHIs.

Os resultados verificados para a cidade de Paracatu corroboram o fato de que o índice NDVI, assim como a variação da LST e do uso e ocupação da terra, tornam-se, cada vez mais, uma ferramenta notória para o monitoramento do clima urbano (SINGH et al., 2022). Assim, práticas de reflorestamento e arborização em áreas públicas devem ser urgentemente utilizadas como forma de mitigar os impactos causados pela LULC, bem como estratégias para minimizar os impactos negativos causados por novas ocupações, pois essas medidas podem, como mencionado por AlDousari et al. (2022), reduzir os impactos negativos das mudanças climáticas e a possível formação de UHIs.

A estratégia supracitada é corroborada pela verificação do estudo de Silva e Pimentel (2019), realizado em Recife, Pernambuco (PE), no qual os autores verificaram a contribuição de diferentes espécies vegetativas para o confronto térmico, concluindo que as árvores com maior área foliar foram as que mais absorveram radiação solar, apresentando grande importância na manutenção da qualidade de vida nas cidades. A importância da arborização urbana também foi verificada por Silva et al. (2020), sendo o principal contribuinte para o microclima em Caicó, Rio Grande do Norte (RN), localizado no semiárido brasileiro, ratificando a importância das árvores frente às mudanças no microclima urbano e na umidade relativa.

IV. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que a cidade de Paracatu apresenta crescimento nas áreas com potencial para a formação de UHI. Assim, medidas mitigadoras, como a criação de áreas verdes, devem ser desenvolvidas nesses locais.

Em relação às áreas com potencial de formação nos dois anos analisados, inferiu-se que a expansão populacional e a ocupação urbana desordenada foram os principais fatores que influenciaram esses resultados.

O método proposto, dada a sua validação temporal e espaço-espectral, mostrou-se eficiente para o monitoramento de áreas com potencial de formação de UHI, podendo ser utilizado para a gestão do microclima urbano em cidades de médio porte, sendo útil aos gestores públicos e aos tomadores de decisão.

V. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. M.; LOPES, W. G. R. Influência da vegetação em variáveis climáticas: estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 36, p. 38-68, 2016.
- ALDOUSARI, A. E.; KAFY, A. A.; SAHA, M.; FATTAH, M. A.; ALMULHIM, A. I.; FAISAL, A. A.; RAKIB, A. A.; JAHIR, D. M. A.; RAHAMAN, Z. A.; BAKSHI, A.; SHAHRIER, M.; RAHMAN, M. Modelling the impacts of land use/land cover changing pattern on urban thermal characteristics in Kuwait. *Sustainable Cities and Society*, v. 86, p. 104107, 2022.
- ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, v. 23, n. 01, p. 1-26, 2003.
- CHAN, E. Y. Y.; GOGGINS, W. B.; KIM, J. J.; GRIFFITHS, S. M. A study of intracity variation of temperature-related mortality and socioeconomic status among the Chinese population in Hong Kong. *J Epidemiol Community Health*, v. 66, n. 4, p. 322-327, 2012.
- CHOWDHURY, T. A.; ISLAM, M. S. Assessing and Simulating Impacts of Land Use Land Cover Changes on Land Surface Temperature in Mymensingh City, Bangladesh. *Environment and Natural Resources Journal*, v. 20, n. 2, p. 110-128, 2022.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute. ArcGis 10.5. Redlands. 2022. Disponível em: <<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>>. Acesso em: 25 de set. 2022.
- FLOYD, A. C.; RUTH, A. E. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Assessment of Vegetation Around Oben Gas Flow Station, Edo State, Nigeria. *Gas*, v. 4, n. 1, p. 311-321, 2022.
- GAMEIRO, S.; TEIXEIRA, C. P. B.; SILVA NETO, T. A.; LOPES, M. F. L.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; ZIMBACK, C. R. L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. *Revista Terræ, Campinas*, v. 13, p. 15-22, 2016.
- GUHA, S.; GOVIL, H. Seasonal variability of LST-NDVI correlation on different land use/land cover using Landsat satellite sensor: a case study of Raipur City, India. *Environment, Development and Sustainability*, v. 24, p. 8823-8839, 2022.
- HE, W.; ZHANG, L.; YUAN, C. Future air temperature projection in high-density tropical cities based on global climate change and urbanization—a study in Singapore. *Urban Climate*, v. 42, p. 101115, 2022.
- HUA, L.; ZHANG, X.; NIE, Q.; SUN, F. The impacts of the expansion of urban impervious surfaces on urban heat islands in a coastal city in China. *Sustainability*, v. 12, n. 2, p. 475, 2020.
- HUA, Y.; QIU, Y.; TAN, X. The effects of temperature on mental health: evidence from China. *Journal of Population Economics*, v. 36, n. 3, p. 1293-1332, 2023.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia. 2022. Cidades e Estados: Paracatu. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/paracatu.html>>. Acesso em: 25 de set. 2022.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2022. Normais Climatológicas. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 25 set. 2022.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>>. Acesso em: 25 set. 2022.

KARAKUŞ, C. B. The impact of land use/land cover (LULC) changes on land surface temperature in Sivas City Center and its surroundings and assessment of Urban Heat Island. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, v. 55, n. 4, p. 669-684, 2019.

KAUR, R.; PANDEY, P. A. Review on spectral indices for built-up area extraction using remote sensing technology. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 15, p. 1-22, 2022.

LEAL FILHO, W.; ICAZA, L. E.; EMANCHE, V. O.; AL-AMIN, A. Q. An evidence-based review of impacts, strategies and tools to mitigate urban heat islands. *International journal of environmental research and public health*, v. 14, n. 12, p. 1600, 2017.

