DIAGNÓSTICO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA INTENSIDADE DAS ILHAS DE CALOR SUPERFICIAIS E DA VEGETAÇÃO EM PRESIDENTE PRUDENTE – SP/BRASIL

DIAGNOSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THE INTENSITY OF SURFACE HEAT ISLANDS AND VEGETATION IN PRESIDENT PRUDENTE - SP/BRAZIL

DIAGNOSTIC DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE L'INTENSITÉ DES ÎLOTS DE CHALEUR DE SURFACE ET DE LA VÉGÉTATION DANS LE PRÉSIDENT PRUDENTE - SP/BRÉSIL

Luana Novais de Andrade
Universidade Estadual Paulista - Presidente Prudente
luana.novais@unesp.br

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim
Universidade Estadual Paulista - Presidente Prudente
margarete.amorim@unesp.br

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo diagnosticar e analisar a distribuição espacial da intensidade das ilhas de calor superficiais em Presidente Prudente - SP, considerando as características dos diferentes tipos de usos e coberturas das superfícies e dos sistemas atmosféricos atuantes nos 30 dias que antecederam a tomada das imagens de satélite. O tratamento das imagens de satélite resultou na produção de dois mapas termais e de NDVI (Índice de Vegetação por Diferencial Normalizada), sendo um representativo do período seco (15/07/2017) e o outro do período chuvoso (23/01/2018). Os resultados mostraram que as ilhas de calor superficiais foram identificadas no período chuvoso. No período seco houve certa homogeneização das diferenças das temperaturas dos alvos entre o rural e o urbano. A redução de água no sistema diminui a atividade fotossintética. As gramíneas secam e o solo exposto propicia o aumento das temperaturas dos alvos, deixando-os parecidos com as temperaturas das áreas construídas. No período chuvoso, com o maior desenvolvimento vegetativo as temperaturas dos alvos no rural diminuem evidenciando as maiores intensidades das ilhas de calor urbanas.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Ilha de Calor superficial. NDVI. Clima urbano. Arborização.

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

ABSTRACT

The present work aims to diagnose and analyze the spatial distribution of the intensity of surface heat islands in Presidente Prudente - SP, considering the characteristics of the different land cover uses and types of surfaces, as well as the active atmospheric systems during the 30 days that preceded the collection of the satellite images. The treatment of satellite images led to the production of two thermal maps and two NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) maps, one representative of the dry season (07/15/2017) and the other of the rainy season (01/23/2018). Surface heat islands were only clearly identified during the rainy period. During the dry period there was a certain homogenization of temperature differences of the targets between rural and urban areas. The reduction of water in the system decreases the photosynthetic activity. The grasses dry up and the exposed soil results in higher surface temperatures, that are similar to those of the built-up areas. During the rainy period, because of the relatively greater vegetation development, the temperatures of surfaces in rural areas decrease, evidencing the higher intensities of the urban heat islands.

Keywords: Remote sensing. Surface Heat Island. NDVI. Urban climate. Afforestation.

RÉSUMÉ

Le présent travail vise à diagnostiquer et analyser la distribution spatiale de l'intensité des îlots de chaleur de surface à Presidente Prudente - SP, en tenant compte des caractéristiques des différents types d'occupation du sol et des différentes surfaces, ainsi que des systèmes atmosphériques actifs dans les 30 jours qui ont précédé la prise des images satellites. Le traitement des images satellitaires a abouti à la production de deux cartes thermiques et deux cartes NDVI (Normalized Differential Vegetation Index), l'une représentative de la saison sèche (15/07/2017) et l'autre de la saison des pluies (23/01/2018). Les résultats ont montré que des îlots de chaleur de surface pouvaient être identifiés en période pluvieuse. En période sèche, il y a eu une certaine homogénéisation des différences de températures des cibles entre les zones rurales et urbaines. La réduction de l'eau dans le système diminue l'activité photosynthétique. Les herbes se dessèchent et le sol exposé contribue à l'augmentation de la température de la surface, réduisant les différences avec les températures des zones bâties. La période de pluies connaît un développement plus élevé du couvert végétal, par conséquent, la température des surfaces dans la zone rurale diminue, mettant en évidence les intensités plus élevées des îlots de chaleur urbains.

Mots-clés: Télédétection. Ilot de chaleur de surface. NDVI. Climat urbain. Boisement.

INTRODUÇÃO

A partir da década de 1950, o Brasil vivenciou a intensificação do êxodo rural. Um conjunto de fatores contribuiu para esse fenômeno, tais como a abertura econômica, a mecanização do campo e a demanda crescente por mão de obra na indústria. O crescimento da população urbana desempregada que se "aloja", e não "habita", causou uma série de problemas urbanos (SPOSITO, 1989, p. 70).

As cidades apresentaram grande crescimento e adensamento populacional nas últimas décadas do século XX (Tabela 1). Na Tabela 1 verifica-se evolução histórica da população urbana no Brasil entre 1940 e 2010, evidenciando o aumento de 10.891.000 em 1940 para 160.879.708 em 2010.

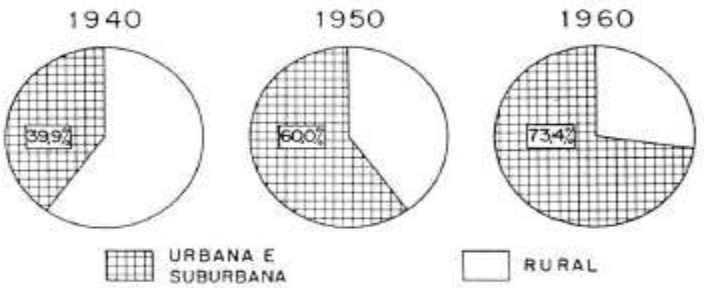
Tabela 1 - População total e urbana no Brasil entre 1940 a 2010.

Ano	População total	População urbana
1940	41.326.000	10.891.000
1950	51.944.000	18.783.000
1960	70.191.000	31.956.000
1970	93.139.000	52.905.000
1980	119.099.000	82.013.000
1991	150.400.000	115.700.000
2010	190.755.799	160.879.708

Fonte: Elaborado por Santos (2008, p. 32)

Na figura 1, verifica-se que entre 1940 e 1960 houve a diminuição relativa da população rural em Presidente Prudente - SP. Em 1940 a população urbana correspondia a 39,9% e em 1960 passou para 73,4%.

Figura 1 - População urbana, suburbana e rural – Presidente Prudente – SP.



Fonte: MEDEIROS (1967, p. 388).

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

Monteiro (1976) afirma que a urbanização é um fenômeno irreversível e que a cidade será cada vez mais o habitat do homem. Os efeitos causados pelas ações humanas são vistos e sentidos com maior intensidade no ambiente urbano, onde há o predomínio de áreas construídas, adensamento populacional e poucas áreas verdes. Assim, observam-se diferenças nos elementos do clima urbano em comparação ao rural (AMORIM, 2000).

