

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DE ILHAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE EM PRESIDENTE PRUDENTE (SP)

Monique Cocco Teixeira¹

Amauri Donizete Ferraz Corrêa²

¹Geógrafa e Professora de Geografia, FCT/UNESP - Presidente Prudente,
monique.teixeira@unesp.br

² Geógrafo e Professor de Geografia, FCT/UNESP - Presidente Prudente,
amauri.ferraz@unesp.br

RESUMO

Este estudo teve como objetivo identificar e analisar a intensidade das temperaturas de superfície diurnas em Presidente Prudente – São Paulo/Brasil, levando em consideração os atributos geoambientais (vegetação) e urbanos (dinâmica urbana e uso e ocupação da terra), nas diferentes estações do ano, no período de janeiro de 2019 a dezembro de 2020. O embasamento teórico-metodológico utilizado foi a proposta do Sistema Clima Urbano, com ênfase no subsistema termodinâmico, mais próximo da percepção humana através do conforto térmico e a utilização do sensoriamento remoto por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e sua interferência na temperatura da superfície. Para esse intuito foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, o cálculo da temperatura dos alvos utilizou a banda 10 e o cálculo do NDVI nas bandas 4 e 5. Pode-se concluir por meio da investigação do NDVI que a vegetação proeminente, resultando um alto NDVI, é essencial na diminuição térmica dos alvos. Em contrapartida, o NDVI baixo, em consequência à alta densidade construtiva nas áreas urbanas ou áreas rurais próximas em estações de estiagem, propicia o aquecimento superficial.

Palavras-chave: Clima urbano. Sensoriamento remoto. Temperatura de superfície. NDVI.

ABSTRACT

This study aimed to identify and analyze the intensity of daytime surface temperatures in Presidente Prudente – São Paulo/Brazil, taking into account geoenvironmental (vegetation) and urban attributes (urban dynamics and land use and occupation), in different seasons of the year, the period from January 2019 to December 2020. The theoretical-methodological basis used was the proposal of the Urban Climate System, with emphasis on the thermodynamic subsystem, closer to human perception through thermal comfort and the use of remote sensing through of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and its interference in surface temperature. For this purpose, images from the Landsat 8 satellite were used, the calculation of the temperature of the targets used band 10 and the NDVI calculation used bands 4 and 5. It can be concluded through the investigation of the NDVI that the prominent vegetation, resulting in a high NDVI, is essential in the thermal decrease of the targets. On the other hand, the low NDVI, as a result of the high construction density in urban areas or nearby rural areas in dry seasons, favors surface heating.

Keywords: Urban climate. Remote sensing. Surface temperature. NDVI.

1 INTRODUÇÃO

A região de Presidente Prudente, assim como diversas outras do oeste do estado de São Paulo, sofreu inúmeras fases de ocupações de terras dos povos originários (índios, em sua maioria, caingangues), por meio de colonizadores e posseiros, o que resultou em intenso processo de transformação da paisagem original.

Presidente Prudente está a cerca de 558 km da capital estadual, ocupa uma área de 526,107km², e desta área, apenas 16,5600km² fazem parte do perímetro urbano. Sua estimativa populacional para o ano de 2020 é de 230.371 pessoas, com base no site do IBGE Cidades. Seu Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de 0,846.¹ Segundo o IBGE, a arborização de vias públicas corresponde a 95,9%.²

A cidade apresenta relevo levemente ondulado e solo predominante do grupo Arenito Bauru, apto a diversas culturas agrícolas. No que se refere à ocupação do solo, o município possui bairros mais antigos densamente habitados, Ross e Moroz (2011). O processo de urbanização de Presidente Prudente, desde o início em 1914, foi marcado por transformações na superfície, das mais simples para as mais complexas. A evolução da expansão urbana ao longo de cem anos (1917-2017). Houve a retirada da cobertura vegetal para fins construtivos e de circulação/mobilidade, além de canalizações de corpos d'água, sem um planejamento adequado, instaurando dessa forma, as ilhas de calor urbano, (AMORIM, 2000; 2017).

Ilhas de calor são formadas em áreas urbanas e suburbanas porque muitos materiais de construção comuns absorvem e retêm mais calor do que materiais naturais em áreas rurais menos urbanizadas. Existem duas razões principais para este aquecimento. A primeira é que a maior parte dos materiais de construção impermeável e estanque, e por essa razão não há umidade disponível para dissipar o calor do sol. A segunda é que a combinação dos materiais escuros de edifícios e pavimentos com configuração tipo cânion, absorve e armazena mais energia solar (GARTLAND, 2010, p. 10).

Neste sentido, a ausência da vegetação somada a impermeabilização do solo, a configuração geométrica da cidade e os materiais utilizados nas construções interferem na dinâmica do clima em escala local e regional. Sem a cobertura vegetal, a radiação incide de forma direta na superfície e promove o armazenamento de calor excessivo que, associado às condições do ar na atmosfera urbana, pode deflagrar problemas na saúde humana, tais como problemas cardíacos, respiratórios e de circulação (LOMBARDO, 1985; GARTLAND, 2010).

É deste modo que o presente trabalho visa abordar a questão do clima urbano, no contexto da cidade de Presidente Prudente/SP, considerando-se as variáveis como: cobertura do solo, sobretudo no que se refere a densidade construtiva e vegetativa no intraurbano em comparação com o entorno rural próximo e principalmente verificar a interferência da vegetação no ambiente urbano.

Tem-se como pressuposto de que a vegetação pode contribuir na melhoria das condições microclimáticas das cidades, por meio da diminuição da temperatura do ar e, conseqüentemente, aliviando o estresse térmico provocado pelas altas temperaturas no ambiente urbano.

¹ <http://www.presidenteprudente.sp.gov.br/site/acida.de.xhtml>

² <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/presidente-prudente/panorama>

No tocante à vegetação, destacam-se ainda, além de sua importância para o controle climático, o controle da poluição do ar e acústica, melhoria da qualidade estética, efeitos positivos sobre a saúde mental da população, aumento do conforto ambiental, valorização de espaços para convívio social, valorização econômica das propriedades e formação de uma memória e do patrimônio cultural (OLIVEIRA, 1996 apud SHAMS et al, 2009, p.9).

