

Influência da vegetação na temperatura da superfície em áreas urbanas por meio de imagens do satélite Landsat 8

Influence of vegetation on surface temperature in urban areas through Landsat 8 satellite imagery

¹Hellen Amanda Rosa, ²Reynaldo Furtado Faria Filho

¹Graduanda em Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa (hellen.rosa@ufv.br)

²Doutor Professor do Curso Superior de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa (reynaldofilho@ufv.br)

RESUMO: O surgimento da urbanização tem provocado alterações das condições ambientais devido ao aumento no número de veículos, substituição do solo original por superfícies impermeáveis, redução da circulação do ar devido às edificações, canalização de rios, corte das árvores, entre outros. Neste sentido, a troca de vegetação natural pelas cidades gerou um aumento nas temperaturas nos centros urbanos. Assim, o presente estudo objetivou analisar a influência da cobertura vegetal na temperatura da superfície terrestre no limite urbano da cidade de Rio Paranaíba – MG. A temperatura da superfície terrestre foi determinada a partir da banda 10 e o índice de vegetação (NDVI) foi calculado a partir das bandas do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED) do satélite Landsat 8. Após isso, realizou-se a fusão com a imagem da banda pancromática do mesmo satélite. Os resultados evidenciaram que as imagens fusionadas apresentam melhor definição para temperatura e NDVI. Este estudo demonstrou a possibilidade de identificar áreas com maiores e menores temperatura e quantidade de vegetação, bem como a dependência entre eles. Neste sentido, observou-se que ao aumentar o índice de vegetação diminui-se a temperatura, fazendo com que a utilização conjunta da espacialização da temperatura e cobertura vegetal apresenta resultados significantes para o planejamento urbano. Assim, as áreas centrais da cidade, a qual possui valor de NDVI menores, apresentaram temperaturas maiores do que as áreas mais extremas, onde o NDVI é maior, reduzindo aproximadamente 0,71°C, proporcionando à região melhor sensação térmica e mais conforto.

Palavras Chave: Geoprocessamento. Sensoriamento remoto. Landsat 8. Fusão de imagens. Temperatura da Superfície. Índice de Vegetação.

ABSTRACT: The emergence of urbanization has caused changes in environmental conditions due to the increase in the number of vehicles, replacement of natural soil with impermeable surfaces, reduced air circulation due to buildings, river channeling, tree cutting, among others. In this sense, the replacement of natural vegetation with cities has led to an increase in temperatures in urban centers. Therefore, the present study aimed to analyze the influence of vegetation cover on land surface temperature at the urban boundary of Rio Paranaíba - MG. Land surface temperature was determined using Band 10, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated from the Near Infrared (NIR) and Red (RED) bands of Landsat 8 satellite imagery. Subsequently, fusion was performed with the panchromatic band of the same satellite. The results showed that the fused images provided better definition for temperature and NDVI. This study demonstrated the possibility of identifying areas with higher and lower temperatures and vegetation levels, as well as the dependency between them. It was observed that increasing the vegetation index leads to a decrease in temperature, indicating that the combined use of temperature and vegetation cover spatialization yields significant results for urban planning. Consequently, the central areas of the city, with lower NDVI values, showed higher temperatures compared to the more peripheral areas with higher NDVI, resulting in an approximate reduction of 0.71°C, providing better thermal comfort to the region.

Keywords: Geoprocessing. Remote sensing. Landsat 8. Image fusion. Surface Temperature. Vegetation Index.

1. INTRODUÇÃO

A inserção do homem no espaço urbano, processo chamado urbanização, teve início no século XVIII com a migração da zona rural para pequenos aglomerados urbanos devido ao crescimento econômico e industrial destes aglomerados (CARDOSO, SANTOS e CARNIELLO, 2011). Tais mudanças podem gerar impactos negativos na biodiversidade, cultura e economia do local, principalmente quando o processo ocorre sem planejamento. No Brasil, a urbanização ocorreu tardiamente quando comparado ao contexto mundial, no entanto, de forma acelerada, implicando em drásticas mudanças no uso e ocupação do solo e comportamento da sociedade (FEIO et. Al, 2022; MENDONÇA e LIMA, 2020).