As transformações na paisagem provocadas pelo surgimento e crescimento das cidades alteram o balanço de energia e o balanço hídrico. Estas modificações são provocadas pela retirada da vegetação original, aumento da circulação de veículos e pessoas, impermeabilização generalizada do solo, mudanças no relevo, concentração de edificações, canalização de córregos, além do lançamento de partículas e gases poluentes na atmosfera (AMORIM, 2000, p. 18).

Para Danni-Oliveira (1995), as diferentes formas do uso da terra modificam o balanço de energia. Áreas mais urbanizadas com maiores adensamentos de construções e pouca vegetação arbórea apresentam menores valores de evaporação juntamente com baixo albedo, proporcionando maior absorção de energia e gerando aumento da temperatura local.

Os materiais encontrados no ambiente urbano possuem capacidades distintas de armazenar e refletir energia, resultando na diferença do balanço de energia entre as áreas urbanas e rurais (GARTLAND, 2010). Essas alterações definem um clima específico se comparado com a porção não urbanizada da superfície.

Dessa maneira, o clima urbano se manifesta devido à interação entre a atmosfera local e à superfície dos espaços construídos, refletindo uma dinâmica de influência que está atrelada às características físicas do ambiente estudado e aos processos sociais e políticos envolvidos na ocupação e uso da terra nas cidades.

Para o diagnóstico da distribuição das diferenças de temperatura dos alvos, o sensor infravermelho termal é importante para fornecer dados da temperatura qualitativa da cidade, que muito pode contribuir na perspectiva do planejamento urbano, na medida em que são definidos padrões para a distribuição da temperatura na superfície de acordo com o uso e a ocupação da terra (AMORIM e MONTEIRO, 2011).

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

Desse modo, é essencial o aprofundamento nos estudos e o desenvolvimento de técnicas para o diagnóstico e representação espacial das ilhas de calor superficiais.

As ilhas de calor em áreas urbanas podem ser compreendidas quando se observa, conforme Oke (1978, p. 254), que "o ar na camada urbana é usualmente mais quente que nas áreas vizinhas".

A literatura aponta três tipos de ilhas de calor urbanas em função da camada onde são encontradas: 1 – a ilha de calor superficial, diagnosticada por meio do sensoriamento remoto; 2 – a ilha de calor atmosférica inferior, que Oke (1978) denominou *urban canopy layer*, estabelecida entre o nível do solo e o nível médio dos telhados; 3 - a ilha de calor da atmosfera urbana superior, denominada, segundo Oke (1978), de *urban boundary layer*.

Concordamos com Ramos *et al.* (2010) quando mostra que a evolução das técnicas e a facilidade de acesso às imagens orbitais têm permitido ao sensoriamento remoto tornar-se um importante instrumento para o monitoramento de processos ambientais, o qual tem sido usado com grande frequência nos estudos de climatologia, contribuindo para a elaboração de diagnósticos das ilhas de calor de superfície , mesmo com algumas limitações, tais como: resoluções espacial e temporal, cobertura de nuvens e horário de captura da cena.

Os sistemas sensoriamento remoto que operam no infravermelho termal registram a radiação, assim podemos utilizá-los para determinar, por exemplo, o tipo de material com base em suas características de emissão térmica e/ou se mudanças significativas ocorreram nas características termais desses fenômenos ao longo do tempo (JENSEN, 2009).

Além das temperaturas superficiais, na presente pesquisa as imagens orbitais, as técnicas de sensoriamento remoto e o geoprocessamento possibilitaram cálculos dos índices de vegetação, conforme a proposta do Rouse *et al.* (1973). O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) tem sido bastante utilizado para verificar a densidade da vegetação. Para isso, são utilizadas as bandas espectrais da região do vermelho e do infravermelho próximo que apresentam reflectâncias diferentes.

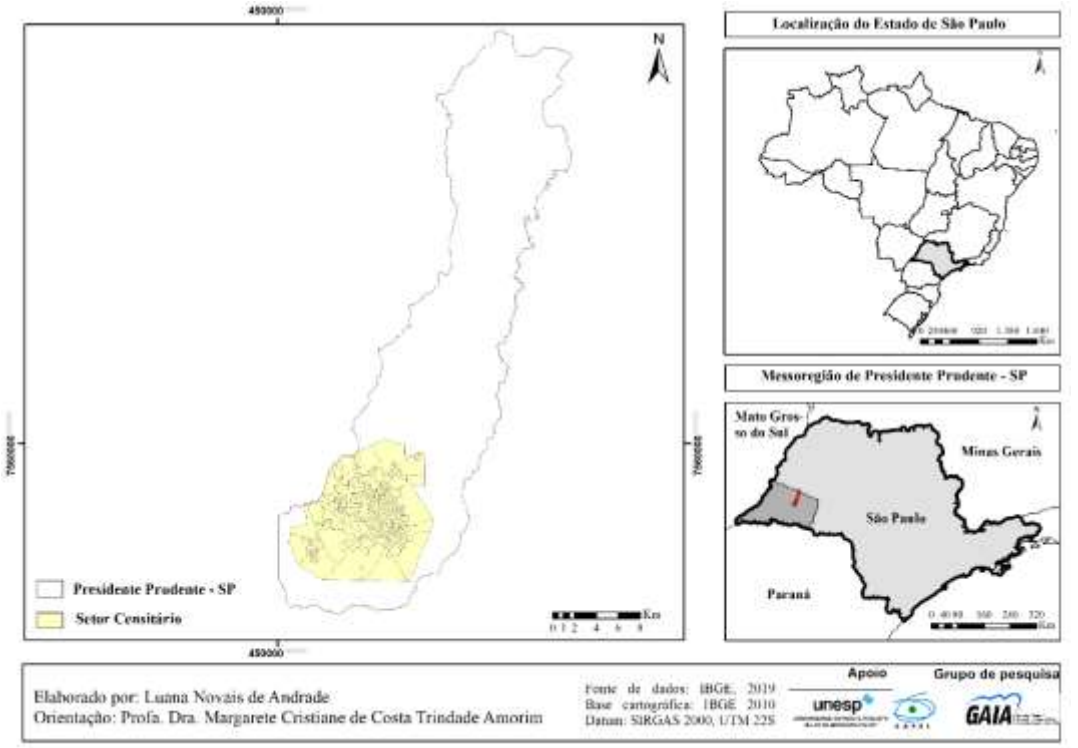
v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

Na região espectral do vermelho, a energia solar incidente sobre a superfície vegetal é absorvida fortemente devido às variações hídricas das plantas e à presença da clorofila e, consequentemente, resulta em uma baixa reflectância. Na região espectral do infravermelho próximo, a absorção é baixa e resulta em alta reflectância. Quanto mais atividade fotossintética das plantas, maior será a absorção do vermelho e reflectância do infravermelho. Assim, a diferença entre as reflectâncias das bandas do vermelho e do infravermelho será tanto maior quanto mais verde for a vegetação (VELASCO *et al*., 2007).