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS OU METODOLOGIA

Para dar fundamentação teórico-metodológica ao trabalho, os procedimentos consistiram na revisão bibliográfica no que tange a temática do clima urbano e a utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto (MENESES, 2012).

Adotando como referencial teórico Monteiro (1976), sob a luz da Teoria Geral dos Sistemas, o Sistema Clima Urbano, parte da perspectiva integradora entre o homem e a natureza, que se relacionam através do espaço modificado, levando em consideração suas respectivas trocas de fluxos de energia e matéria.

No contexto do Sistema Clima Urbano (SCU), Monteiro propõe a adoção de três subsistemas para a análise e interpretação da atmosfera urbana, sendo eles o termodinâmico, o físico-químico e o hidrometeorológico. O enfoque deste trabalho se deu no subsistema termodinâmico, uma vez que as ilhas de calor superficiais se materializam neste canal, sobretudo no tocante à troca de energia e matéria.

De acordo com Oke (1978), há três tipos de ilhas de calor urbano, tais quais: Ilha de calor urbano de subsuperfície (subterrânea); Ilha de calor atmosférica e Ilha de calor superficial (a qual este estudo se qualifica por meio das análises dos resultados).

São várias as causas das ilhas de calor urbano que vão ditar sua intensidade (GARCÍA, FÉRNADEZ, 1996), porém as mais comuns estão relacionadas ao albedo e infraestrutura, redução da vegetação em áreas urbanas, calor antropogênico, geometria urbana, localização geográfica e clima regional/local. Na qual toda matéria a uma temperatura absoluta acima de zero (°K) emite energia. Por meio desta óptica, todo corpo com temperatura absoluta acima de zero, pode ser considerado como uma fonte de radiação.

Por meio deste estudo, foram elaborados mapas de temperatura da superfície em Presidente Prudente, bem como mapas de NDVI (RAMOS, 2010) com recorte temporal das datas de: (02/05/2019; 22/08/2019; 07/09/2019; 25/10/2019; 04/05/2020; 21/06/2020; 07/07/2020; e 08/08/2020), considerando os totais de precipitação nos dias que antecederam a tomada das imagens (em um intervalo temporal de 5 em 5 dias). Com o intuito de representar, de forma espacializada, a distribuição da cobertura vegetal na referida cidade, para que se verificasse a ocorrência das mais altas (ou baixas) temperaturas aliadas com a cobertura vegetal em tais pontos.

Para a geração dos mapas da temperatura da superfície em Presidente Prudente (SP) 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 30 metros.

Os procedimentos para a obtenção das temperaturas em grau Celsius (°C) na imagem de satélite foram realizados no aplicativo IDRISI versão Selva, marca registrada da Clark University, enquanto a padronização da legenda e adição de coordenadas foi feita por meio do aplicativo ArcMap 10.8.1, e a finalização dos mapas (layout e agrupamento das imagens) foi

feita por meio do aplicativo Surfer 11. As constantes de calibração radiométrica do sensor possibilitam 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 é necessário a aplicação da fórmula:

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

QUADRO 1 – ELEMENTOS DA FÓRMULA DE CONVERSÃO PARA RADIÂNCIA.³

L λ	Radiância do topo da atmosfera (Watts/(m ² * srad * μ m))
M _L	Fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (RADIANCE_MULT_BAND_x, onde x é o número da banda)
Q _{cal}	Valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN)
A _L	Fator aditivo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (RADIANCE_ADD_BAND_x, onde x é o número da banda)

Fonte: Os autores (2022).

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

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

QUADRO 2 – ELEMENTOS DA FÓRMULA DE CONVERSÃO PARA KELVIN.⁴

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: Os autores (2022).

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

³ USGS (2021), https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php

⁴ USGS (2021), https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php

$$^{\circ}\text{C} = \text{ImgK} - 273,15$$

QUADRO 3 – ELEMENTOS DA FÓRMULA DE CONVERSÃO PARA GRAUS CELSIUS.

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

Fonte: Os autores (2022).

A partir da aquisição das temperaturas superficiais, estas serão aplicadas sob a malha urbana de Embu das Artes e, assim, o layout final será processado. O recorte temporal escolhido terá como base as datas com boa qualidade e resolução espectral das imagens. Também será calculado o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), que abrange valores que variam de -1 a 1, indicando a densidade, o vigor e a atividade fotossintética da vegetação (SANTOS; NEGRINI, 1997).

O NDVI é calculado a partir da fórmula:

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

QUADRO 4 – ELEMENTOS DA FÓRMULA DO CÁLCULO DO NDVI.⁵

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

Fonte: Os autores (2022).

