



**A INTENSIDADE DAS ILHAS DE CALOR
SUPERFICIAIS E O ÍNDICE DE VEGETAL
POR DIFERENÇA NORMALIZADA NA
CIDADE DE RONDONÓPOLIS-MT**

Washington Paulo Gomes  

Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente. Professor da rede estadual de ensino no Estado de Mato Grosso.

Contato: wpgomes@gmail.com

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim  

Professora do Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente

Contato: margarete.amorim@unesp.br

Como citar: GOMES, W. P; AMORIM, M. C. C. T. A intensidade das ilhas de calor superficiais e o Índice de Vegetal por Diferença Normalizada na cidade de Rondonópolis-MT. **Revista Formação (Online)**, v. 31, e024008, 2024.

Revista Formação (Online) ISSN: 2178-7298. E-ISSN: 1517-543X

Recebido: 21/12/2021

Aceito: 31/10/2023

Data de publicação: 28/06/2024

Resumo

A utilização do sensor infravermelho termal por meio das imagens de satélites se configura como uma técnica importante para conhecer a temperatura intraurbana e auxilia na compreensão da forma como o desenho das ilhas de calor de superfícies ocorrem no espaço, levando em consideração o uso e ocupação da terra. Os sensores remotos para a detecção das temperaturas de superfícies apresentam vantagens, pois fornecem dados frequentes da superfície terrestre e possibilitam o estudo do ambiente térmico urbano em diferentes escalas espaciais e temporais. O trabalho teve como objetivo analisar a intensidade das ilhas de calor de superfícies, em quatro episódios da estação seca e chuvosa, na cidade de Rondonópolis-MT. Para tanto, foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 8, canal infravermelho termal/TIRS 1 (banda 10) para identificar as ilhas de calor e os canais do vermelho (banda 4) e infravermelho próximo (banda 5), para a verificação dos níveis de vegetação pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Os resultados mostraram que as ilhas de calor superficiais apresentaram forte magnitude, atingindo até 14°C de intensidade. Durante a estação seca as intensidades foram mais elevadas devido a ocorrência de queimadas que geraram o aumento da capacidade de absorção da superfície, atribuídos aos efeitos combinados de maior exposição do solo, aumento da absorção da radiação pela vegetação carbonizada e redução da evapotranspiração.

Palavras-chave: Ilha de calor de superfície. Índice de vegetação. Rondonópolis-MT.

THE INTENSITY OF SURFACE HEAT ISLANDS AND THE VEGETATION INDEX USING NORMALIZED DIFFERENCE IN RONDONÓPOLIS-MT

Abstract

The utilization of thermal infrared sensor via satellite imagery represents a significant technique for intra-urban temperatures, aiding in understanding the formation of surface heat islands within spatial context, considering Earth's utilization and occupation. Remote sensors for surface temperature detection offer advantages, providing frequent data on the Earth's surface and facilitating the examination of urban thermal environment across various spatial and temporal scales. This study aimed to analyze the intensity of surface heat islands during four episodes spanning the dry and rainy seasons in Rondonópolis-MT. To achieve this, images from the Landsat 8 satellite, utilizing the thermal infrared channel/TIRS 1 (band 10), were employed to identify heat islands, while the red channels (band 4) and near-infrared (band 5) were utilised to assess vegetation levels via the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The findings revealed that surfacel heat islands exhibited strong magnitudes, reaching intensities of up to 14°C. During the dry season, intensities were heightened due to fires, leading to increased surface absorption capacity, attributed to a combination of factors including greater soil exposure, heightened radiation absorption by carbonized vegetation, and reduced evapotranspiration.

Keywords: Surface Heat Island. Vegetation Index. Rondonópolis-MT.

LA INTENSIDAD DE LAS ISLAS DE CALOR SUPERFICIAL Y EL ÍNDICE VEGETAL POR DIFERENCIA NORMALIZADA EN LA CIUDAD DE RONDONÓPOLIS-MT

Resumen

El uso del sensor térmico infrarrojo a través de imágenes satelitales es una técnica importante para conocer la temperatura intraurbana y ayuda a comprender la forma en que se produce el diseño de islas de calor superficiales en el espacio, teniendo en cuenta el uso y ocupación del suelo. Los sensores remotos para detectar temperaturas superficiales tienen ventajas, ya que proporcionan datos frecuentes de la superficie terrestre y permiten estudiar el ambiente térmico urbano en diferentes escalas espaciales y temporales. El objetivo del trabajo fue analizar la intensidad de las islas de calor superficiales, en cuatro episodios de la temporada seca y lluviosa, en la ciudad de Rondonópolis-MT. Para ello se utilizaron imágenes del satélite Landsat 8, canal de infrarrojo térmico/TIRS 1 (banda 10) para identificar las islas de calor y los canales rojo (banda 4) e infrarrojo cercano (banda 5) para verificar los niveles de vegetación mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Los resultados mostraron que las islas de calor superficiales tenían fuerte magnitud, alcanzando hasta 14°C de intensidad. Durante la estación seca las intensidades fueron mayores debido a la ocurrencia de incendios que generaron un aumento en la capacidad de absorción de la superficie, atribuido a los efectos combinados de una mayor exposición del suelo, una mayor absorción de radiación por la vegetación carbonizada y una reducción de la evapotranspiración.

Palabras clave: Islas de calor superficiales. Índice de Vegetación. Rondonópolis-MT.

INTRODUÇÃO

Atualmente as cidades ocupam cerca de 2% da área terrestre e abrigam aproximadamente 55% da população mundial. Estima-se que 60% da área urbana esperada no planeta até 2030, ainda será construída. A previsão destaca a velocidade com que as pessoas do mundo estão se tornando urbanas. As zonas tropicais concentram 40% da população mundial e apresentam rápido crescimento devido a uma economia em expansão. Nas tendências atuais, esse número aumentará para 50% até 2050 (Taha, 2019).

As populações que vivem nas cidades tropicais são acometidas por elevadas temperaturas que ocorrem naturalmente devido a sua posição latitudinal e apresentam maior vulnerabilidade aos eventos extremos de calor. Como os ambientes urbanos, que estão em constante crescimento, são mais quentes que os ambientes não urbanizados, os impactos na saúde humana são cada vez mais notados.

A intensificação desse processo e o grau de transformação do espaço urbano está associado ao aumento do ritmo do crescimento populacional nos centros urbanos e a falta de planejamento urbano adequado para gerenciar a expansão das cidades e a ocupação das áreas mais apropriadas para o assentamento humano. Para realizar o planejamento deve-se levar em consideração as características físico-naturais dos ambientes e as necessidades econômicas e sociais da população para que haja um equilíbrio entre o desenvolvimento do bem estar social e a manutenção de um meio ambiente saudável.

A utilização do sensor infravermelho termal por meio das imagens de satélites se configura como uma técnica importante para conhecer a temperatura da superfície intraurbana e auxilia na compreensão da forma como o desenho das ilhas de calor de superfícies ocorrem no espaço, em relação ao uso e ocupação da terra. Os sensores remotos para a detecção das temperaturas de superfícies apresentam vantagens, pois fornecem dados frequentes da superfície terrestre e possibilitam o estudo do ambiente térmico urbano em diferentes escalas espaciais e temporais.

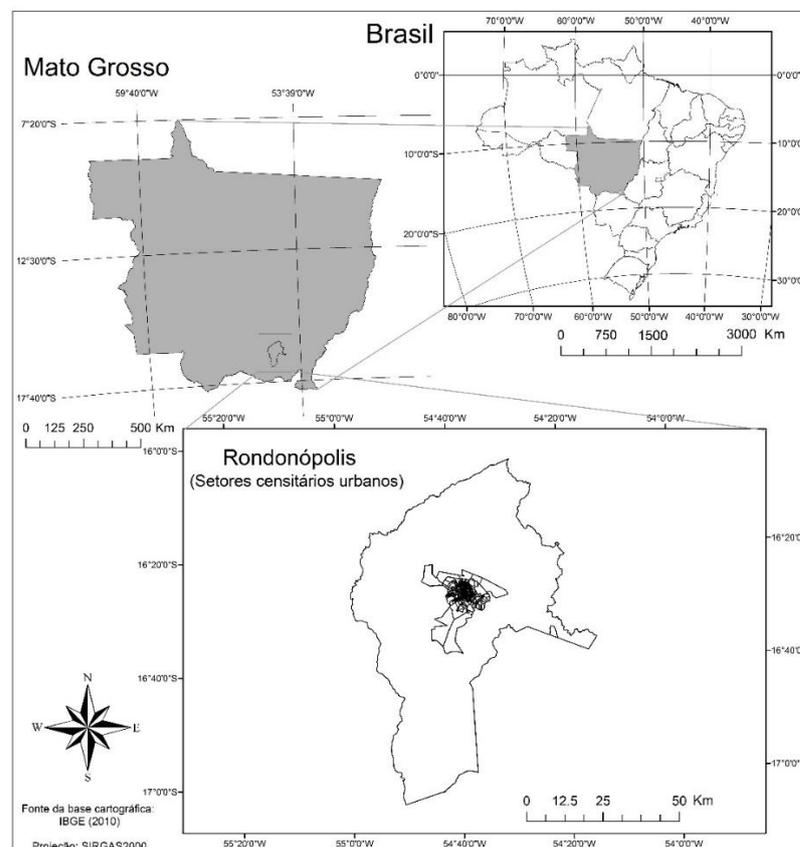
A ilha de calor de superfície representa um aumento da radiação de onda longa, gerada por diferentes fluxos de energia durante o dia e a noite. A ilha de calor de superfície diurna é amplamente atribuída a redução na radiação solar refletida e no fluxo de calor latente, o que aumenta o calor sensível e a radiação térmica recebida pelos sensores térmicos. O fluxo de calor antropogênico pode aumentar a ilha de calor de superfície ampliando a radiação térmica ascendente e o armazenamento de calor (Voog; Oke, 1997; Zhou *et al.* 2019).

ÁREA DE ESTUDO

O município de Rondonópolis está localizado na porção Sudeste do Estado de Mato Grosso, à 215 km da capital Cuiabá, no eixo de duas importantes rodovias federais (BR-163 e BR-364) e configura-se como um dos principais eixos de ligação entre a região amazônica e a região centro sul do país. Devido a sua posição estratégica passou a exercer papel significativo no cenário econômico regional e no escoamento da produção de grãos de todo o estado (Duarte, 2016). Possui uma área de 4.686,622 km² e população estimada de 236.042 habitantes (IBGE, 2020) e um PIB de aproximadamente R\$10 bilhões de reais (segundo maior do estado).