Assim, admite-se que as condições ambientais, climáticas e mesmo as propriedades térmicas (capacidade térmica, condutividade térmica, inércia termal) de cada superfície interferem de modo incisivo nas temperaturas dos alvos, modificando-as em pequenos intervalos de tempo, o que resulta na necessidade de identificar sob quais condições atmosféricas se encontrava a área no momento da tomada da imagem (MENESES e ALMEIDA, 2012). Presidente Prudente localiza-se no extremo oeste do Estado de São Paulo, e é sede da 10ª Região Administrativa do Estado de São Paulo (Figura 2). A cidade possui área territorial de 560,6 km² e a população é estimada em 231.953 habitantes, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021).

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

Figura 2 – Localização do município de Presidente Prudente – SP/Brasil.



Organização e elaboração: As autoras (2019)

Sant'Anna Neto e Tommaselli (2009, p. 9) afirmam que "conhecer as características do clima local e as combinações dos tipos de tempo que atuam na cidade é fundamental para o planejamento urbano e para a utilização dos recursos provenientes da atmosfera em proveito das ações pela sociedade".

Presidente Prudente possui clima tropical com duas estações definidas, um período de primavera/verão mais quente (temperaturas médias das máximas entre os 27ºC e 29ºC) e chuvoso (entre 150 e 200 mm mensais) e invernos amenos (com temperaturas médias das mínimas entre os 16ºC e 18ºC) e menos úmidos (chuvas mensais entre os 20 e 50mm) (AMORIM e MONTEIRO, 2011, p. 5).

Considerando-se as características da superfície, o objetivo deste artigo é diagnosticar a distribuição espacial da intensidade das ilhas de calor superficiais no período chuvoso e seco, sobretudo a densidade de vegetação no intraurbano e a interferência dos sistemas atmosféricos atuantes nos dias anteriores à tomada das imagens de satélite.

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a geração dos mapas de temperatura de superfície de Presidente Prudente, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, banda 10 do canal infravermelho termal/TIRS 1, com resolução espectral de 10.60 – 11.19 μm e resolução espacial de 100 metros, mas tratadas e disponibilizadas com pixel de 30 metros pela USGS (United States Geological Survey) (USGS, 2022). Tais imagens são disponibilizadas gratuitamente no sítio <http://earthexplorer.usgs.gov/>. O tratamento destas imagens resultou, por meio de procedimentos e técnicas de sensoriamento remoto, na produção de dois mapas de temperatura da superfície, sendo um representativo da estação seca (15/07/2017) o outro da estação chuvosa (23/01/2018).

Os procedimentos para a obtenção das temperaturas em grau Celsius (ºC) na imagem de satélite foram realizados no SIG – Sistema de informação Geográfica IDRISI em que as constantes de calibração radiométricas do sensor possibilitaram a conversão dos números digitais (ND) em energia radiante representados em tons de cinza. Para a conversão dos níveis de cinza em informações de radiância foi necessária a aplicação da fórmula:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L$$

Onde:

Quadro 1 – Elementos da fórmula de conversão para radiância.

Lλ	Radiância do topo da atmosfera (Watts/(m2 * srad * μm)
ML	Fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (RADIANCE_MULT_BAND_x, onde x é o número da banda)
Qcal	Valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN)
AL	Fator aditivo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (RADIANCE_ADD_BAND_x, onde x é o número da banda)

Fonte: USGS (2022).

A partir da energia radiante do canal infravermelho termal foi possível obter a temperatura dos alvos, em Kelvin, por meio da fórmula:

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

Onde:

Quadro 2 – Elementos da fórmula de conversão para Kelvin.

T	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin
K2	Constante de calibração 2 – valor – 1321.08
K1	Constante de calibração 1 – valor – 774.89
L	Radiância espectral, em Watts / (metro quadrado ster * * mm).

Fonte: USGS (2022).

Após esses procedimentos, foi aplicada a fórmula para converter a temperatura Kelvin em graus Celsius, subtraindo os valores de temperatura Kelvin de cada pixel da imagem por 273,15 pela equação:

$$°C = ImgK - 273{,}15$$

Onde:

Quadro 3 – Elementos da fórmula de conversão para graus Celsius.

°C	Temperatura da imagem em graus Celsius
ImgK	Temperatura da imagem em Kelvin

Fonte: USGS (2022).

Dessa maneira, utilizou-se o canal do infravermelho termal para diagnosticar a distribuição das temperaturas dos alvos com o objetivo de obter o realce das variações das ilhas de calor, a fim de apresentar as diferenças das temperaturas intraurbanas em relação aos ambientes rurais próximos, a subtraindo-se as imagens da menor temperatura registrada na cena.

Em complementação aos procedimentos anteriores, foi calculado o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normatizada) com o objetivo de comparar a distribuição da temperatura dos alvos em relação à vegetação. Para a geração do mapa de NDVI, os dados das imagens de satélite foram coletados no mesmo dia das imagens de satélites termais da banda (10) do Landsat 8. Para o NDVI foram selecionadas as

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

bandas espectrais da região do vermelho (4) e infravermelho próximo (5) do satélite Landsat 8, sensor OLI. Todos os tratamentos das imagens de satélites para a elaboração dos mapas foram realizados através da ferramenta *Raster Calculator* do SIG IDRISI. O NDVI foi calculado a partir da fórmula:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$$

Onde:

Quadro 4 – Elementos da fórmula do cálculo do NDVI.

IVP	Valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo.
V	Valor de reflectância da banda no vermelho.

Fonte: Rouse *et al.* (1973).

O NDVI foi obtido pela razão entre a diferença da reflectância do infravermelho próximo (IVP) e a reflectância do vermelho (V) dividida pela soma delas. A aplicação da fórmula gera um índice que varia de -1 a +1, possibilitando a comparação de áreas que apresentam vegetação significativa em relação àquelas que não apresentam cobertura vegetal densa, de modo que as variações das condições atmosféricas que interferem são mais atenuadas na utilização deste índice (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Com o intuito de cumprir com o objetivo proposto, optou-se pela seleção de imagens sem cobertura de nuvens, resultando em quatro mapas, sendo dois mapas termais e dois mapas de NDVI representativos da estação seca e chuvosa.

Além dos dados de temperatura de superfície e de NDVI, foi realizada uma classificação supervisionada para a análise e identificação da cobertura dos diferentes usos da terra. Para isso, utilizou-se os dados de imagem de satélite Landsat 8 com as bandas 5, 6 e 7 do sensor OLI. Por meio da classificação supervisionada, criou-se o mapa de cobertura da terra ao ser utilizado o classificador supervisionado por Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood Classification*) que considera a ponderação das distâncias das médias utilizando parâmetros estatísticos (CROSTA, 1992).