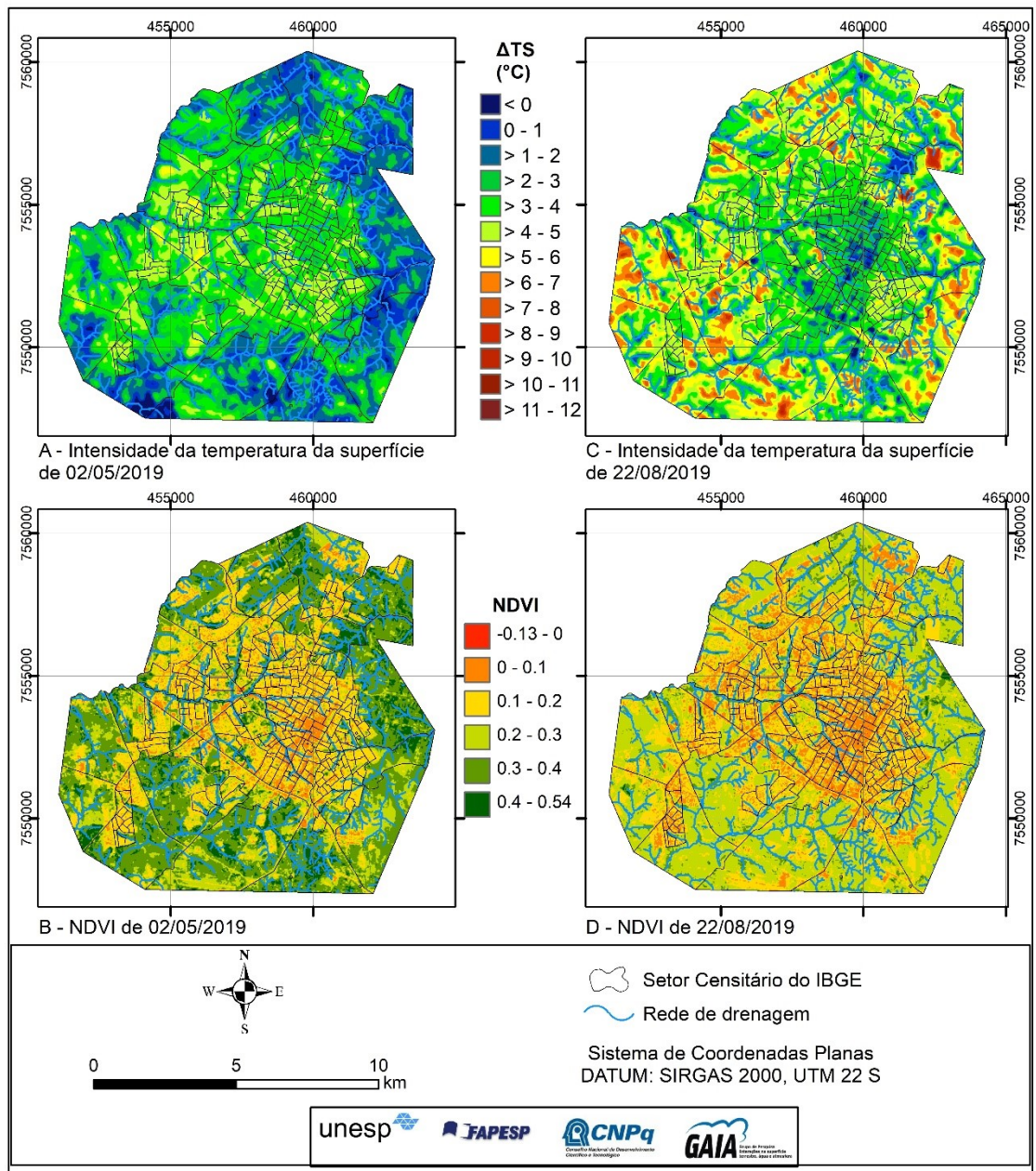
Os índices próximos a 1 são representantes das melhores condições elencadas e os próximos a -1 das piores condições. Para a realização desta etapa, também serão utilizadas imagens do satélite *Landsat 8* (com o mesmo recorte temporal das imagens obtidas para o mapeamento térmico da superfície), exclusivamente as bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo), para em ambiente SIG, efetuar os cálculos matemáticos necessários para derivar os valores representativos da área de estudo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Partindo do pressuposto adotado por Amorim (2017), a análise das imagens da (Figura 1) mostram que a magnitude das ilhas de calor superficiais urbanas foi diferente quando se compara o intraurbano e o entorno rural próximo. Na imagem A, as maiores intensidades foram registradas nas áreas construídas e na imagem C (Figura 1), as maiores intensidades foram registradas nas áreas de solo exposto do entorno rural próximo. Esta diferença na distribuição espacial das temperaturas dos alvos está diretamente relacionada com a quantidade de água presente no sistema, ou seja, com a ocorrência de precipitação nos períodos que antecederam a tomada das imagens.

⁵ ROUSE et al. (1973).

FIGURA 1 – Representação cartográfica da intensidade de temperatura da superfície e do NDVI em 02/05/2019 (coluna esquerda, imagens A e B) e em 22/08/2019 (coluna direita, imagens C e D).



Fonte: Os autores (2022).

Nos 30 dias que antecederam a obtenção das imagens (Quadro 1) do dia 02 de maio de 2019 (Figura 1 - imagens A e B), foram registrados 71,4 milímetros (mm) de precipitação. No dia da tomada de imagem do satélite Landsat 8, a área de estudo esteve sob a atuação da Massa Polar Atlântica Tropicalizada (mPt).

QUADRO 5 – PRECIPITAÇÃO NOS 30 DIAS QUE ANTECEDERAM A TOMADA DAS IMAGENS DE SATÉLITE

DIAS	5	10	15	20	25	30 – Total (mm)
05/05/2019	15,4	15,4	69,6	69,6	71,4	71,4
22/08/2019	0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Fonte: Os autores (2022).

Comparando ambos os mapas (temperatura de superfície e NDVI) para o mesmo dia (imagens A e B da Figura 1), observa-se que os locais com os menores índices de NDVI são aqueles mais quentes, o que representa menor densidade de cobertura vegetal, como é o caso da área central e alguns bairros da cidade, apresentando valores de NDVI de 0 a 0,1. Nas áreas com maior cobertura vegetal, o NDVI mostra valores maiores, que parte de 0,3 chegando à 0,54, o que representa maior desenvolvimento da cobertura vegetal. Tais valores foram verificados nas regiões norte, nordeste, sul-sudoeste e leste da malha urbana, todas fora do contexto de densidade construtiva e com rede de drenagem nas proximidades.

Nos mapas do dia 22 de agosto de 2019 da (Figura 1 - imagens C e D), verifica-se o aumento da intensidade das temperaturas dos alvos (imagem C) e a diminuição do NDVI (imagem D) no ambiente rural próximo. Isso ocorreu devido ao baixo total de precipitação nos 30 dias que antecederam a tomada das imagens, sendo registrado apenas 0,4mm. Para a região Sudeste, a estação chuvosa ocorre entre os meses de outubro a março, portanto, o mês de agosto é um dos meses mais secos de todo o ano. Para esta data, houve atuação da Massa Polar Atlântica Tropicalizada (mPt).