A cidade apresenta taxa de crescimento acelerado e grande evolução da população urbana em detrimento da população rural. O Estado de Mato Grosso é conhecido como o celeiro do país e o agronegócio representa mais de 45% do PIB estadual (2017). Na cidade de Rondonópolis o agronegócio atua como mola propulsora para o setor de serviços e indústrias, sobretudo, as agroindústrias para o processamento de grãos. Em 2020, fechou o ano mais uma vez, sendo o maior exportador de grãos do país.

Figura 01 – Localização do município de Rondonópolis-MT



Org: Elaborado pelos autores, 2020.

A extensão territorial do estado de Mato Grosso, localizado na porção central da América do Sul, impõe características específicas dos climas continentais das latitudes intertropicais. Uma das principais propriedades climatológicas dessa realidade é estar justamente situado em uma área de transição entre os climas tropicais continentais, compostos com cerrado, e os climas equatoriais continentais, integrados com a Floresta Amazônica. Da mesma maneira, a localização continental, distante entre 1.400 e 2.000 Km do Oceano Atlântico, lhe confere padrões climáticos sazonais com alternância em uma estação úmida (novembro a março), e outra estação seca (maio a setembro), com os meses de outubro e abril sendo considerados períodos de transição entre as estações (Sette; Tarifa, 2002).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A evolução dos procedimentos metodológicos e a facilidade de acesso às imagens orbitais, fez com que o processamento digital de imagens se tornasse um importante instrumento de pesquisa e tem sido usado nos estudos de climatologia urbana, contribuindo para o diagnóstico das ilhas de calor de superfície, para os índices de vegetação e auxiliando na tomada de decisão para a preservação ambiental (Ramos *et al.*, 2010). Pode ser considerado como um avanço no campo da cartografia e conseqüentemente se apresenta como progresso no campo dos procedimentos metodológicos nos estudos de clima urbano.

Partindo desses pressupostos, fica cada vez mais evidente, nos últimos anos, a importância dos trabalhos utilizando as técnicas do sensoriamento remoto, por meio da utilização do sensor infravermelho termal das imagens de satélites para o diagnóstico das ilhas de calor de superfície e as bandas do vermelho e infravermelho próximo para a identificação de áreas com maiores índices de vegetação (Gomes, 2017).

Os avanços, métodos, aplicações e limitações das técnicas do sensoriamento remoto aplicado aos estudos do clima urbano foram explorados em diversos estudos no Brasil e no mundo (Voogt; Oke, 1997; 2003; Pérez Gonzalez; García Rodrigues, 2002; Mendonça; Dubreuil, 2002; Arnfield, 2003; Chen *et al.* 2006; Weng, 2009; Amorim; Monteiro, 2011; Huang *et al.* 2016; Zhou *et al.* 2019).

A ilha de calor de superfície é causada essencialmente por alterações no balanço de energia superficial (Figura 02) após a substituição da cobertura da terra de vegetação natural

por superfície artificial (Oke, 1978; Arnfield, 2003). O balanço de energia de uma superfície urbana típica pode ser expresso como (Zhou *et al.* 2019):

$$Q_I + Q_{L\downarrow} + Q_F = Q_R + Q_{L\uparrow} + Q_E + Q_H + Q_S \quad (1)$$

Onde:

Q_I é a radiação solar incidente;

$Q_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa de entrada;

Q_F é a liberação de calor antropogênico;

Q_R é a radiação solar refletida;

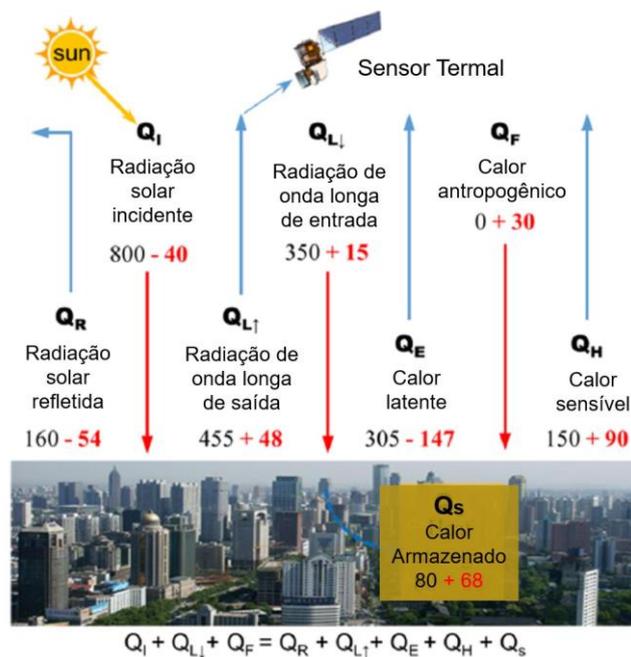
$Q_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa de saída;

Q_E é o calor latente;

Q_H é o calor sensível;

Q_S é o armazenamento de calor.

Figura 02 - Diagrama do balanço de energia para uma área urbana hipotética.



Fonte: Adaptada de Zhou *et al.* (2019)¹.

¹ Setas vermelhas designam a entrada de energia e as setas azuis a partição do sistema urbano. Os valores de exemplo (unidades: $W m^{-2}$) foram extraídos de Oke (1988). Os valores em vermelho representam a mudança de energia na região urbana em relação às áreas rurais.

A verificação da temperatura dos alvos e o diagnóstico das ilhas de calor urbana de superfície na cidade de Rondonópolis, ocorreram por meio da utilização das imagens do Satélite Landsat 8, canal infravermelho termal/TIRS 1 (banda 10), com resolução espectral de 10.60 - 11.19 μm e resolução espacial de 100 metros, tratadas e disponibilizadas com pixel de 30 metros pela USGS (*United States Geological Survey*).

Foram selecionados quatro episódios para a elaboração das cartas das intensidades das ilhas de calor de superfícies e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). As imagens foram capturadas às 9h39min (horário local), sendo que um dos episódios ocorreu no período chuvoso e três ocorreram na estação seca (Tabela 01). De acordo com as cartas sinóticas e as imagens do satélite GOES 16 disponibilizadas pelo CPTEC/INPE, pode-se constatar que no dia de captura da imagem no episódio da estação chuvosa esteve sob atuação da Massa Equatorial Continental (mTc), e nos episódios da estação seca estiveram sob atuação da Massa Tropical Continental (mTc), o que propiciou o aumento da radiação solar direta sobre a superfície dos alvos.

Tabela 01 - Características gerais das imagens termais e NDVI

Data	Temp. Mín. do ar	Tem. Máx. do ar	Intensidade Ilha de calor superfície	Dias sem Precipitação	Sistema Atmosférico
15/01/2019	20,5°C	34,7°C	10°C	2 dias	mEc
11/08/2019	15,2°C	36,8°C	13°C	6 dias	mTc
28/07/2020	14,3°C	34,8°	12°C	74 dias	mTc
13/08/2020	17,6°C	37,4°C	14°C	90 dias	mTc

Org: Elaborado pelos autores, 2020.

Os procedimentos para o mapeamento da temperatura da superfície foram realizados no aplicativo ArcGis. Utilizaram-se as constantes de calibração do sensor do satélite para a conversão dos números digitais em energia radiante, representados em tons de cinza. A conversão dos níveis de cinza para informações de radiância foi realizada da seguinte forma:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

Onde²:

$L\lambda$ é a radiância do topo da atmosfera (Watts/(m² * srad * μ m));

M_L é o fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Mult_Band_x, onde x é o número da banda);

Q_{cal} são os valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN);

A_L é o fator aditivo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Add_Band_x, onde x é o número da banda).

Em seguida, a partir da energia radiante foi possível obter a temperatura dos alvos em Kelvin:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

Onde³:

T é a temperatura no satélite em Kelvin;

$K2$ é a constante de calibração 2;

$K1$ é a constante de calibração 1;

$L\lambda$ é a radiância espectral, em Watts / (metro quadrado ster * * mm).

Após esses procedimentos, aplicou-se a fórmula para converter a temperatura Kelvin em graus Celsius, subtraindo os valores de temperatura de cada pixel da imagem por 273,15:

$$^{\circ}C = ImgK - 273,15 \quad (4)$$

Onde:

$^{\circ}C$ é a temperatura do alvo em graus Celsius;

$Imgk$ é a temperatura do alvo em Kelvin;

² Os valores de radiância espectral correspondentes aos elementos da fórmula são encontrados no arquivo metadados adquirido em conjunto com os arquivos das imagens: $M_L = 0.0003342$; $A_L = 0.10000$.

³ Os valores das constantes de calibração correspondentes na fórmula são encontrados no arquivo metadados que está em anexo em conjunto com os arquivos das imagens: $K1 = 774.89$; $K2 = 1321.08$;

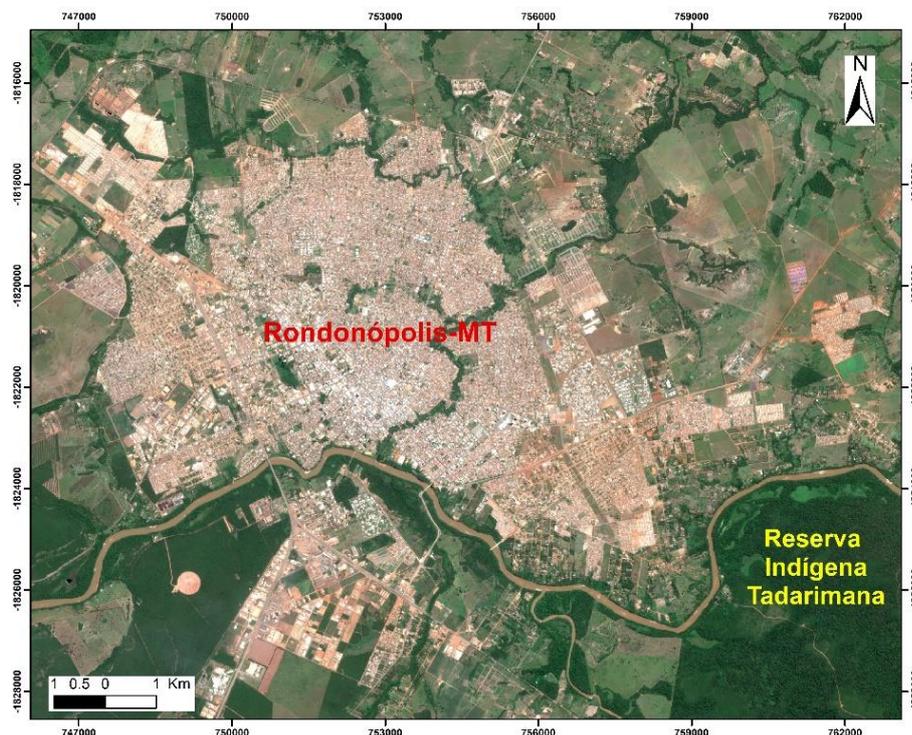
A análise das ilhas de calor superficiais ocorreu a partir das intensidades das temperaturas (Fernández García, 1996), para tanto, foram calculadas as diferenças das temperaturas intraurbanas em relação à área com alta densidade de cobertura vegetal localizada a sudeste da malha urbana na Reserva Indígena Tadarimana (Figura 03). Esta área possui grande quantidade de cobertura vegetal arbórea e se caracteriza por apresentar as menores temperaturas dos alvos e foi considerada como ponto “0”. A partir dela foram calculadas as diferenças de temperatura dos por pixel.