A classificação supervisionada foi elaborada no SIG Quantum GIS 2.18.15. Trata-se de uma das principais técnicas de extração de informação de imagens

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

multiespectrais. O objetivo da classificação é atribuir classes ou temas a todos os pixels da imagem automaticamente. Essa classificação é feita com base no padrão espectral presente em cada pixel, ou seja, no vetor de ND de cada pixel.

Posteriormente à classificação supervisionada, foi realizado o trabalho de campo, utilizado na validação da classificação com o intuito de comprovar as informações extraídas do sensoriamento remoto.

Para caracterizar as condições atmosféricas antes da tomada das imagens de satélite optou-se pela utilização da proposta teórico-metodológica da análise rítmica de Monteiro (1971), utilizando-se dados da estação meteorológica A707 do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) com o propósito de auxiliar na caracterização da sucessão dos tipos de tempo, e identificar ao nível diário os sistemas atmosféricos atuantes e como estes interferem na composição da ilha de calor e, consequentemente, na atividade fotossintética da vegetação do intraurbano e entorno rural.

Com os dados diários dos elementos do clima, das cartas sinóticas disponibilizadas pelo centro de hidrografia da marinha e das imagens de satélite GOES disponibilizadas pelo CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais <http://satelite.cptec.inpe.br > acessado em 25/04/2022. Todas as imagens e as cartas sinóticas foram obtidas no mesmo horário, às 9 horas (hora local). Identificou-se os sistemas atmosféricos atuantes dentro do recorte temporal da presente pesquisa, o que permitiu a análise da variabilidade da temperatura superficial e da presença da vegetação em Presidente Prudente em período seco e chuvoso.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os mapas de intensidade das ilhas de calor superficiais e dos índices de NDVI mostraram que a variabilidade espacial das temperaturas das superfícies no ambiente urbano densamente construído e rural próximo está relacionada com a distribuição da cobertura vegetal.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas as condições sinóticas que caracterizaram os períodos considerando o recorte temporal a nível diário, a fim de

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

identificar a sucessão dos tipos de tempo e, consequentemente, a dinâmica climática regional em que o município de Presidente Prudente está inserido.

Na Figura 3 são apresentadas imagens do período chuvoso. Entre o dia 01 de janeiro de 2018 até a data da passagem do satélite da imagem, 23/01/2018, registrou-se o total de 231,4 mm de precipitação acumulada, bem distribuída nos dias que antecederam a tomada das imagens de satélites.

Para compreender as diferenças das temperaturas das superfícies obtidas por meio das imagens termais do satélite Landsat 8 (banda 10), é importante verificar o ritmo climático, com o propósito de identificar os sistemas atmosféricos nos dias que antecederam a tomada das imagens.

Assim sendo, os sistemas atmosféricos atuantes foram identificados diariamente, sendo contabilizados no período chuvoso (janeiro): 9 dias de atuação da massa tropical atlântica (Ta). No mesmo período foram contabilizados 10 dias de atuação da instabilidade tropical (IT) e 7 dias sob a influência das frentes polar atlântica (FPA). Ambas imprimiram suas características nos elementos básicos do clima e foram responsáveis pela ocorrência de chuvas.

A imagem termal no período chuvoso, dado o aumento da biomassa e a alta atividade fotossintética da vegetação, possibilitou a comparação do padrão de aquecimento no ambiente intraurbano densamente construído em relação ao entorno próximo. Nesse período, a vegetação rasteira (pastagem), predominante no entorno rural de Presidente Prudente, apresentou-se bem desenvolvida. Também há alguns fragmentos de vegetação arbórea, particularmente nos fundos de vale, que possuem folhas bem desenvolvidas e que possibilitam ao ambiente rural apresentar temperaturas dos alvos menores do que nas áreas construídas e com solo exposto (AMORIM, 2017).

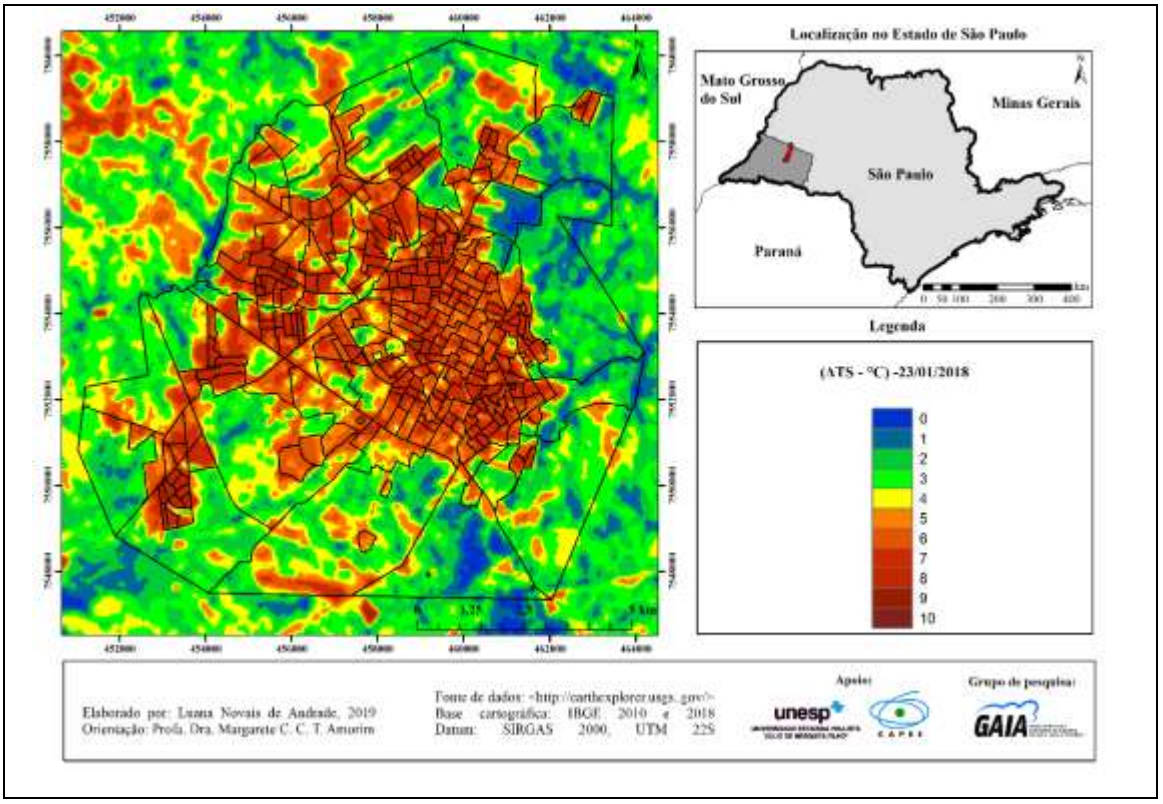
As menores temperaturas de superfície foram identificadas nas áreas de mata ciliar ao longo dos cursos d'água e em outras áreas com cobertura de vegetação arbórea, como demonstra o mapa termal e NDVI da Figura 3. A escala das diferenças das temperaturas de superfície do mapa termal variou entre 0ºC e 10ºC.