As imagens de 22/08/2019, evidenciam as consequências da diminuição da precipitação no período que antecede a tomada da imagem, pois interferem no desenvolvimento da vegetação, fazendo com que em algumas áreas menos construídas e com cobertura vegetal rasteira, o solo fique exposto, explicando as altas temperatura dos alvos (AMORIM, 2017). Isso ocorre porque o solo exposto absorve maior quantidade de energia eletromagnética do que perde, pois há a falta da cobertura vegetal que transfere parte energia absorvida através da evaporação e evapotranspiração, portanto, concentram maior coeficiente de calor (JENSEN, 2009).

Agosto como mês representativo da estação de inverno (período de estiagem), interfere de maneira direta em relação ao desenvolvimento da vegetação, uma vez que esta apresenta valores inferiores de desenvolvimento vegetal em termos comparativos com a imagem (NDVI de 02/05/2019).

Dessa forma, o comportamento espectral dos alvos se altera em relação ao período chuvoso, e apresenta reflectância mais baixa e maior absorção da energia eletromagnética. Isso ocorre em função da vegetação se apresentar mais ‘pobre’, ou seja, em áreas com predominância de vegetação rasteira ou pouca cobertura vegetal arbórea, a biomassa é enfraquecida, o que faz com que as taxas de evaporação e evapotranspiração também decaem. Comparando o mapa da intensidade de temperatura superficial e o NDVI, é nítido esta relação, uma vez que com a falta de água no sistema, o solo exposto apresenta capacidade de reflectância reduzida, armazenando mais calor.

Deste modo, nas imagens C e D da Figura 1, verifica-se que nas áreas centrais, e em alguns pontos da cidade (nordeste, sul, sudeste e algumas áreas a oeste), regiões com maior

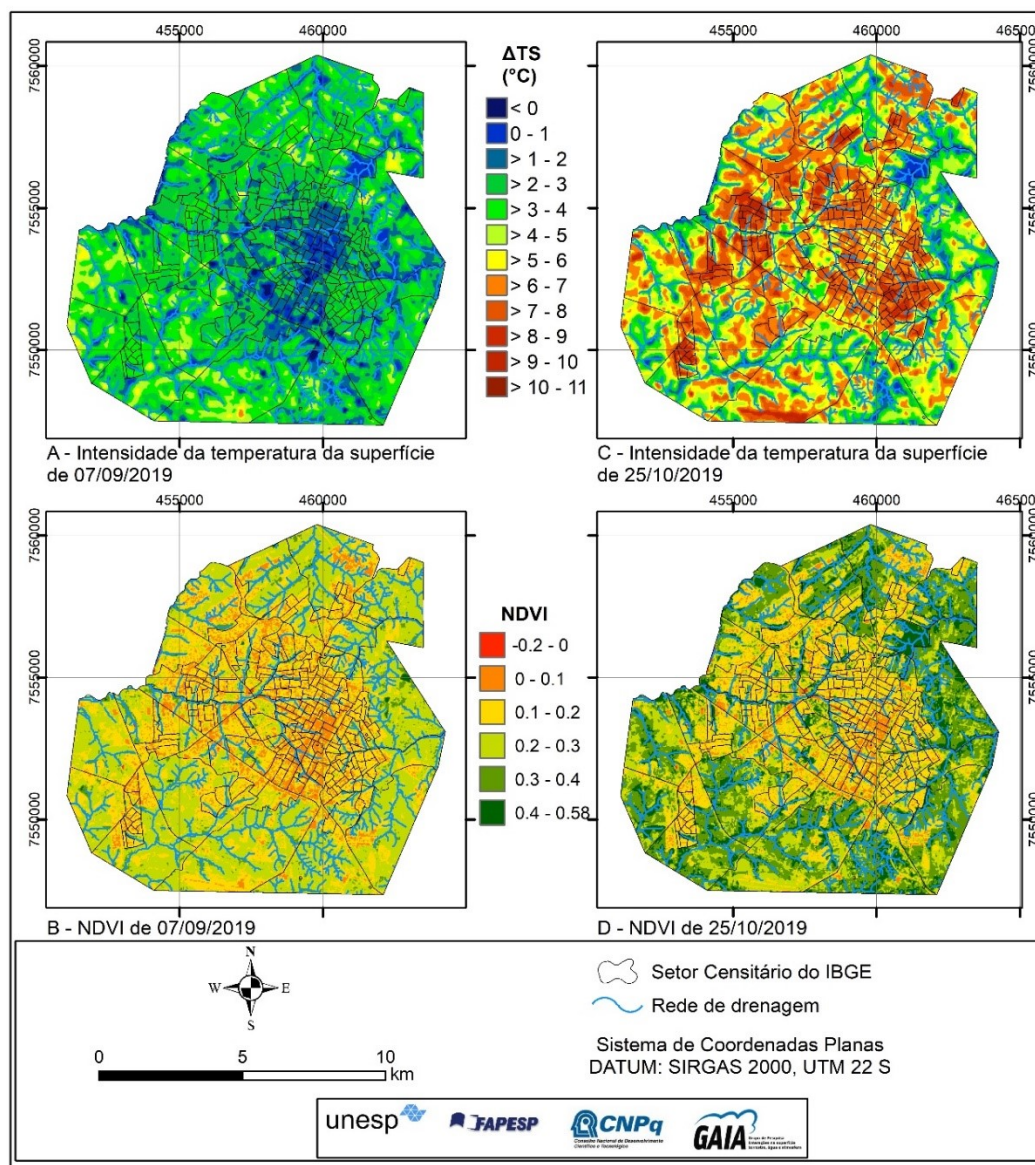
densidade construtiva e populacional, apresenta valores de <0 a 2°C na intensidade de temperatura. Valores estes inferiores àquelas regiões com menor densidade construtiva, e presença de rede de drenagem nas proximidades, que apresentam valores entre 0 e 0.2 em termos de NDVI.