O acelerado processo de urbanização durante o século XX levou a sociedade ao uso predatório dos recursos naturais para suprir demandas como habitação, saneamento básico, mobilidade e serviços de saúde, acarretando inúmeros impactos ambientais como a poluição do ar, contaminação dos corpos hídricos e diminuição de áreas verdes (FEIO et al, 2022; GAMARRA et al, 2014). Guilherme et al (2022) ressalta que a temperatura nos grandes centros urbanos é significativamente maior que em áreas vegetadas, devido a troca de áreas verdes pelo asfalto, fazendo com que o aumento da temperatura da superfície terrestre também seja um impacto gerado pela urbanização.

A arborização exerce função importante nas áreas de densa urbanização, sendo responsáveis por uma série de benefícios ambientais, principalmente pela capacidade de absorção de CO₂ da atmosfera. As árvores tem a capacidade de manter a umidade local e diminuir a temperatura nas calçadas e vias urbanas por meio da absorção da radiação solar incidente. Além disso, podem auxiliar na diminuição das ilhas de calor, no controle de enchentes e alagamentos, no aumento das taxas de infiltração das águas pluviais e no abrigo para fauna. Se utilizadas espécies nativas, tais efeitos positivos podem ser ainda maiores (RIBEIRO, 2009; HARTMANN e FLORES, 2022).

Com isso, a cobertura vegetal e o clima são fatores importantes a serem considerados durante o planejamento urbano, tornando-se variáveis relevantes principalmente para a definição de estratégias de ocupação do solo urbano (MENDONÇA, 2004). No entanto, coletar esse tipo de informação com equipamentos in situ pode ser complexo tanto em municípios pequenos por não terem estações meteorológicas quanto em grandes centros urbanos, devido à área ser muito extensa (SOUZA et al., 2016).

Nesse sentido, o sensoriamento remoto e geoprocessamento são ferramentas importantes e com elevado potencial para análises ambientais como as ilhas de calor urbanas e uso do solo (FILGUEIRAS et al., 2016). O sensoriamento remoto possibilita o monitoramento da biodiversidade através da união de diversas fontes de dados e da investigação sistemática de todas as unidades territoriais, proporcionando vantagens na obtenção de informação com ampla cobertura espacial da região em estudo (COELHO, 2016). Para análise de temperatura da superfície terrestre, em específico, ele apresenta a vantagem de proporcionar em tempo sincronizado uma densa rede de dados (NICHOL, 1996) uma vez que condiciona o trabalho na detecção de temperaturas, devido ao calor interno dos objetos que, ao serem convertidos em energia radiante são captados pelos sensores termais de satélites como o Landsat 8.

Assim, a utilização do sensoriamento remoto termal como ferramenta de planejamento urbano é uma técnica já bem difundida e explorada (SOUZA, 2023). Outros autores também usaram sistemas de sensoriamento remoto infravermelho termal para documentar o efeito de ilha de calor urbana e constataram sua eficiência. Lombardo (1985) utilizou dessas técnicas para analisar regiões metropolitanas e em cidades de grande porte, já Amorim et al. (2009), Amorim & Monteiro (2011) utilizaram das imagens termais do satélite Landsat 7 ETM+ para

comparar o clima urbano entre a cidade de Presidente Prudente (SP – Brasil), Rennes (França) e Porto (Portugal). No entanto, no contexto de planejamento urbano, a análise da distribuição vegetal em relação ao clima ainda permanece como uma área pouco explorada (CAMACHO e MOSCHINI, 2021). Para a análise da cobertura vegetal os índices espectrais de vegetação, como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), são as ferramentas de sensoriamento remoto que mais se destacam (MENESES, 2012). Esses índices, de acordo com Ponzoni & Shimabukuro (2012), baseiam-se nas diferentes respostas da vegetação no espectro eletromagnético e exploram suas propriedades espectrais, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Diante dessa perspectiva, Camacho e Moschini (2021) apresentou uma análise combinada entre temperatura e cobertura vegetal na cidade de São Carlos – SP, destacando a notável importância das áreas verdes na manutenção e amenização das ilhas de calor urbanas.