LEE, K.; KIM, Y.; SUNG, H. C.; KIM, S. H.; JEON, S. W. Surface urban heat island in South Korea's new towns with different urban planning. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 194, p. 1-18, 2022.

LIMA, C. 2019. Paracatuzinho: Passado e presente. disponível em: <<https://paracatumemoria.wordpress.com/2019/02/07/paracatuzinho-passado-e-presente/>>. Acesso em: 25 set. 2022.

MAPBIOMAS. 2022. Mapas das Coleções. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/download>>. Acesso em: 25 set. 2022.

MATHEW, A.; SARWESH, P.; KHANDELWAL, S. Investigating the contrast diurnal relationship of land surface temperatures with various surface parameters represent vegetation, soil, water, and urbanization over Ahmedabad city in India. *Energy Nexus*, v. 5, p. 100044, 2022.

MOISA, M. B.; DEJENE, I. N.; GEMEDA, D. O. Geospatial technology-based analysis of land use land cover dynamics and its effects on land surface temperature in Guder River sub-basin, Abay Basin, Ethiopia. *Applied Geomatics*, v. 14, p. 451-463, 2022.

MONTEIRO, C. A. de F. Teoria e Clima Urbano. São Paulo, SP: IGEOG/USP (Série Teses e Monografias, 25), 1976.

MURTINOVÁ, V.; GALLAY, I.; OLAH, B. Mitigating Effect of Urban Green Spaces on Surface Urban Heat Island during Summer Period on an Example of a Medium Size Town of Zvolen, Slovakia. *Remote Sensing*, v. 14, n. 18, p. 4492, 2022.

NUNES, G.; GIGLIO, T. Effects of climate change in the thermal and energy performance of low-income housing in Brazil - assessing design variable sensitivity over the 21st century. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 168, p. 112885, 2022.

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. New York: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, 1978.

PANNO, A.; CARRUS, G.; LAFORTEZZA, R.; MARIANI, L.; SANESI, G. Nature-based solutions to promote human resilience and wellbeing in cities during increasingly hot summers. *Environmental research*, v. 159, p. 249-256, 2017.

PAVÃO, V. M.; NASSARDEN, D. C. S.; PAVÃO, L. L.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Impacto da Cobertura Natural em Pastagem e Área Urbana sobre Variáveis Biofísicas no Sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, p. 343-351, 2017.

QGIS – Q Geographic Information System. 2021. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<http://www.qgis.org>>. Acesso em: 25 set. 2022.

- REZENDE, P. S. Metodologia para avaliação da vulnerabilidade socioambiental: estudo da cidade de Paracatu (MG). 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (MG).
- SANTOS, A. P.; SANTIL, F. L. de P.; CARBONE, S.; SILVA, C. R. The influence of urban and mineral expansion on surface temperature variation. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 45, n. 1, p. e60114, 2022.
- SHEN, X.; LIU, Y.; LIU, B.; ZHANG, J.; WANG, L.; LU, X.; JIANG, M. Effect of shrub encroachment on land surface temperature in semi-arid areas of temperate regions of the Northern Hemisphere. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 320, p. 108943, 2022.
- SILVA, G. I.; LUCENA, R. L.; JÚNIOR, J. B. C.; SOUZA, S. F. F. Influência da arborização na modificação microclimática em cidades de pequeno porte do Semiárido brasileiro: o estudo de caso de Caicó. *Revista Geografica Academica*, v. 14, n. 1, p. 94-105, 2020.
- SILVA, L. H. G.; PIMENTEL, R. M. DE M. Estrutura morfológica foliar da arborização urbana na manutenção do conforto térmico. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 4, n. 1, p. 104–109, 2019.
- SINGH, P.; CHAUDHURI, A. S.; VERMA, P.; SINGH, V. K.; MEENAS. R. Earth observation data sets in monitoring of urbanization and urban heat island of Delhi, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, v. 13, p. 1762-1779, 2022.
- SONG, J.; CHEN, W.; ZHANG, J.; HUANG, K.; HOU, B.; PRISHCHEPOV, A. V. Effects of building density on land surface temperature in China: Spatial patterns and determinants. *Landscape and Urban Planning*, v. 198, p. 103794, 2020.
- UDELSMANN, C. R. Where is the State Missing? Addressing Urban Climate Change at the Margins in Luanda and Maputo. In: *Urban Forum*. Springer Netherlands, v. 33, p. 35-49, 2022.
- USGS - United States Geological Survey. 2022. Earth Explorer. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 25 set. 2022.
- WANG, Z. Reconceptualizing urban heat island: Beyond the urban-rural dichotomy. *Sustainable Cities and Society*, v. 77, p. 103581, 2022.
- XIONG, L.; LI, S.; ZOU, B.; PENG, F.; FANG, X.; XUE, Y. Long Time-Series Urban Heat Island Monitoring and Driving Factors Analysis Using Remote Sensing and Geodetector. *Frontiers in Environmental Science*, v. 9, n. 828230, p. 1-14, 2022.
- YANG, C.; YAN, F.; ZHANG, S. Comparison of land surface and air temperatures for quantifying summer and winter urban heat island in a snow climate city. *Journal of environmental management*, v. 265, p. 110563, 2020.
- ZHAO, L.; OPPENHEIMER, M.; ZHU, Q.; BALDWIN, J. W.; EBI, K. L.; BOU-ZEID, E.; GUAN, K.; LIU, X. Interactions between urban heat islands and heat waves. *Environmental research letters*, v. 13, n. 3, p. 034003, 2018.
-