É importante ressaltar que, por mais que haja água subterrânea presente nas regiões limítrofes, algumas espécies vegetativas não possuem raízes extensas para a captação destas. Tanto que a temperatura superficial registrada nas áreas fora do limite urbano, apresentam amplitude térmica que variam entre 6-7; 7-8; 9-10 $^{\circ}\text{C}$ (nas porções sudoeste) e 9-10; 10-11 $^{\circ}\text{C}$ na porção nordeste.

Na imagem D do dia 22/08/2019, verifica-se que a vegetação existente nos arredores urbanos e em áreas pontuais da cidade, se desenvolveu de forma significativa. Apresenta valores que variam entre (0,2-0,3; 0,3-0,4; 0,4 e 0,58) nas porções nordeste, sudoeste, sul e sudeste. No centro da malha urbana, estes valores variam desde (0-0,1 até 0,2).

O mapa da intensidade da temperatura de superfície (Figura 2, imagem A) apresentou valores inferiores daqueles representados anteriormente na imagem C da Figura 1, que variaram de <0 a $1-2^{\circ}\text{C}$, sobretudo no centro da cidade, local onde há a menor concentração de cobertura vegetal. Em termos de NDVI (Figura 2, imagem B), a área central da cidade exhibe valores de 0 a 0,2, e em áreas próximas ao centro, a redução da temperatura também foi notável, apresentando valores que variam de 2 a 4 $^{\circ}\text{C}$.

FIGURA 2 – Representação cartográfica da intensidade de temperatura da superfície e do NDVI em 07/09/2019 (coluna esquerda, imagens A e B) e em 25/10/2019 (coluna direita, imagens C e D).



Fonte: Os autores (2022).

QUADRO 6 – PRECIPITAÇÃO NOS 30 DIAS QUE ANTECEDERAM A TOMADA DAS IMAGENS DE SATÉLITE

DIAS	5	10	15	20	25	30 – Total (mm)
07/09/2019	0	0	0	0	26,4	26,4
25/10/2019	0	12,2	13,6	13,6	36	87.2

Fonte: Os autores (2022).

No mês de setembro, em sua sazonalidade, é um mês de transição entre o inverno e primavera, portanto, apresenta características do tempo seco que se materializam em escala

local. Para o dia 07 de setembro de 2019 – levando em consideração os 30 dias anteriores a tomada das imagens – foram registrados 26,4 mm de precipitação, com predominância da massa polar atlântica (mPa), e com variações entre Massa Polar Atlântica Tropicalizada (mPt) e Massa Tropical Atlântica (mTa). No dia da tomada da imagem do satélite Landsat 8, atuou sobre a área de estudo, a massa Polar Atlântica.

A cidade apresentou, portanto, intensidades mais baixas do que o entorno rural próximo, pois os totais de precipitação anteriores à tomada das imagens não foram suficientes para revigorar completamente a vegetação. Esta é uma característica do mês de setembro, por ser um mês de transição entre o período seco e chuvoso e interferir de forma direta no desenvolvimento da vegetação.

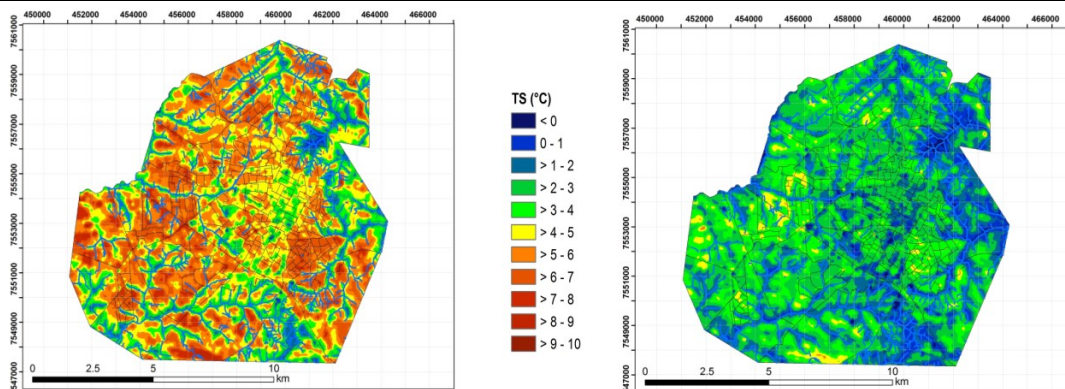
Nos 30 dias que antecederam a tomada das imagens do dia 25 de outubro de 2019, foram registrados 87,2 mm de precipitação, sendo este o maior total pluviométrico observado em relação aos outros meses de 2019. Tal precipitação proporcionou o desenvolvimento da cobertura vegetal especialmente a rasteira (Figura 2, imagem D), que resultou na diminuição das temperaturas dos alvos no entorno rural próximo (Figura 2, imagem C).

No dia 25/10/2019 houve atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa), o que explica as altas temperaturas e a oscilação na umidade relativa do ar. Com base na interpretação dos mapas, observam-se altos valores na intensidade da temperatura de superfície no centro urbano (>5-6; 6-7; 7-8°C) e nos bairros construídos (>7-8; 8-9; 9-10 e 10-11°C) principalmente nas porções oeste, sul-sudoeste, nordeste e noroeste (Figura 3, imagem C). Isso ocorreu devido ao fato de a vegetação ter se desenvolvido no entorno rural próximo, amenizando a temperatura superficial nas áreas vegetadas e, conseqüentemente, deflagrando temperaturas mais altas nas áreas construídas e sem vegetação significativa.

No dia 04/05/2020 (Figura 3, imagens A e B), nos dados do INMET, consta que nos 30 dias que antecederam a obtenção das imagens, foram registrados 59,6 mm de precipitação e a atuação da massa Tropical Atlântica (mTa).