Fernández García (1996) ao analisar o clima das cidades espanholas, apresentou uma classificação da magnitude das ilhas de calor, em função da intensidade, considerando os seguintes parâmetros:

- 1 - Ilha de calor de “fraca magnitude”: com diferenças térmicas entre 0°C a 2°C;
- 2 - Ilha de calor de “moderada magnitude”: com diferenças térmicas entre 2°C a 4°C;
- 3 - Ilha de calor de “forte magnitude”: com diferenças térmicas entre 4°C a 6°C;
- 4 - Ilha de calor de “muito forte magnitude”: com intensidade superior a 6°C.

Para identificar os diferentes níveis de vegetação, foi realizado o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) - (*Normalized Difference Vegetation Index*). O princípio físico do NDVI se baseia na assinatura espectral das plantas. As plantas verdes e com vida absorvem fortemente radiação solar na região do vermelho para utilizar esta radiação como fonte de energia no processo de fotossíntese. Por outro lado, as células das plantas refletem fortemente na região do infravermelho próximo.

Figura 03 - Localização da Reserva Indígena Tadarimana a sudeste da malha urbana, utilizada como ponto “0” para o cálculo da intensidade das ilhas de calor de superfícies



Fonte: Imagem do satélite Sentinel 13/04/2019

A verificação dos níveis de vegetação por meio do NDVI foi realizada no aplicativo ArcGis e trata-se do modelo resultante da combinação dos níveis de reflectância das bandas espectrais do vermelho (banda 4) e infravermelho próximo (banda 5). A aplicação gera um índice que varia de (-1) a (+1), neste caso, quanto maior o valor do índice (próximo de +1), maior a presença de vegetação no período analisado. A equação resolve-se da seguinte forma:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (4)$$

Onde:

IVP é o valor de reflectância da banda no Infravermelho próximo;

V é o valor de reflectância da banda no vermelho.

A quantidade de radiação absorvidas no vermelho e refletidas no infravermelho variam de acordo com as condições das plantas. Neste caso, “quanto mais verdes, nutridas, saudáveis e bem supridas do ponto de vista hídrico for a planta maior será a absorção do vermelho e maior será a reflectância do infravermelho” (Velasco *et al.* 2007 *apud* Gomes; Amorim, 2016, p.1678).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

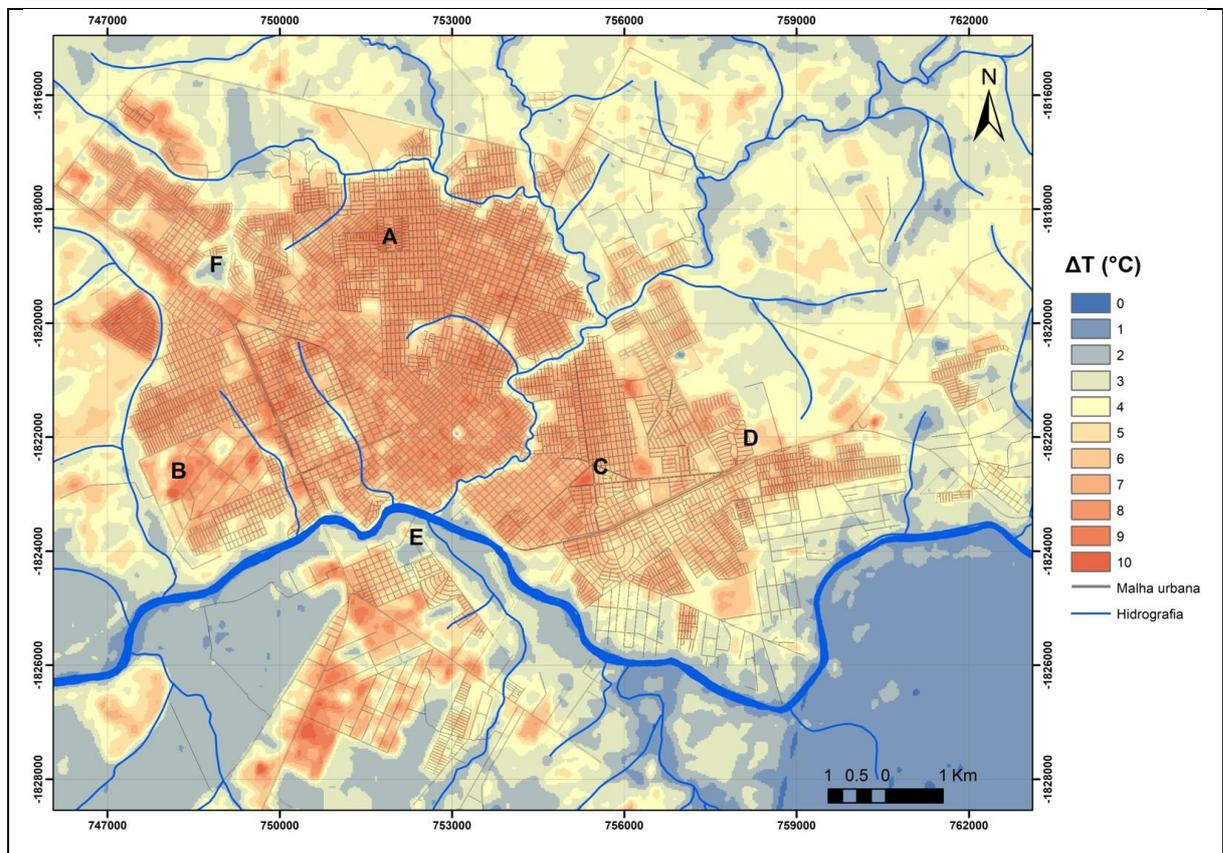
A ilha de calor de superfície é causada essencialmente por alterações no balanço de energia superficial após a substituição da cobertura da terra de vegetação natural por superfície artificial (Oke, 1978; Arnfield, 2003). As cidades possuem estruturas complexas e as superfícies apresentam diferentes capacidades de absorção da radiação solar. Essas características contribuem para as diferenças térmicas (Gartland, 2010).

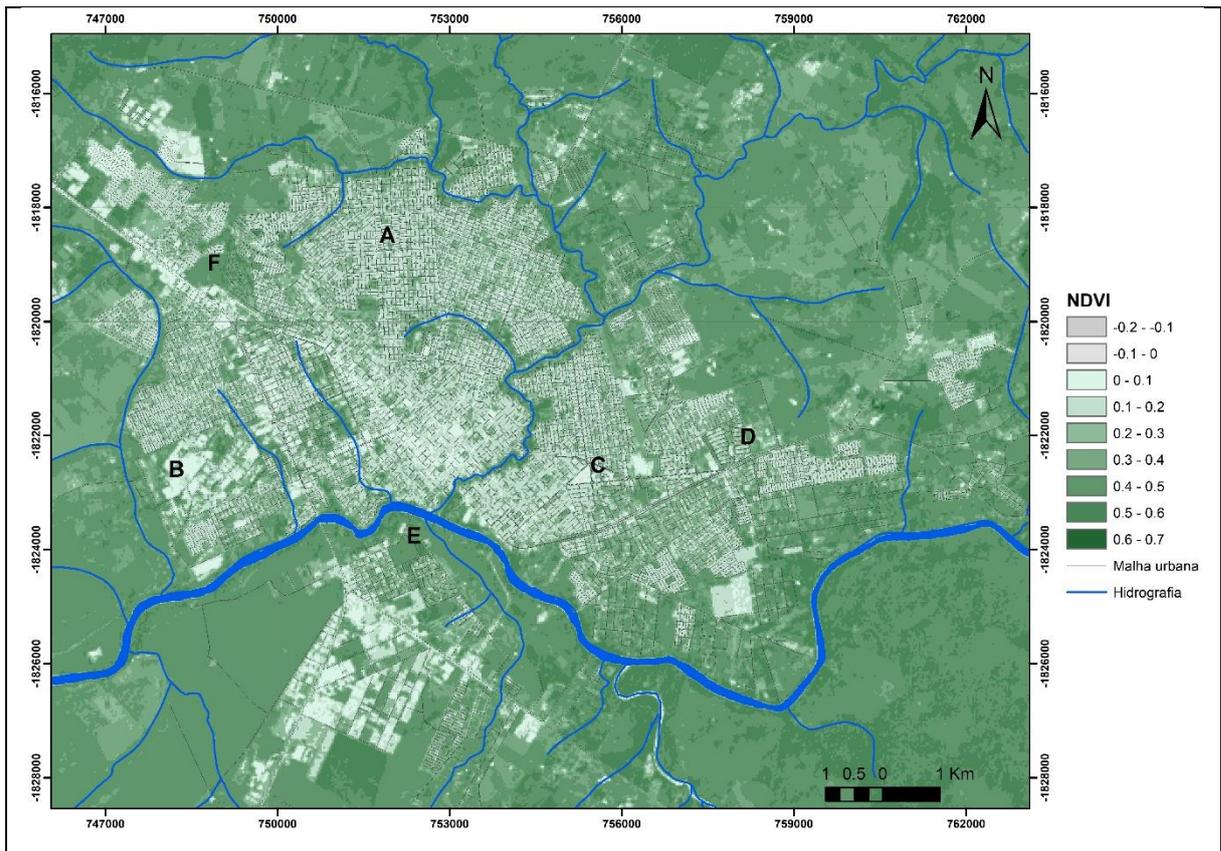
Nos quatro episódios analisados as imagens termais apresentaram diferenças de temperatura acima de 10°C. As intensidades das ilhas de calor estão relacionadas aos tipos de materiais construtivos no intraurbano em comparação ao ambiente rural no período chuvoso e a grande quantidade de solo exposto no período seco. Os dados referentes ao NDVI são fundamentais para verificar a variabilidade espacial da temperatura da superfície em relação aos episódios secos e chuvosos, sendo que durante a estação seca ocorre a diminuição da massa vegetal a partir da perda das folhas e maior exposição do solo devido à redução da cobertura vegetal rasteira.