A superfície coberta por vegetação tem maior capacidade térmica e precisa de maior quantidade de energia para que sua temperatura aumente 1°C quando comparados com os materiais presentes no ambiente urbano (JENSEN, 2009).

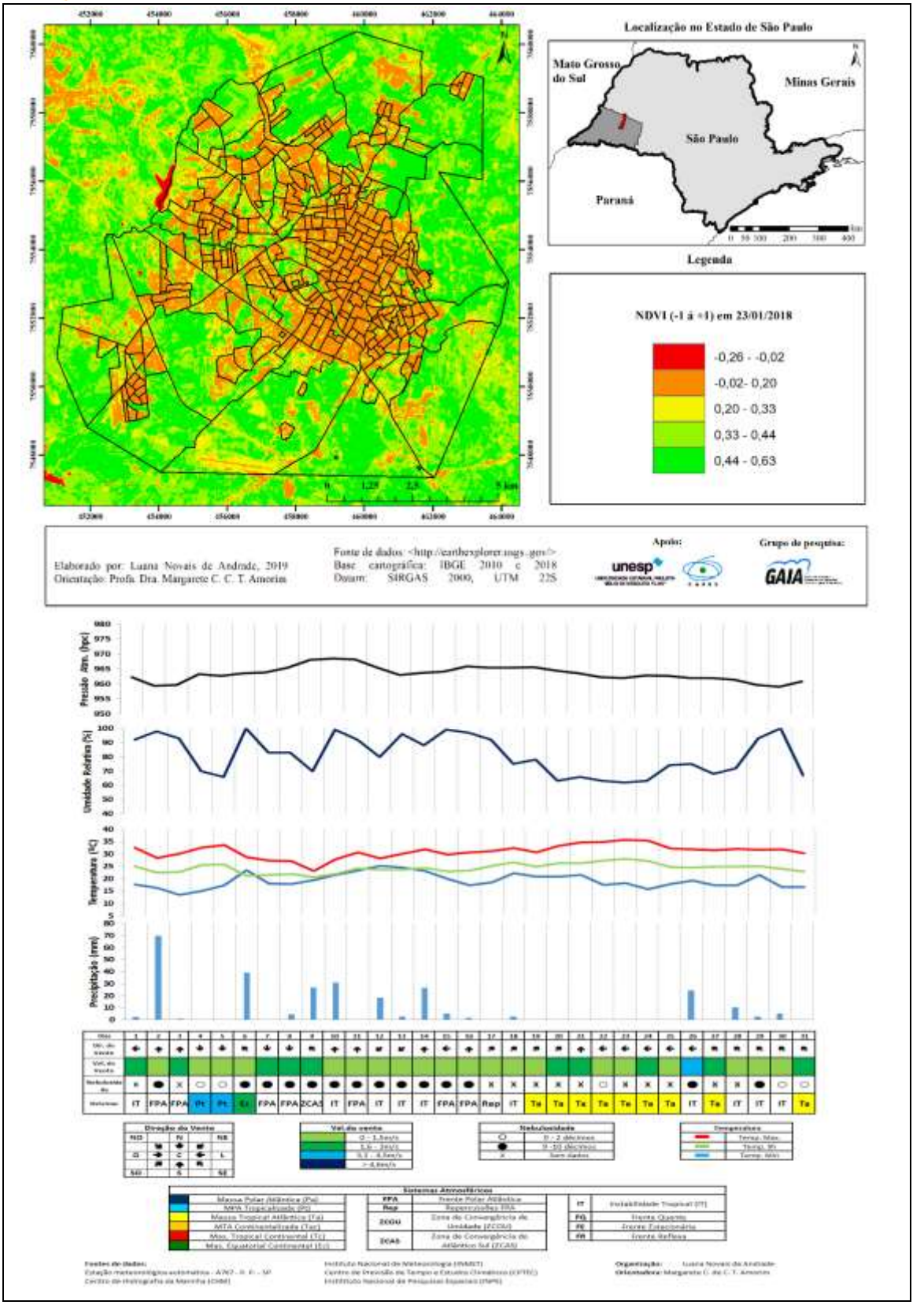
v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

A escala de variação do NDVI no dia 23/01/2018 ficou entre -0,26 e 0,63. As áreas menos impermeabilizadas e com cobertura vegetal nessa data se situaram na faixa de 0,33 a 0,44 e 0,44 a 0,63, representando o máximo da escala de variação e o estado de alta atividade fotossintética da massa vegetativa.

Figura 3-A - Distribuição espacial da intensidade das ilhas de calor de superfície e NDVI, considerando-se as precipitações que antecederam as imagens de satélite, 23/01/2018 (período chuvoso).



v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612



Fonte: USGS (2019); e INMET (2019).
Organização e elaboração: As autoras (2019)

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

Amorim (2017) mostrou que no período seco, quando as condições atmosféricas predominantes são estáveis e as chuvas são pouco frequentes durante o período anterior à aquisição de imagens, a perda das folhas e a ausência de cobertura vegetal resultam em aumento da exposição ao solo, afetando o balanço energético – albedo e, consequentemente, interferindo na temperatura dos alvos e nos índices de NDVI. Este fato também foi observado na presente pesquisa.

Na Figura 4, representativo do período seco (julho de 2017), foram contabilizados 11 dias de atuação da massa tropical atlântica (Ta), 8 dias sob a influência da massa polar atlântica (Pa) e 8 dias de atuação da massa polar topicalizada (Pt). Sob a atuação das polares foram registradas as menores temperaturas e maior estabilidade (sem precipitação).

As diferenças térmicas variaram entre 0ºC e 13ºC, no dia 15/07/2017. As áreas cobertas por vegetação no ambiente intraurbano e no rural tiveram temperaturas aproximadas, sendo que no ambiente intraurbano, variou entre 4°C a 13ºC, onde se registrou a maior intensidade de temperatura da superfície. No ambiente rural, variou na faixa entre 4°C a 10°C, representando pouca diferença em relação ao ambiente intraurbano densamente construído.