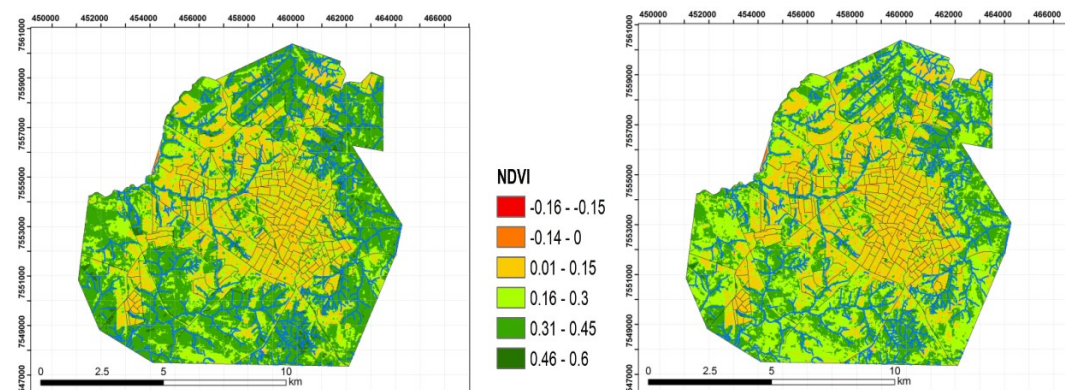
FIGURA 3 – Representação cartográfica da intensidade de temperatura da superfície e do NDVI em 04/05/2020 (coluna esquerda, imagens A e B) e em 21/06/2020 (coluna direita, imagens C e D).

Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Presidente Prudente (SP)



A - Intensidade da temperatura da superfície de 04/05/2020

C - Intensidade da temperatura da superfície de 21/06/2020



B - NDVI de 04/05/2020

D - NDVI de 21/06/2020



Fonte: Os autores (2022).

QUADRO 7 – PRECIPITAÇÃO NOS 30 DIAS QUE ANTECEDERAM A TOMADA DAS IMAGENS DE SATÉLITE

DIAS	5	10	15	20	25	30 – Total (mm)
04/05/2020	35	59,6	59,6	59,6	59,6	59,6
21/06/2020	61,7	61,7	97,7	108,5	108,5	108,5

Fonte: Os autores (2022).

Em termos de comparação, o mês de maio de 2019 apresentou temperaturas mais baixas em relação ao mês de maio de 2020, isso ocorreu devido ao fato de o dia 04 de maio de 2020 apresentar valores pluviométricos abaixo do que foi apresentado no ano passado.

A área com menor temperatura na Figura 2 (imagem A), inclusive é a mesma selecionada como sendo o ‘ponto 0’ deste trabalho. No referido mapa, as áreas com menores temperaturas são aquelas fora do perímetro urbano ou locais bastante pontuais na cidade, onde no mapa de NDVI para o mesmo dia, pode-se evidenciar que estes picos mais frescos no intraurbano são aqueles com maior cobertura vegetal concentrada.

Os valores do mapa de temperatura de superfície presentes na imagem A da Figura 2, variam conforme a densidade construtiva, o tipo de material utilizado para tais construções, a posição geográfica em que se encontra, bem como o tipo e a densidade vegetativa presente em determinados locais. Tais valores variam de 0 a 10°C em toda a extensão do município.

Na porção oeste, noroeste, sul e sudeste são as regiões que registraram as maiores temperaturas superficiais para este dia (04/05/2020), que variam entre: 6-7°; 7-8°; e 9-10°C. No mapa de NDVI nota-se que estas mesmas regiões apresentam cobertura vegetal pouco densa e pouco desenvolvida em função do total pluviométrico até esta data, ou seja, a vegetação se encontrava enfraquecida e isso faz com que o seu comportamento perante a radiação e absorção da radiação, variem. Para estas áreas (oeste, noroeste, sul e sudeste), ainda no mapa de NDVI, apresentam valores de 0,01 – 0,15; 0,16 – 0,3; 0,31 a 0,46.

A análise dos mapas referentes a 21 de junho de 2020 (Figura 2) imagens C e D, marca o último dia da estação de outono para o primeiro dia do período de estiagem (inverno – 22 de jun.), portanto, os valores totais de precipitação tendem a diminuir, apresentando características do tempo seco e frio.

Até esta data, foram registrados 108,5 mm de precipitação, algo fora do habitual, levando-se em consideração o padrão pluviométrico para o inverno. Sobretudo, considerando-se os dados disponibilizados pela carta de pressão, pode-se perceber a formação de uma frente vindo à sudeste, a qual compreende-se que seja o desenvolvimento de uma instabilidade tropical, explicando as altas taxas pluviométricas.

O mapa de temperatura superficial para o dia 21/06/2020, apresentou pouca variação em termos de amplitude térmica, devido à menor temperatura do ar decorrente das massas de ar que circulam nesta região no final do outono para o começo do inverno. A amplitude térmica observada para este dia foi de 5°C.

Aqui observa-se um fenômeno importante. As menores temperaturas observadas no intraurbano, não condizem, necessariamente, com as áreas densamente vegetadas. Isso porque com a chegada do inverno, algumas espécies arbóreas perdem parte de sua biomassa naturalmente, adaptando-se ao clima local; vide o caso das espécies *semicaducifóleas* que perdem suas folhas nas estações de estiagem como modo de conservação de energia e perpetuação da espécie.

É importante que se tenha estabelecido que a diversidade de espécies vegetais, sobretudo arbóreas na cidade, também no município, podem variar e interferir no modo como se comportam com a troca de energia eletromagnética.