O primeiro episódio analisado se refere ao período chuvoso e a imagem foi capturada no dia 15 de janeiro de 2019. Dois dias antes da captura da imagem ocorreu precipitação de 50,1 mm. As diferenças térmicas entre a área urbana e a área da Reserva Tadarimana foram de 10°C, configurando ilhas de calor de muito forte magnitude na cidade de Rondonópolis. De modo geral, percebe-se a ilha de calor delimitada em toda a área urbana, com algumas diferenças no intraurbano de acordo com os tipos de materiais construtivos. Nas imagens do dia 15/01/2019 (Figura 04) foram destacados seis pontos principais que apresentaram diferentes intensidades de acordo com as suas características do uso e ocupação da terra.

Os pontos foram detalhados na (Figura 05), sendo três pontos que apresentaram grandes intensidades das ilhas de calor: Conjunto Habitacional São José (Ponto A), Distrito Industrial (Ponto B), Rondon Plaza Shopping (Ponto C); um ponto que apresentou intensidade média: Condomínio Jardim Village do Cerrado (Ponto D); dois pontos que apresentaram baixas intensidades: Horto Florestal (Ponto E) e Área verde localizada nas proximidades do Hospital da Unimed e do Residencial Jardim da Mata II (Ponto F).

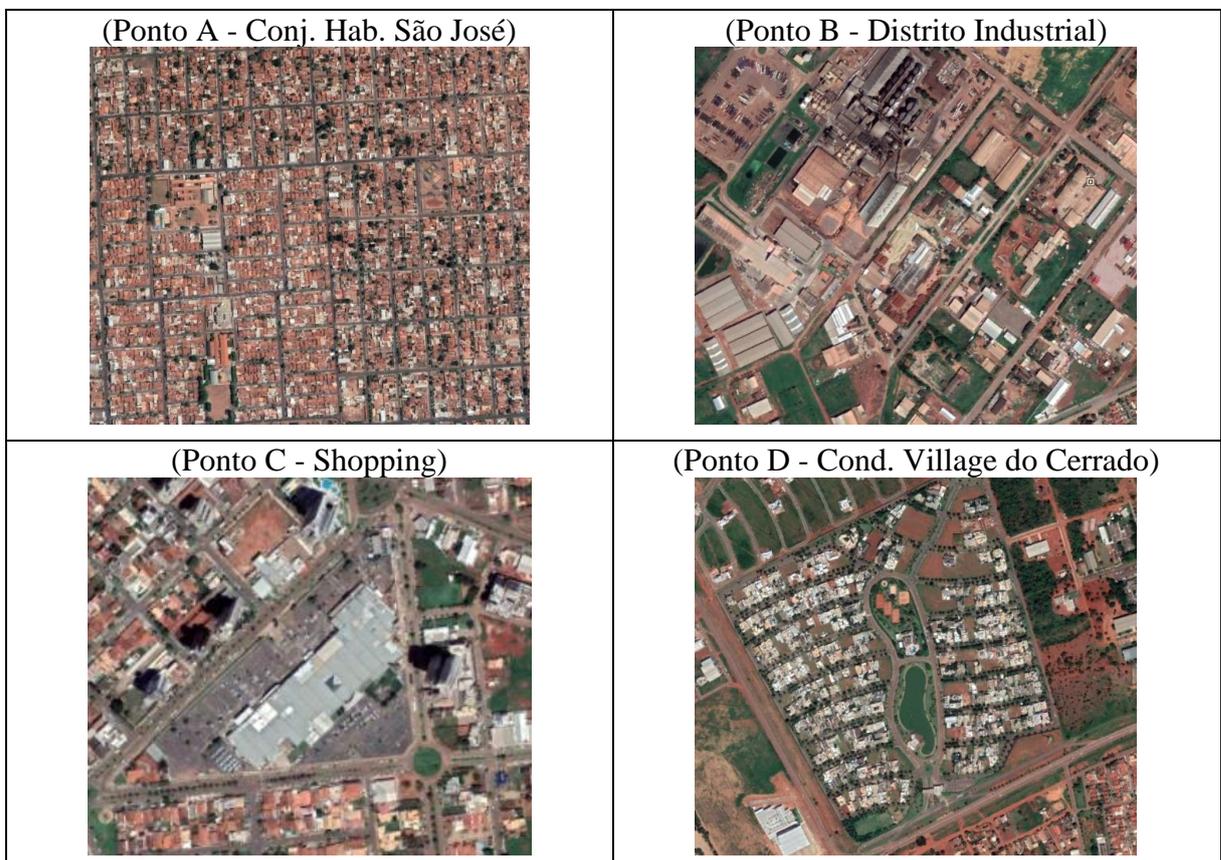
Figura 04 - Distribuição espacial da intensidade da ilha de calor superficial e do NDVI (15/01/2019)

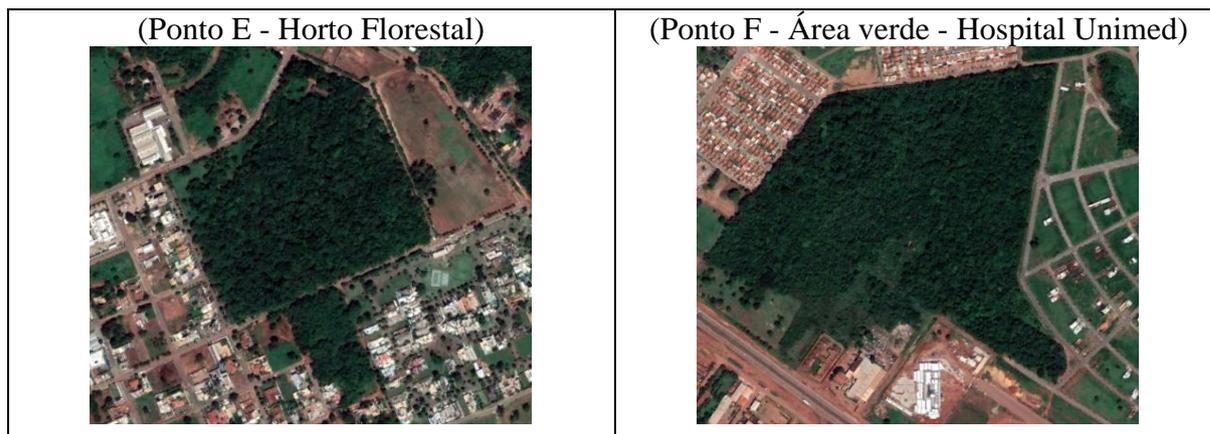




Fonte: Imagem do Satélite Landsat 8

Figura 05 - Características dos pontos destacados na Figura 4 (15/01/2019)





Fonte: Google Earth Pro - Imagem de 06/12/2018 - Altitude do ponto de visão 2 km

O ponto A se refere a um conjunto habitacional de baixo padrão construtivo criado no final da década de 1990. Com terrenos pequenos e sem presença de vegetação, apresentou ilhas de calor de muito forte magnitude, com intensidades de 9°C em relação ao ponto zero. O ponto B está localizado no Distrito Industrial na margem esquerda da rodovia BR-163 e conta com aproximadamente 85 empreendimentos instalados. Além dos materiais construtivos utilizados nos equipamentos industriais que retém e armazenam calor, a própria atividade produz calor, o que deixa a área com grande intensidade da ilha de calor, chegando a 10°C. O ponto C (Shopping) também apresentou intensidade de 10°C devido ao tipo de material construtivo do telhado e por apresentar uma área totalmente impermeável no estacionamento coberto por asfalto (Figura 05).

O ponto D está localizado no Condomínio fechado Jardim Village do Cerrado de alto padrão construtivo, com a ampla área de lazer, lago artificial e grande presença de vegetação arbórea (Figura 05). A intensidade da ilha de calor foi de 5°C, evidenciando que o clima pode ser tratado como insumo no processo de produção do espaço e que as áreas mais desenvolvidas economicamente, habitadas pela população de maior poder aquisitivo, possuem mecanismos para amenizar as intensidades das ilhas de calor.

Os pontos E e F se destacaram por serem áreas verdes no intraurbano e apresentaram pequenas intensidades de ilhas de calor entre 1°C e 2°C. Neste caso, pode-se afirmar que a presença de vegetação de grande porte nas áreas urbanas é muito importante para a redução da temperatura de superfícies. Áreas como essas, fundos de vales, parques e praças são fundamentais para minimizar os efeitos das ilhas de calor de superfícies e também as ilhas de calor relacionadas a temperatura do ar (Figura 05).

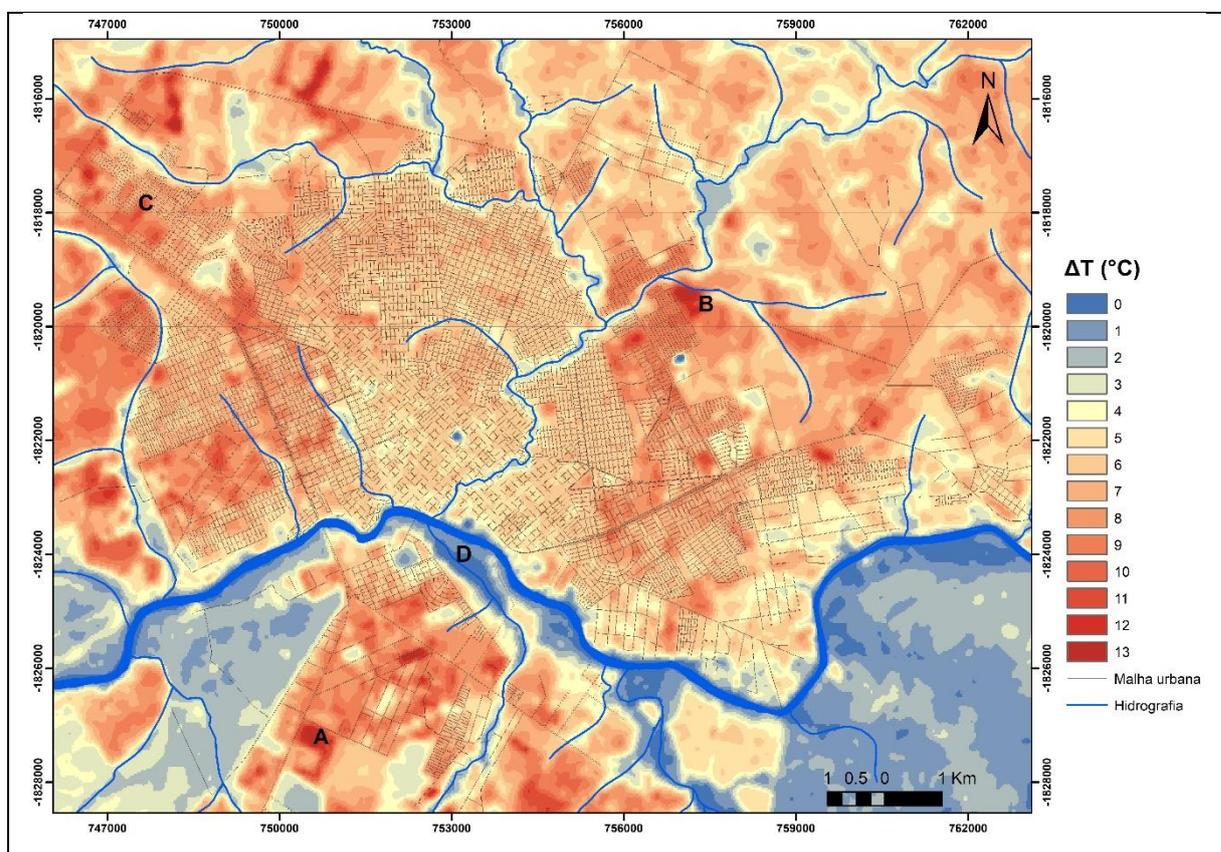
No segundo episódio analisado a imagem foi capturada no dia 11 de agosto de 2019. Embora esteja no período seco, foi registrado precipitação de 5,0 mm, seis dias antes da captura