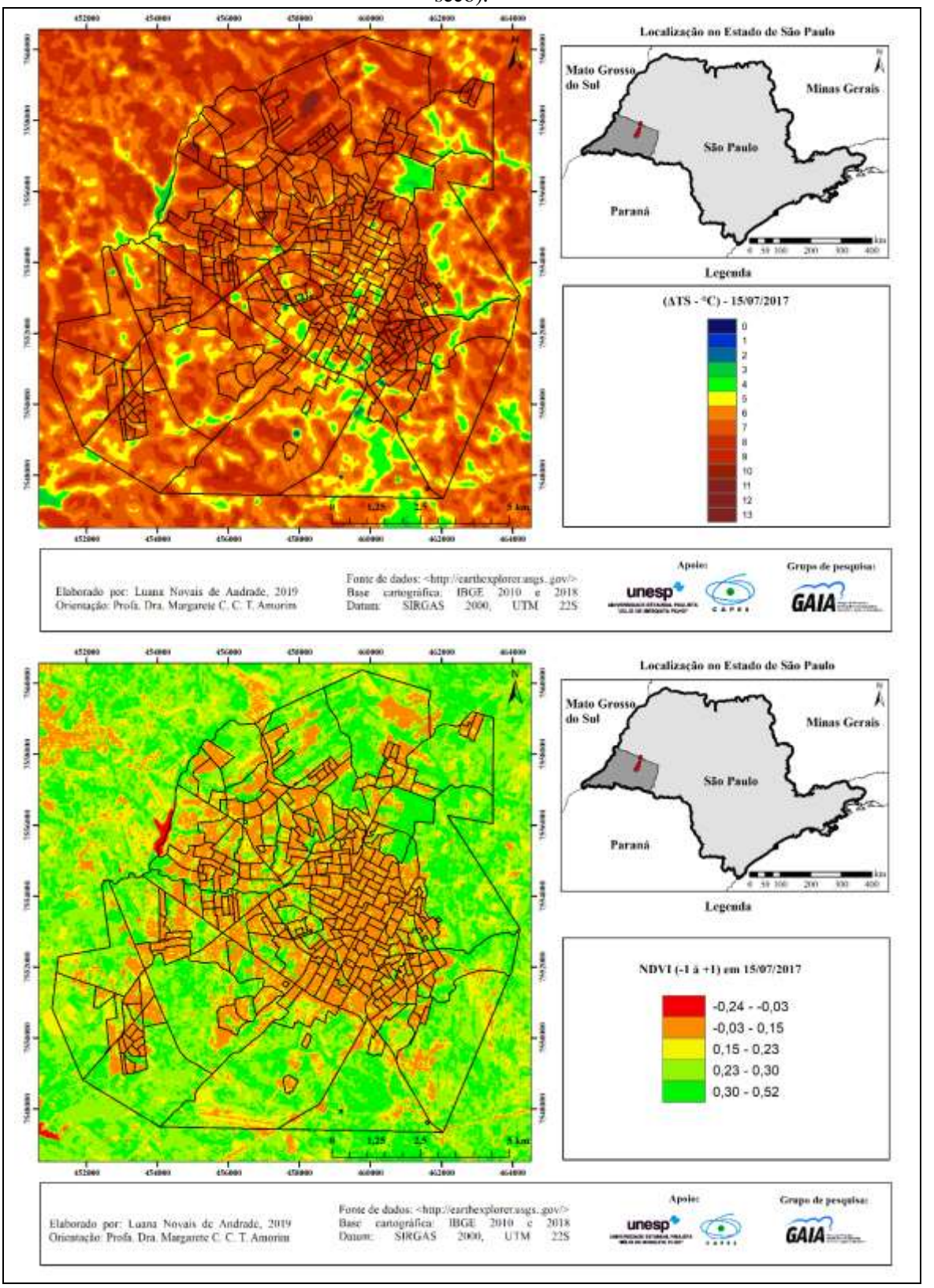
Os índices de NDVI representativos do período seco, no dia 15/07/2017, variaram entre -0,24 e 0,52. Os índices em áreas cobertas por vegetação no intraurbano variaram entre 0,15 a 0,23 e 0,23 a 0,30. Por sua vez, no ambiente rural próximo, variaram na faixa de 0,30 a 0,52, sendo esses pouco satisfatórios na escala de variação no ambiente rural em comparação ao intraurbano.

Devido aos menores totais de precipitação e consequente insuficiência hídrica proporcionada pela falta de chuva e diminuição de umidade no solo, a vegetação nas áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água e a vegetação rasteira apresentaram perda da sua exuberância com pouca atividade fotossintética.

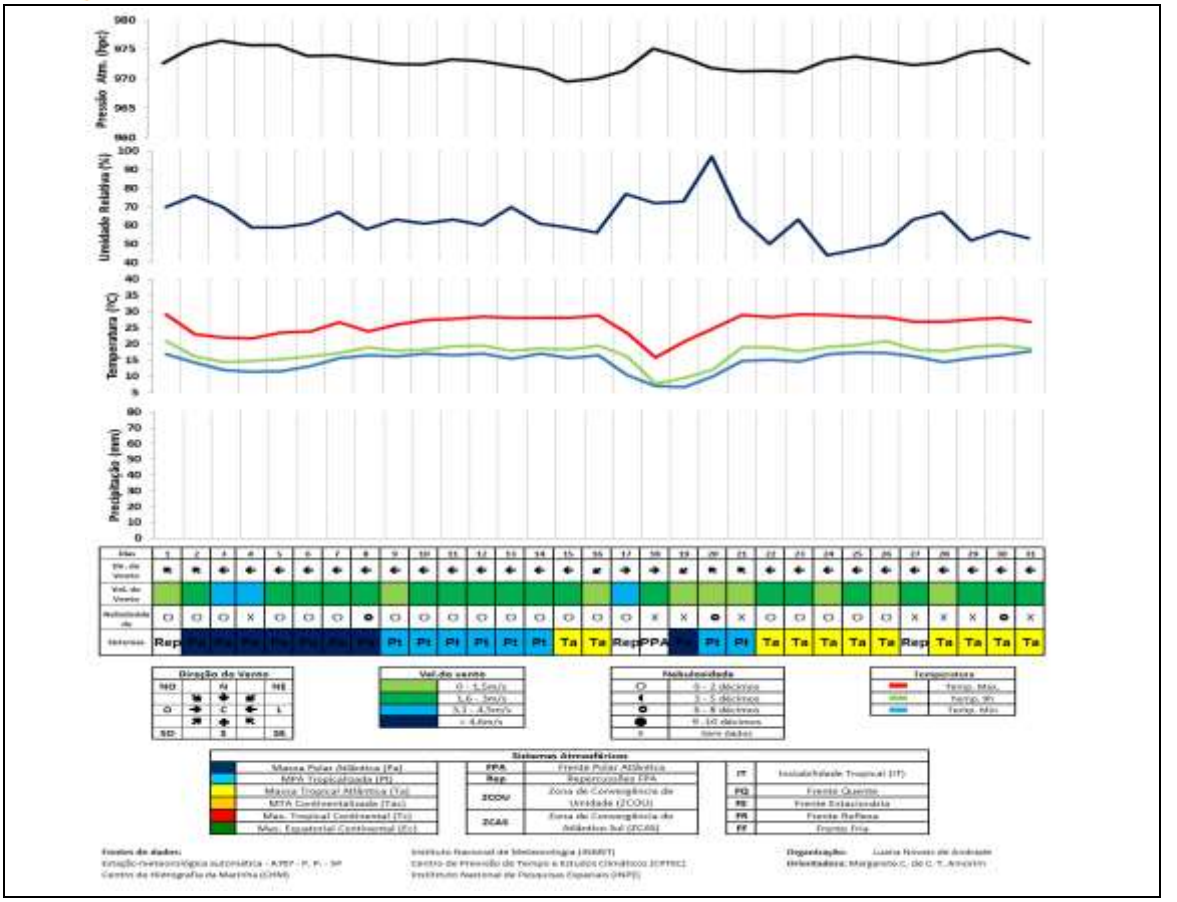
Assim, observa-se que os níveis de diferenças de temperatura de superfície nessas áreas apresentaram certa homogeneidade no ambiente urbano densamente construído em relação ao rural próximo, dificultando a identificação do padrão de aquecimento das características térmicas dos alvos, quando comparado à imagem do período chuvoso.