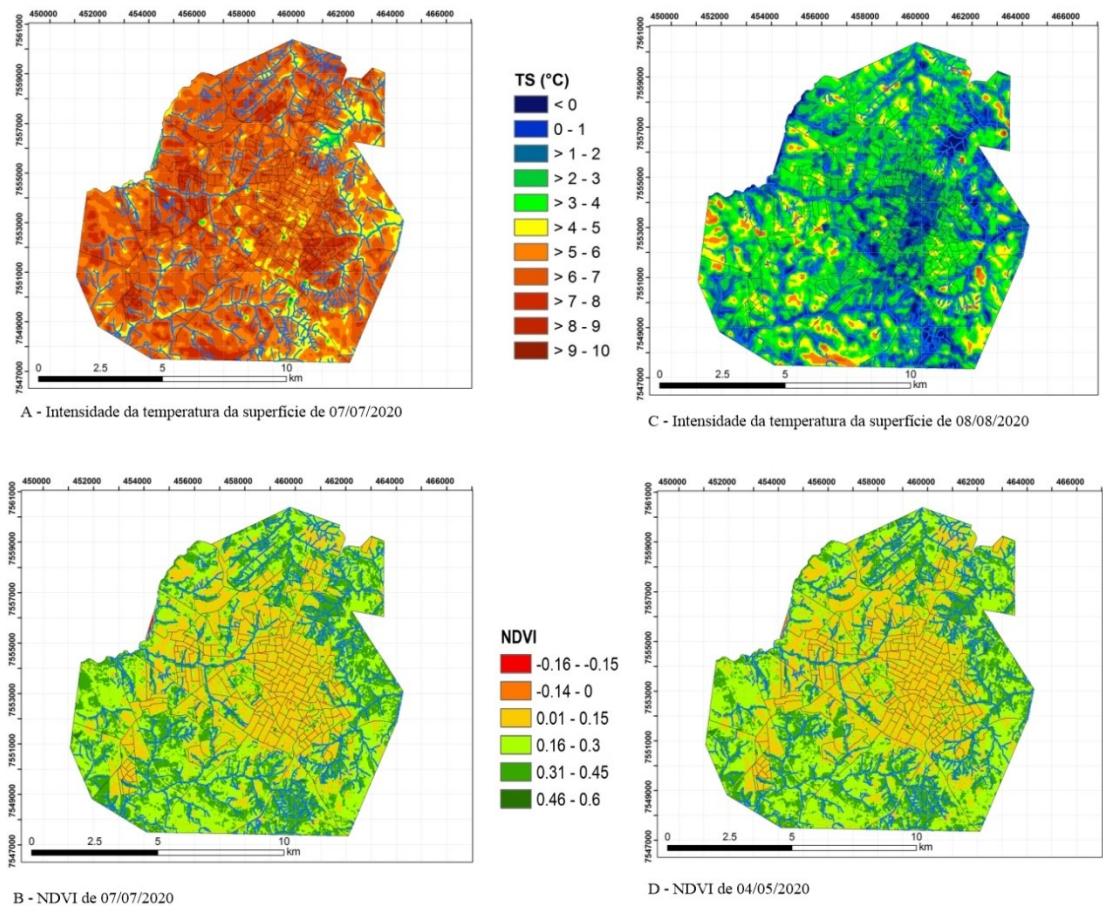
As porções do município que apresentaram maiores temperaturas foram as regiões oeste, noroeste e sudoeste, com amplitude térmica de até 6°C em relação a menor temperatura (Mata do Furquim).

O NDVI do mesmo dia (21/06/2020), retrata a vegetação presente como empobrecida apresentando valores de 0,01 a 0,15 na porção do centro da cidade, noroeste próximo ao centro e condomínios (porções norte e sudoeste), e os valores mais elevados são aqueles fora do perímetro urbano e em áreas menos densas no sentido construtivo (0,16 a 0,45).

Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Presidente Prudente (SP)

O mês de julho é comumente relacionado ao período de estiagem, por fazer parte da estação de inverno. No entanto, nos 30 dias que antecederam a tomada da imagem (07/07/2020), foram registrados 88,9mm de precipitação, sendo esta maior do que o habitual. Portanto, os valores presentes no mapa de temperatura de superfície variam muito em relação ao Ponto '0', apresentando amplitude térmica de até 6°C em comparação com outros pontos da cidade (figura 4).

FIGURA 4 – Representação cartográfica da intensidade de temperatura da superfície e do NDVI em 07/07/2020 (coluna esquerda, imagens A e B) e em 08/08/2020 (coluna direita, imagens C e D).



Fonte: Os autores (2022).

QUADRO 8 – PRECIPITAÇÃO NOS 30 DIAS QUE ANTECEDERAM A TOMADA DAS IMAGENS DE SATÉLITE

DIAS	5	10	15	20	25	30 – Total (mm)
07/07/2020	10,8	10,8	10,8	79,3	88,9	88,9
08/08/2020	0	0	0	0	0	0

Fonte: Os autores (2022).

No dia 07/07/2020, o sistema atmosférico atuante se configura como uma massa polar avançando o continente, fazendo com que essa receba características da superfície que entra em contato, formando a Massa Polar Atlântica Tropicalizada (mPt).

Áreas densamente construídas como o centro, porções à oeste, leste-sudeste, norte e sul, apresentam intensidades da temperatura de superfície relativamente altas, variando de 4-5°; 5-6°; 6-7°; 8-9; à 9-10°C nas porções supracitadas (Figura 4, imagem A).

O mapa de NDVI para o mesmo dia (07/07/2020), evidencia que mesmo com um total pluviométrico relativamente alto para o mês, a vegetação não conseguiu enriquecer sua biomassa. Isso se dá devido ao fato de algumas espécies vegetais se comportarem de maneira menos exuberante em comparação com a estação da primavera ou verão, por exemplo. Como dito anteriormente, há espécies vegetais que poupam seu consumo de energia repelindo suas folhas, fazendo com que apresentem comportamento espectral diferente daquele esperado.

Deste modo, o centro urbano, bem como porções densamente edificadas, apresenta valores moderados de NDVI, de 0,01 à 0,45. Na porção oeste-noroeste da malha urbana, no Balneário da Amizade, conhecido por comportar quantidade considerável de água, aparece com o menor valor apresentado no mapa (0,16 – 0,15), evidenciando que ter corpos da água presentes, não é sinônimo de ter frescor na temperatura superficial. O corpo d'água nestas condições em que a temperatura superficial é muito elevada, se comporta espectralmente como solo exposto.