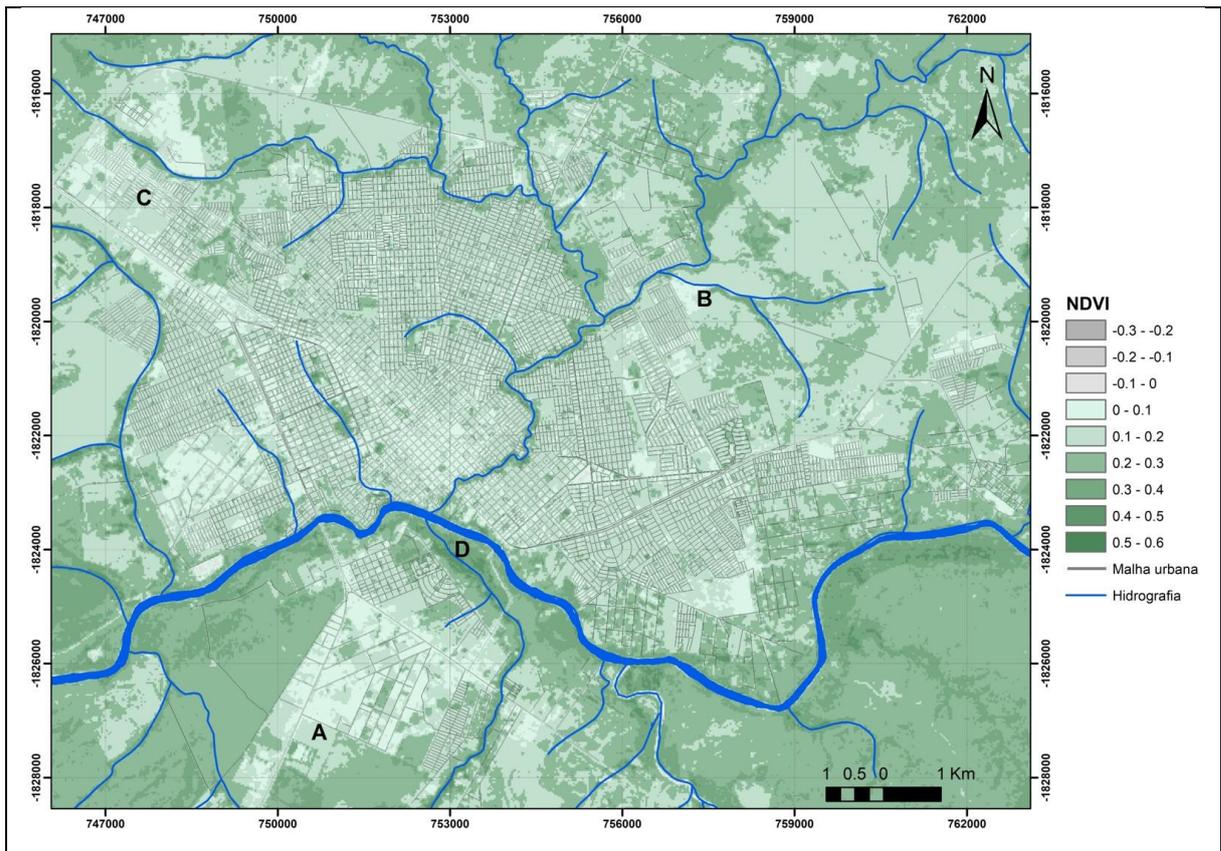
da imagem. Mesmo que o total pluviométrico tenha sido pequeno, foi suficiente para revigorar as áreas de vegetação de grande porte, entretanto, não foi suficiente para reestabelecer a massa vegetal da vegetação rasteira que apresentou um baixo índice de vegetação (Prancha 2). Deste modo, as maiores diferenças térmicas (13°C) em relação a área da Reserva Tadarimana foram encontradas no rural próximo, nas áreas com a presença do solo exposto.

Nas imagens do dia 11/08/2019 (Figura 06) foram destacados quatro pontos que apresentaram diferentes intensidades. Os pontos foram detalhados na Figura 07, de acordo com as suas características de uso e ocupação da terra.

O ponto A está localizado nas proximidades do distrito industrial Parque Vetorasso e o ponto B nas proximidades do residencial Parque das Laranjeiras na porção leste da malha urbana, ambos apresentaram 13°C de intensidade. Tratam-se de áreas com presença de vegetação herbácea que durante o período seco perderam a sua massa vegetal e o solo ficou exposto. No solo exposto o albedo é reduzido e retém mais calor, resultando em temperaturas de superfícies mais elevadas, neste caso, maiores do que o ambiente construído (Figura 07).

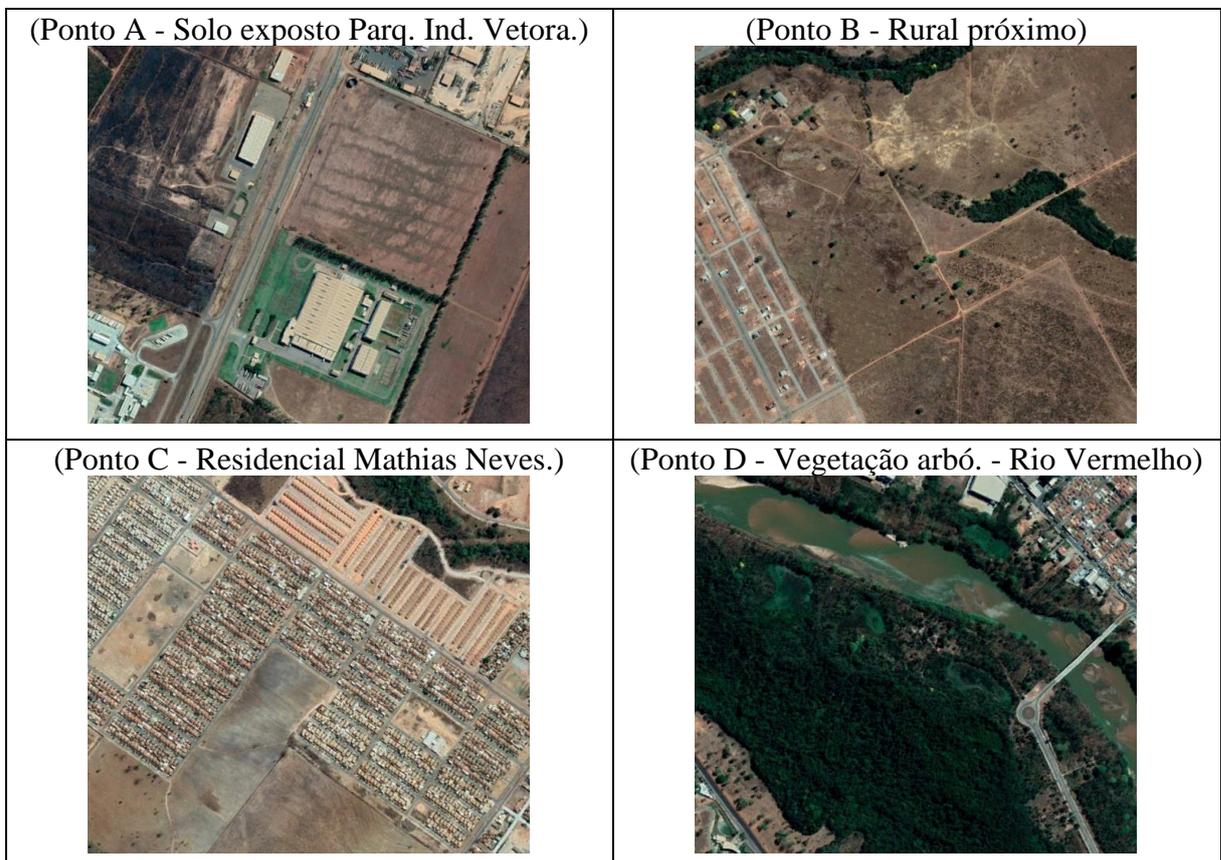
Figura 06 - Distribuição espacial da intensidade da ilha de calor superficial e do NDVI (11/08/2019)





Fonte: Imagem do Satélite Landsat 8

Figura 07 - Características dos pontos destacados na Figura 6 (11/08/2019)



Fonte: Google Earth Pro - Imagem de 27/08/2020 - Altitude do ponto de visão 2 km

O ponto C está localizado no Residencial Mathias Neves, no extremo noroeste da malha urbana (Figura 07). Mesmo que as temperaturas não tenham sido elevadas como nas áreas de solo exposto, ficaram acima de 7°C, gerando ilhas de calor de muito forte magnitude. O residencial, criado recentemente com verba do programa Minha Casa Minha Vida (2012), abriga a população de menor poder aquisitivo e não apresenta vegetação arbórea. As residências foram construídas sem espaçamento entre elas e não possuem área disponível para inserir vegetação, bem como, não possui área comum para a prática de atividades recreativas e de lazer.

O ponto D está localizado às margens do Rio Vermelho, próximo a Ponte Nova e aos condomínios residenciais fechados, Bosque I, II e Vila Toscana, é uma Área de Preservação Permanente (APP) com vegetação densa (Figura 07). Apresentou temperaturas muito próximas a reserva Tadarimana, com diferença entre 0°C e 1°C. Durante o período seco houve um padrão em que apenas as áreas com cobertura vegetal arbórea apresentaram as menores temperaturas.