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

Figura 4 – Distribuição espacial da intensidade das ilhas de calor de superfície e NDVI, considerando-se as precipitações que antecederam as imagens de satélite, 15/07/2017 (período seco).



v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612



Fonte: USGS (2019); INMET (2019).
Organização e elaboração: As autoras (2019)

Estudos realizados na cidade Paranavaí-PR (DORIGON e AMORIM, 2013) apontaram resultados semelhantes. Nota-se que, devido à estiagem e ao período seco, não houve grandes diferenças entre a cidade e o campo, principalmente pela presença de extensas áreas de solo exposto na área ao redor da malha urbana. Ressalta-se que os pontos mais aquecidos da área urbana também estiveram diretamente relacionados à existência de solo exposto e seco, como novos loteamentos, ou à falta de cobertura arbórea, como no centro da cidade.

ANÁLISE DAS CLASSES DE COBERTURA E USOS DA TERRA, E TRABALHO DE CAMPO PARA VALIDAÇÃO DOS DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

A Figura 5 apresenta o mapa de cobertura e os diferentes usos da terra da malha urbana de Presidente Prudente em outubro de 2019. Também foram escolhidos

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

três pontos que, por consequência dos diferentes usos da terra, influenciam diretamente as diferenças das temperaturas de superfície. Assim, é possível observar que, nos três pontos das áreas destacadas, a vegetação densa representada pelo ponto 1, as construções pelo ponto 2 e a vegetação rasteira pelo ponto 3 distinguem as diferenças da temperatura de superfície e de NDVI.

No ponto 1 e foto 1 (Figura 5), está localizada a mata do Furquim, a nordeste da malha urbana. Observa-se a influência da vegetação na temperatura, pois possui cobertura densa de vegetação arbórea, elemento que torna a temperatura deste ponto mais amena.

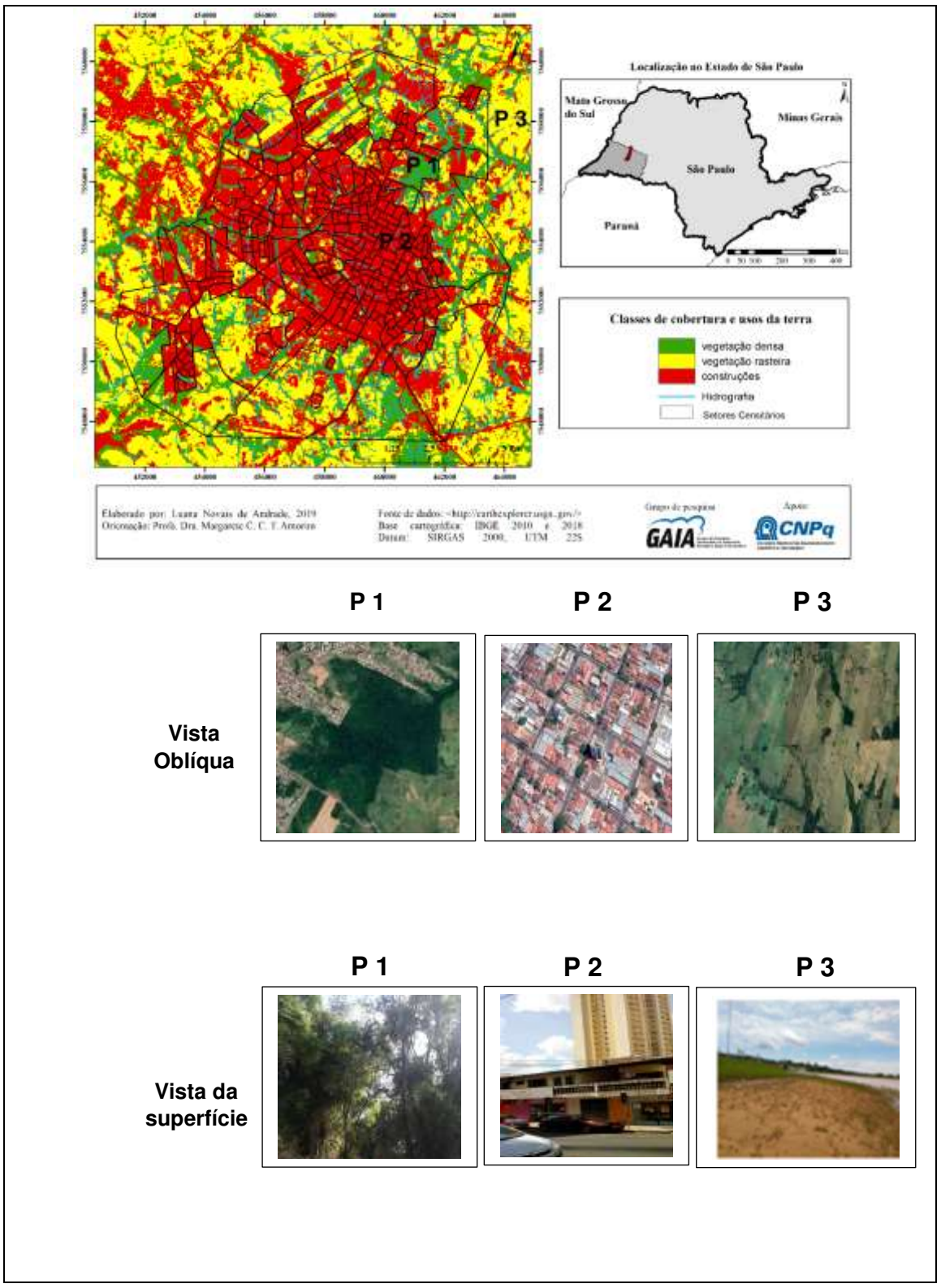
No ponto 2 e foto 2, nota-se a área do centro da cidade. Trata-se de área com alta densidade de construção, com a existência de alguns telhados de fibrocimento e com baixa presença de vegetação. Essas características, quando comparadas a outras áreas da cidade, justificam a alta temperatura de superfície como apresentado nos mapas das figuras 3 e 4. São áreas com diferenças de temperaturas de superfície mais elevadas, que variam entre 7ºC e 13ºC.

Já no ponto 3 e foto 3, verifica-se uma área com vegetação rasteira, com gramíneas e solo exposto. Em comparação com os mapas termais nessas áreas, a intensidade da temperatura variou entre 3°C e 6°C no período chuvoso. No período seco variou entre de 6°C e 11°C (Figura 4).