O mês de agosto registrou 0 mm de precipitação antes da tomada das imagens (08/08/2020). No mapa de temperatura de superfície para o mesmo dia, observa-se que mesmo com a taxa total de precipitação sendo de 0 mm, as temperaturas não foram muito altas, aproximando-se, inclusive, da temperatura do ponto “0” em diversos pontos da cidade. Isso se dá devido ao fato da atuação da mPa, fazendo com que a temperaturas superficiais sejam mais baixas.

O centro da cidade teve pouca variação na intensidade de temperatura, enquanto áreas que não são tão densas na habitação apresentam maiores variações, principalmente nas porções limítrofes à malha do município (leste, oeste, norte e sul). A maior amplitude térmica observada no dia foi de 7-8°C nestas mesmas regiões.

Por ser inverno, e estar sob atuação de massa Polar Atlântica (Pa) as variações na temperatura superficial tendem a ser mínimas, como foi evidenciado. Nas demais áreas da cidade a temperatura permaneceu amena, variando até 4°C do ponto “0”.

Em termos de NDVI, a vegetação se apresenta empobrecida e sem desenvolvimento, quase linear em toda a sua extensão, salvo casos pontuais em que apresenta valores de 0,01 a 0,4. A área central da cidade manteve o valor de 0,01 – 0,15 em função da pouca presença de

cobertura vegetal, enquanto as áreas em que está se fazia presente, aparenta estar pouco exuberante.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste trabalho, foi possível perceber um padrão de distribuição da temperatura superficial ao longo dos dias analisados. É notório que as maiores intensidades de temperatura (°C) ocorrem nas estações secas, devido à baixa taxa de precipitação e, conseqüentemente, à queda de desenvolvimento da biomassa como meio de regular a temperatura superficial.

Os mapas da intensidade de temperatura de superfície, em comparação com os mapas de NDVI para as datas apuradas (02/05/2019; 22/08/2019; 07/09/2019; 25/10/2019; 04/05/2020; 21/06/2020; 07/07/2020; e 08/08/2020), possuem variações em termos de intensidade de temperatura e desenvolvimento da cobertura vegetal, devido as variações nos totais de precipitação e estações do ano. Levando-se em consideração a quantidade de água presente no sistema, o dia 21/06/2020 foi o que apresentou temperaturas mais amenas na cidade, enquanto no dia 07/07/2020 foram registradas as mais altas temperaturas no intraurbano.

Logo, pode-se observar a importância da vegetação nas temperaturas dos alvos, o NDVI alto é característico de uma vegetação mais densa o que diminui as temperaturas superficiais, já o NDVI baixo, encontrado nas áreas densamente construídas ou nos períodos de estiagens mais evidentes no ambiente rural, favorece o aquecimento superficial.

Todavia, nos ambientes urbanos é necessário que existam projetos e políticas públicas cuja finalidade é ampliar as áreas verdes, seja nas calçadas, praças, parques, hortas urbanas etc. Assim como medidas voltadas a proibição da impermeabilização total dos terrenos e da utilização de materiais construtivos prejudiciais (como telhas metálicas e de fibrocimento) para o balanço e conforto térmico e o impedimento da construção de novos loteamentos com densidade construtiva (UGEDA JÚNIOR, 2012).

Já nos ambientes rurais é preciso fomentar o plantio de culturas de longo ciclo vegetativo e a recuperação e preservação das matas ciliares, com a finalidade de proteger o solo exposto, manter equilíbrio hídrico no solo e reduzir a temperatura.

A partir da complexidade do processo de urbanização, é de suma importância que haja procedimentos eficientes para identificar e analisar fenômenos gerados pela ação antrópica, como o caso das ilhas de calor urbana, as quais provocam preocupantes conseqüências territoriais em distintos âmbitos da atividade humana na esfera social e ambiental.

Com isso, a partir deste estudo, assumindo o mérito científico e assim, possibilitando a investigação das diferenças de temperaturas de superfície em áreas urbanas e rurais próximas e demonstrando a importância da vegetação para mitigar as altas temperaturas advindas de anomalias térmicas, tornando-se assim, um importante colaborador para o planejamento urbano, assim como, serve de instrumento para futuros cientistas que estudam climatologia adequar as metodologias e reflexões a diferentes e novas realidades socioambientais.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, M. C. C. T. **Teoria e método para o estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. 2017. 178 f. Tese (Livre Docente em Climatologia Geográfica) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, p. 63-75.
- ATLAS AMBIENTAL ESCOLAR DE PRESIDENTE PRUDENTE. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.fct.unesp.br:9000/>> Acesso em: 01/03/2021.
- Fernández García, F. **Manual de climatologia aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial síntesis, S.A, 1996. 285p.
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais. Banco de dados de imagens**. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic?i=br>>. Acesso em: 16 março. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE: **IBGE Cidades, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil**. Dados de demografia, 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/presidente-prudente/panorama>> Acesso em: 01/03/2021.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.
- Landsat Data Access/Infravermelho Termal. **United States Geological Survey (USGS)**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-data-access?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con> Acesso em: 01/03/2021.
- MARINHA DO BRASIL – Centro de Hidrografia da Marinha – **Cartas Sinóticas de superfície**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>> Acesso em: 12/12/2020
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de (Orgs.). **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. 2020.
- MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. (Tese de Livre Docência apresentada ao Departamento de Geografia/FFLCH-USP). São Paulo, 1976.
- OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. London and New York: Routledg Taylor & Francis Group, 1987, p. 288.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PRESIDENTE PRUDENTE**, Dados sobre o município. Disponível em: <<http://www.presidenteprudente.sp.gov.br/site/acidade.xhtml>> Acesso em: 01/03/2021.
- RAMOS, R. R. D. et al. **Aplicação do índice da vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação de áreas degradadas e potenciais para unidades de conservação**. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, p. 01-06, 2010.

ROSS, J. e MOROZ, I. (2011). Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, 10, pp. 41-58.

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, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309-317.

UGEDA JUNIOR, J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales/SP**. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.