O terceiro (28/07/2020) e o quarto (13/08/2020) episódios foram registrados na estação seca, quando houve um longo período de estiagem em toda a região Centro-Oeste, resultando em milhares de focos de incêndios. O município de Rondonópolis também foi atingido por queimadas de grandes proporções nas proximidades da Reserva Indígena Tadarimana gerando redução severa na massa vegetal, maior exposição do solo, perda da qualidade do ar e problemas respiratórios graves na população.

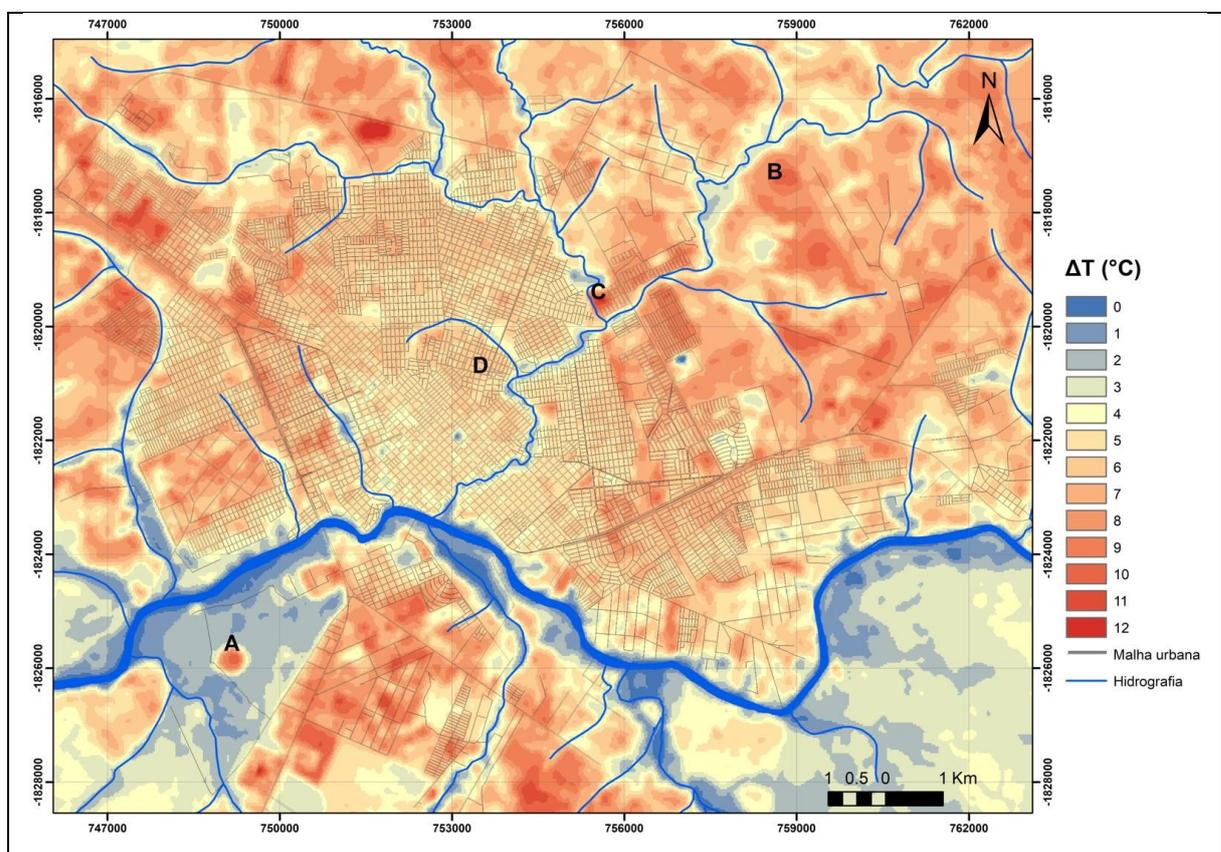
O período sem precipitação no terceiro episódio foi de 74 dias e as intensidades das ilhas de calor chegaram a 12°C, o índice de vegetação por diferença normalizada ficou muito baixo e os valores da área urbana e rural ficaram semelhantes, o que evidencia a redução da exuberância da vegetação (Figura 08). Outro agravante está relacionado ao período de entressafra do plantio de soja e milho na região. Deste modo, nos meses de julho, agosto e setembro a terra está sendo preparada para o novo plantio e fica totalmente exposta, reduzindo o albedo e gerando maior retenção de calor.

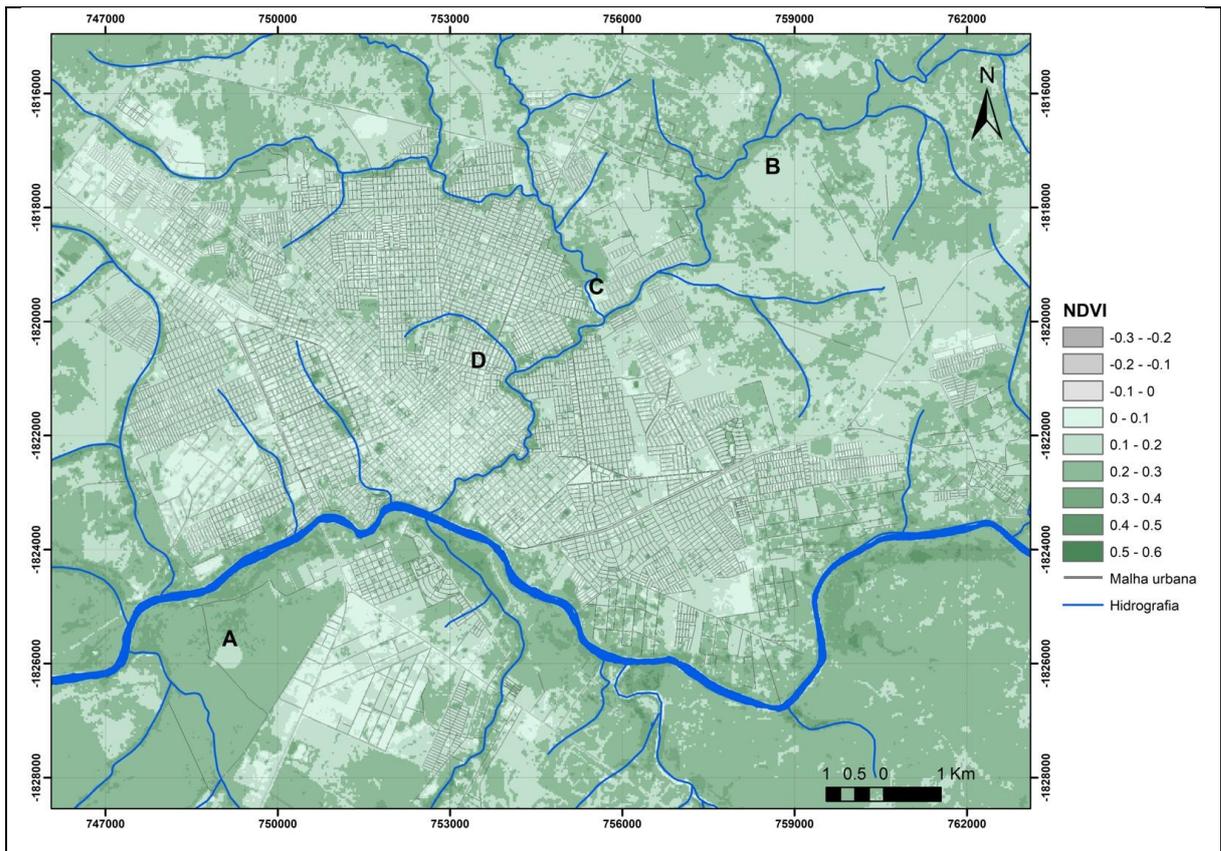
Na Figura 08 (28/07/2020) foram destacados quatro pontos para a realização da análise e os pontos foram detalhados na Figura 09. O ponto A, se configura como uma área típica de desmatamento no meio de uma área de vegetação arbórea na porção sudoeste na cidade, provavelmente utilizado para as atividades agropecuárias. O ponto B, também utilizado para as atividades agrícolas, está localizado na porção nordeste fora do perímetro urbano. O ponto C, se refere a criação de um novo loteamento próximo ao Parque das Laranjeiras nas mediações do Anel Viário. Os pontos A, B e C se referem a áreas com solo exposto que apresentaram

intensidades de 10°C, 10°C e 11°C, respectivamente. Mais uma vez evidenciado que no período seco a redução da massa vegetal gera temperaturas de superfícies maiores que o ambiente construído.

O Ponto D, foi escolhido por se tratar de uma área nas proximidades do Córrego Canivete e embora não tenha apresentado temperaturas maiores que no ambiente rural, as intensidades foram de 6°C, um valor que representa praticamente toda a malha urbana, sobretudo, os bairros residenciais (Figura 09). Outro destaque se refere aos distritos industriais que apresentaram intensidades superiores a 10°C.

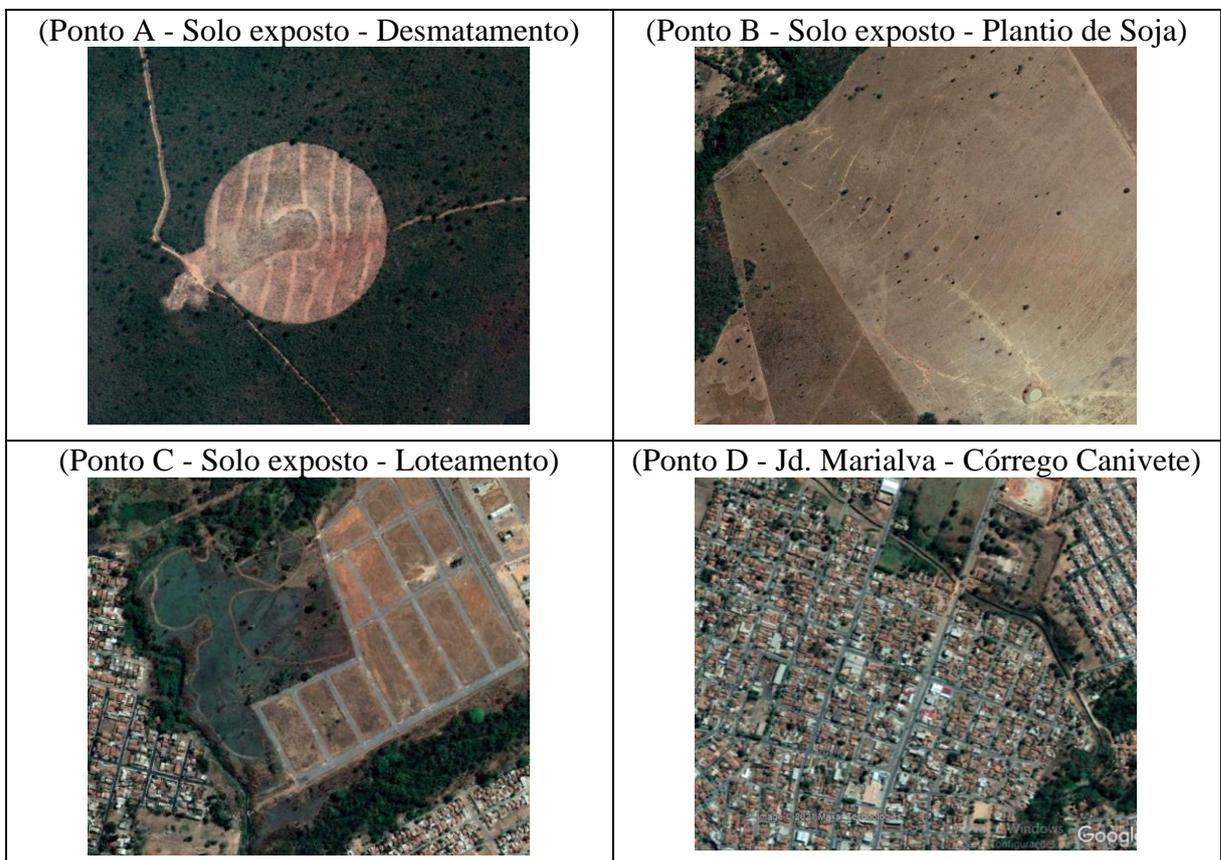
Figura 08 - Distribuição espacial da intensidade da ilha de calor superficial e do NDVI (28/07/2020)