Verificou-se que as áreas com gramíneas (menos impermeabilizadas) e as áreas com cobertura vegetal localizadas em praças públicas com vegetação densa arbórea se enquadraram na faixa entre 3°C, 4ºC, 5ºC e 6°C no período chuvoso. No período seco houve variação entre 4ºC, 5ºC e 6°C. Em mata ciliar ao longo dos cursos d'água, variou entre 3°C, 4°C e 5°C no período chuvoso. Já no período seco houve variação entre 5°C, 6°C, 7°C e 8°C, representando uma diferença em relação ao ambiente urbano densamente construído em que se tem registrado a maior intensidade (13ºC) de temperatura dos alvos no período seco.

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

Figura 5 – Áreas destacadas para análise da temperatura de superfície, 2019.



Fonte: Google Earth (2019).
Organização e elaboração: as autoras (2019)

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

A partir das figuras apresentadas, pode-se constatar que os parques com cobertura vegetal e áreas verdes ajudam a reduzir a intensidade da temperatura de superfície em ambos os períodos (chuvoso e seco), enquanto no período seco as áreas com cobertura vegetal (gramínea) e comerciais com muitas superfícies impermeáveis, fluxo de automóveis e locais com alta concentração de edificação e densidade populacional foram identificadas maiores intensidade de temperatura de superfície.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados possibilitaram a identificação das características térmicas da superfície em imagens representativas dos períodos seco e chuvoso. Nas duas figuras dos mapas termais, em estações distintas, verificou-se que as intensidades das ilhas de calor superficiais em áreas cobertas por vegetação se apresentaram menores com relação à área urbana densamente construída, mesmo no período seco.

No período seco verificou-se que a intensidade da ilha de calor foi elevada mesmo nas áreas com vegetação arbórea e com vegetação rasteira, como as gramíneas. Observou-se que há homogeneidade na intensidade da ilha de calor urbana superficial, em comparação com a rural.

No mapa representativo do período chuvoso (Figura 3), a ilha de calor superficial foi mais intensa nas áreas construídas, quando comparadas com o entorno não construído (com vegetação rasteira e arbórea), devido à maior presença de precipitação nos dias que antecederam à tomada da imagem. Os efeitos da precipitação na vegetação podem ser verificados no mapa de NDVI (Figura 3). A vegetação ficou com as folhas mais desenvolvidas devido à alta atividade fotossintética, e a maior umidade no solo fez com que, comparativamente, as temperaturas superficiais nessas áreas fossem menores do que nos ambientes densamente construídos.

A chuva bem distribuída favoreceu a manutenção da biomassa vegetativa na área de estudo e, consequentemente, influenciou na conservação de umidade nas folhas e no solo, contribuindo para a diminuição da intensidade das temperaturas dos alvos.

Como afirmado por Ugeda Junior (2012), em meses mais chuvosos as áreas urbanas se apresentam mais aquecidas do que as áreas rurais. Esse padrão ocorre,

v. 14, n. 27, 2023 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

sobretudo, devido à substituição dos elementos naturais por materiais construtivos que são capazes de armazenar maior quantidade de energia durante o dia.

Contudo, as diferenças na intensidade das temperaturas superficiais estão diretamente relacionadas à ocorrência de precipitações nos períodos que antecederam à passagem de satélites. A presença de precipitação possibilita melhor identificação do padrão de aquecimento das características térmicas, quando se comparação a temperatura dos alvos entre áreas urbana e rural. Esperamos que os conteúdos expostos possam auxiliar futuras análises acerca dos fenômenos das ilhas de calor enquanto situação-problema e a arborização urbana como medida mitigadora desta questão.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação de Geografia da UNESP de Presidente Prudente – SP pelo apoio para realização desta pesquisa e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – processo: 88887.613644/2021-00 e ao projeto CAPES/COFECUB – processo: 88881.191765/2018-01.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – USP - Universidade de São Paulo, 2000. 374 p. Tese (Doutorado em Geografia).

AMORIM, M. C. C. T. **Teoria e método para o estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. Presidente Prudente: Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP - Universidade Estadual Paulista, 2017. 178 p. Tese (Livre-Docência em Climatologia Geográfica). p. 63-75.

AMORIM, M. C. C. T., MONTEIRO, A. As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal. **Confins**. Paris. v.13, p.1-18, 2011.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas: IG/UNICAMP. 1992.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. (1995). Aspectos conceituais do sistema clima urbano: uma breve revisão bibliográfica sobre as ilhas de calor. **Caderno de Geociências**. Rio de Janeiro, Nº15, julho/setembro de 1995.

DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. C. T. Estrutura térmica da superfície de Paranavaí/PR através do Landsat 7. **Caderno Prudentino de Geografia**. n. 2, p. 120-123, 2013.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor:** como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico,** 2021. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2022.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

MEDEIROS, A. L. **Presidente Prudente – São Paulo**. [s. l.]: Fundação IBGE – Instituto Brasileiro de Estatística, 1967. (Coleção de Monografias, nº 388). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/113/col_mono_n388_presidenteprudente.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2022.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org.). **Introdução ao Processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB/CNPq, 2012. 266 p. Disponível em: <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>. Acesso em: 29 jan. 2019.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MARKUS, Eva; GOMES, Katharina Markhan Ferreira. **Comparação da pluviosidade nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul nos invernos de 1957 e 1963**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1971. (Climatologia, 3).

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – USP - Universidade de São Paulo, 1976. Tese (Livre-Docência em Geografia).

OKE, T. **Boundary layer climates.** London: Metheuen & Co, 1978.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: Earth Resources Technology Satellite - 1 Symposium, 3. Proceedings. Washington: v.1, 1973. p. 309-317.

SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G. **O tempo e o clima de Presidente Prudente**. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2009.

SANTOS, M. A evolução recente da população urbana, agrícola e rural. **In A urbanização brasileira.** 5. ed. São Paulo: Edusp, 2008, p. 32.

SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e Urbanização.** São Paulo: Contexto, 1989.

UGEDA JUNIOR, J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales/SP**. Presidente Prudente: Faculdade de Ciências e Tecnologias – UNESP – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2012. 383 p. Tese (Doutorado em Geografia).

UNITED STATES OF AMERICA. **U.S. Geological Survey.** Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 09 mar 2022.

UNITED STATES OF AMERICA. U.S. **Geological Survey**. Disponível em: https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php . Acesso em: 09 abril 2022.

VELASCO, G.D.N; POLIZEL, J. L.; COLTRI, P. P.; LIMA, A. M. L. P.; SILVA FILHO, D. F. Aplicação do Índice de Vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) em Imagens de Alta Resolução no Município de São Paulo e suas Limitações. **Revista Brasileira de Arborização Urbana**, v. 2, p. 1-12, 2007.

Recebido em abril de 2022.

Revisão realizada em abril de 2023.

Aceito para publicação em junho de 2023.