Fonte: Imagem do Satélite Landsat 8

Figura 09 - Características dos pontos destacados na Figura 08 (28/07/2020)

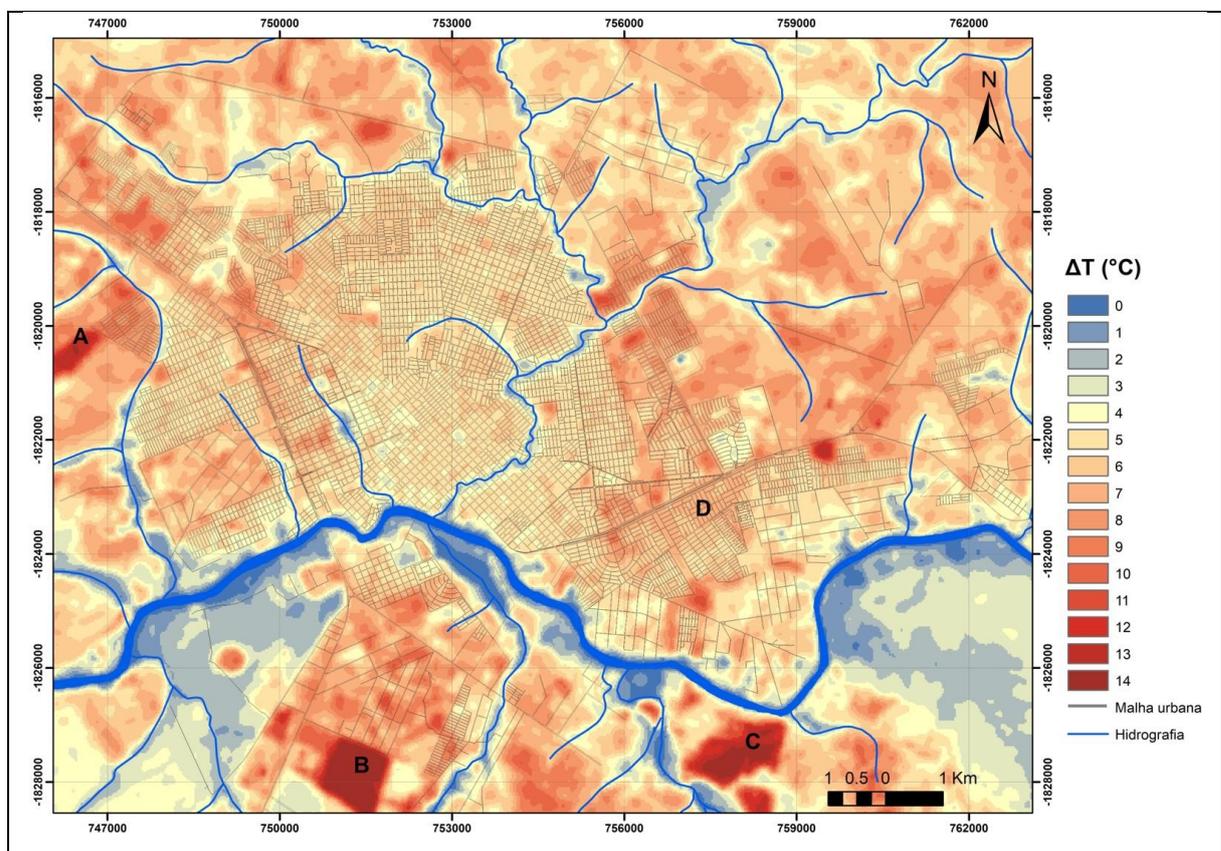


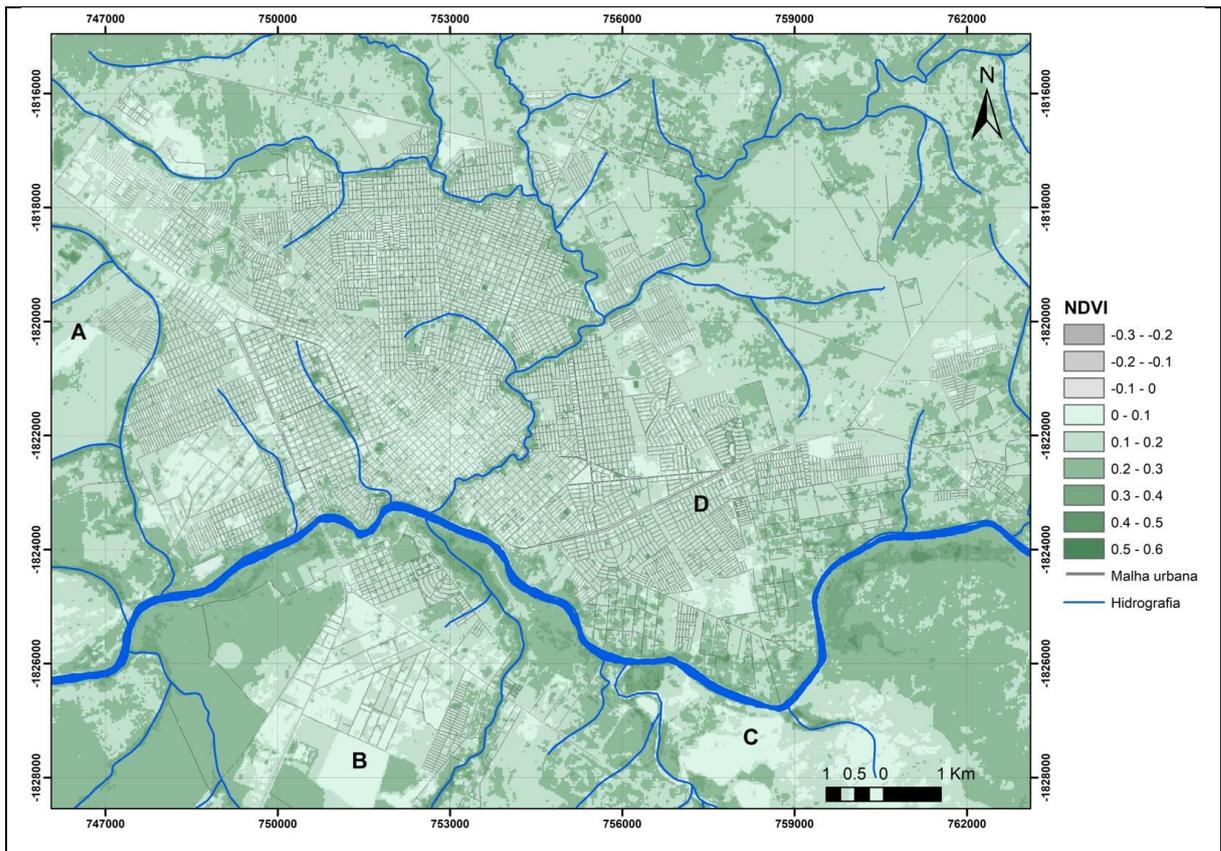
Fonte: Google Earth Pro - Imagem de 27/08/2020 - Altitude do ponto de visão 2 km

O quarto episódio foi registrado no dia 13 de agosto de 2020 (Figura 10), não houve precipitação por 90 dias, configurando como um enorme período de estiagem. Conforme citado anteriormente as queimadas no mês de agosto foram severas e atingiram boa parte da região. Na Figura 11, foram detalhados pontos de maiores intensidades das ilhas de calor, sendo que os pontos A, B e C se referem as áreas de queimadas e atingiram 13°C, 14°C e 14°C, respectivamente.

Os resultados demonstraram que o NDVI apresentou maiores valores nas áreas com vegetação densa e menores valores em solo exposto, associados à vegetação seca, carbonização ou com completa ausência de vegetação (Figura 10). De acordo com Lotufo *et al.* (2020), ocorre o aumento da refletância após passagem do fogo devido à deposição de cinzas brancas. Neste caso, a temperatura da superfície foi maior nas áreas de queimadas relacionada ao aumento da capacidade de absorção da superfície (cor preta das cinzas). Estes resultados são atribuídos aos efeitos combinados de maior exposição do solo, aumento da absorção da radiação pela vegetação carbonizada e redução da evapotranspiração.

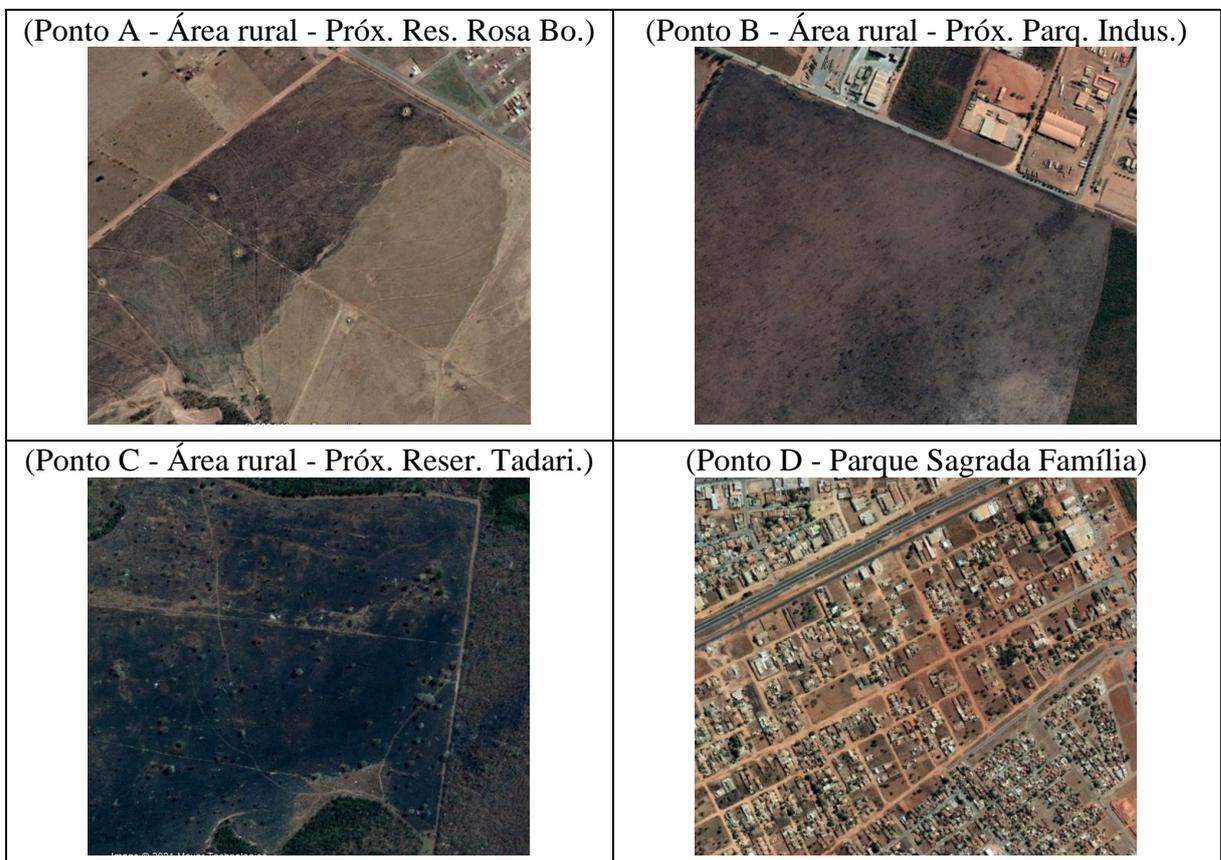
Figura 10 - Distribuição espacial da intensidade da ilha de calor superficial e do NDVI (13/08/2020)





Fonte: Imagem do Satélite Landsat 8

Figura 11 - Características dos pontos destacados na Prancha 1 e Prancha 2 (13/08/2020)



Fonte: Google Earth Pro - Imagem de 27/08/2020 - Altitude do ponto de visão 2 km

Assim como as áreas de solo exposto, após a passagem do fogo as cinzas e os carvões depositados reduzem o albedo e altera de forma direta o balanço de energia ao ocasionar maior absorção da radiação solar e conseqüentemente elevação da temperatura de superfície. Essas queimadas podem ocorrer de origem natural, provocada por combustão espontânea ou incidência de raios e impulsionado por fatores como a umidade relativa do ar baixa, ausência de precipitação e forte velocidade do vento, bem como de origem social, neste caso, por causas acidentais ou criminosas. No Brasil, grande parte das queimadas estão relacionadas a uma técnica de manejo de “limpeza” do solo, resultando no desmatamento de grandes áreas para dar lugar as atividades ligadas à pecuária extensiva e ao cultivo agrícola (LOTUFO *et al.* 2020).

O ponto D, está localizado na região do Parque Sagrada Família, é um bairro residencial com população de baixo poder aquisitivo, apresentou intensidade de 8°C, em relação a Reserva Tadarimana. Como pode-se observar na Figura 11, trata-se de uma área com a presença de muitos terrenos vazios, sem pavimentação nas ruas, solo exposto e sem presença de vegetação arbórea.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados das ilhas de calor superficiais mostrou que durante a estação seca as maiores intensidades ocorreram sob atuação da massa Tropical Continental, o que propiciou o aumento da radiação solar direta sobre as superfícies dos alvos. As intensidades das ilhas de calor foram relacionadas aos tipos de materiais construtivos no intraurbano no período chuvoso e a grande quantidade de solo exposto no período seco.

Os dados referentes ao NDVI foram importantes para verificar a variabilidade espacial da temperatura da superfície em relação aos episódios secos e chuvosos, sendo que durante a estação seca ocorreu a diminuição da massa vegetal a partir da perda das folhas e maior exposição do solo, devido à redução da cobertura vegetal rasteira. Nas áreas onde ocorreram queimadas as intensidades foram elevadas devido ao aumento da capacidade de absorção da radiação pela vegetação carbonizada e redução da evapotranspiração.

As características de uso e ocupação da terra foram fundamentais para diferenciar as intensidades das ilhas de calor superficiais. As áreas dos distritos industriais e dos conjuntos habitacionais densamente construídos, com materiais de baixo padrão construtivo, telhas de

fibrocimento, loteamentos pequenos e sem cobertura vegetal, apresentaram ilhas de calor de muito forte magnitude (Fernández García, 1996). Os bairros habitados pela população de maior poder aquisitivo, com alto padrão construtivo, com a ampla área de lazer, lago artificial, terrenos amplos, construções espaçadas e grande presença de vegetação arbórea, apresentaram menores magnitudes das ilhas de calor.

De modo geral, foi possível identificar padrões nos quatro episódios analisados. A ilha de calor de superfície foi bem definida e apresentou forte magnitude no período chuvoso. Nos bairros densamente construídos com materiais construtivos de baixo padrão, telhas de fibrocimento, loteamentos pequenos, sem cobertura vegetal e nos distritos industriais foram registradas as maiores intensidades da ilha de calor em relação as áreas de maior cobertura vegetal arbórea nos fundos de vale, horto florestal e na Reserva Indígena Tadarimana.

Durante a estação seca o padrão esteve relacionado a diminuição da massa vegetal e a presença de solo exposto, gerando grandes intensidades de temperatura na área rural devido a redução do albedo que retém mais calor. A presença de solo exposto também ocorreu devido a criação de novos loteamentos, vazios urbanos, desmatamento para a implantação da agropecuária e ao período de entressafra do cultivo da soja, momento em que ocorre a preparação do solo para o próximo cultivo.

A análise baseada na geografia do clima (SANT'ANNA NETO, 2001), sugere a necessidade de se incorporar a dimensão social na interpretação do clima na perspectiva da análise geográfica, compreendendo que a repercussão dos fenômenos atmosféricos na superfície terrestre se dá num território, transformado e produzido pela sociedade de maneira desigual e apropriado segundo os interesses dos agentes sociais. Desta forma, considerar a produção do espaço de acordo com o uso e ocupação da terra é fundamental para compreender as intensidades das ilhas de calor de superfície e a sua repercussão no espaço geográfico.

REFERÊNCIAS

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

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*. N° 23: 1–26 (2003).

BRANDÃO, R. S. **As interações espaciais urbanas e o clima: incorporação das análises térmicas e energéticas no planejamento urbano.** (Tese de Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. p.351.

CHEN, X. L.; ZHAO, H. M.; LI, P. X.; YIN, Z. Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, n. 106, p. 133-146, 2006.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación.** Madrid: Editorial síntesis, S.A., 1996. 285p.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zoas de calor em áreas urbanas.** Tradução Silvia Helen Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GOMES, W. P., AMORIM, M. C. C. T. **Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo do clima urbano em cidade litorânea: o caso de Ubatuba-SP.** In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Goiânia, 2016, p. 1.674 - 1686.

GOMES, W. P. **Características da temperatura na zona costeira: análise do clima urbano em Ubatuba-SP.** (Dissertação de Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2017. 209f.

GOMES, W. P. **O clima urbano em ambiente tropical: análise do perfil térmico de Rondonópolis-MT.** (Tese de Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente-SP, 2021. 202f.

HUANG, F.; ZHAN, W.; VOOGT, J.; HU, L.; WANG, Z.; QUAN, J.; JU, W.; GUO, Z. Temporal upscaling of surface urban heat island by incorporating an annual temperature cycle model: a tale of two cities. **Remote Sensing of Environment**, v. 186, p. 1-12, 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2020.**

Disponível em: <

https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2020/estimativa_dou_2020.pdf> Acessado em 2020.

LOTUFO, J. B. S.; MACHADO, N. G.; TAQUES, L. M.; MUITZENBERG, D. M. S.; LOTUFO NETO, N.; BIUDES, M. S. Índices Espectrais e Temperatura de Superfície em Áreas Queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 02. 2020, p. 6048-663.

MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. L'étude du climat urbain au Brésil: Etat actuel et contribution de la télédétection; In **Environnement et télédétection au Brésil**, Presses Universitaires de Rennes, p.135-146, 2002.

OKE T. R. **Boundary Layer Climates.** London: Methuen & Co, 1978.

PÉREZ GONZÁLES, M. E., GARCÍA RODRÍGUES, M. P. Cartografía térmica del área metropolitana de Madrid a partir del sensor ETM del LANSAT 7. In: **Anales de Geografía de**

la **Universidad Complutense**, vol. extraordinario, 2002, Madrid. Anais...Madrid: UC, 2002, p. 377-386.

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.

SANT'ANNA NETO, J. L. **História da Climatologia no Brasil: gênese, paradigmas e a construção de uma Geografia do Clima.** Tese de Livre-Docência. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2001.

SETTE, D. M.; TARIFA, J. R. O El niño 97/98, ritmo e repercussão na gênese dos climas no Mato Grosso (Brasil). **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, N° 11, pp.51-67, 2002.

TAHA, C. **Urban growth, heat islands, humidity, climate change: the costs multiply in tropical cities.** The conversation Academic rigor, journalistic flair. September 9, 2019.

VELASCO, G. D. N. *et, al.* Aplicação do índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) em imagens de alta resolução no município de São Paulo e suas limitações. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 2, n. 3, 2007.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Complete urban surface temperatures, **Journal of Applied Meteorology**, 36, No. 9, 1117-1132, 1997.

VOOGT, J. A.; OKE, T.R. Thermal remote sensing of urban climates, **Remote Sensing of Environment**, 86, 370-384, 2003.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. **ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.** n°64, 335-344. 2009.

ZHOU, D.; XIAO, J.; BONAFONI, S.; BERGER, C.; DEILAMI, K.; ZHOU, Y.; FROLKING, S.; YAO, R.; QIAO, Z.; SOBRINO, J.; Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives. **Remote Sensing of Environment**, 11, 48, 2019.