Nesse contexto, o referido trabalho teve como objetivo determinar a temperatura da superfície em áreas urbanas por meio de imagens do satélite Landsat 8. O trabalho foi desenvolvido na área urbana de Rio Paranaíba, Minas Gerais. Além disso, o trabalho teve como objetivos específicos identificar as áreas verdes, determinar o NDVI, comparar os valores de temperatura e NDVI com imagens de resolução espacial diferentes para área urbana do município, utilizando cenas espectrais do satélite Landsat 8.

Dessa forma, o presente trabalho busca contribuir para o avanço do conhecimento sobre a interação entre a cobertura vegetal e o clima urbano, fornecendo subsídios para a implementação de medidas que promovam a mitigação dos efeitos das ilhas de calor e a promoção de ambientes urbanos mais sustentáveis e confortáveis para a população.

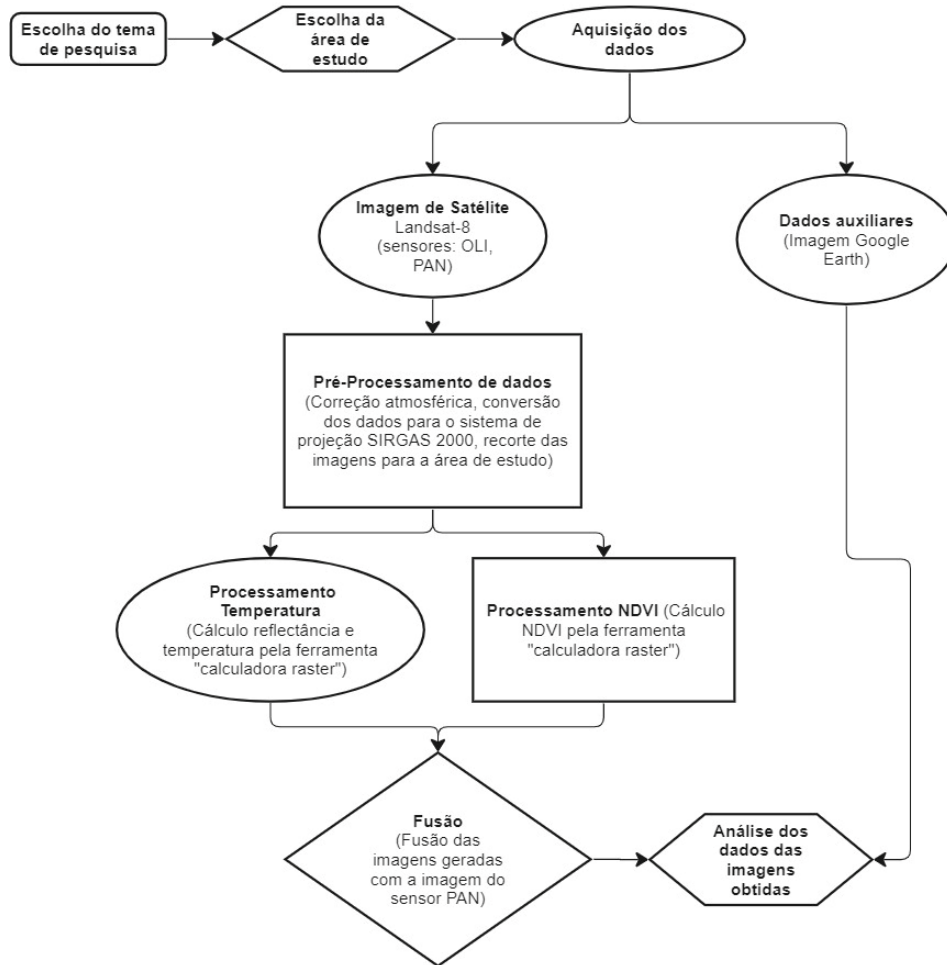
2. MATERIAIS E MÉTODO

Uma pesquisa científica possui como finalidade solucionar problemas e questionamentos com base em processos científicos (KOTHARI, 2004). Além disso, ela é um estudo planejado, onde o método de abordagem do problema indica o aspecto científico da investigação (BEINS, 2017). Assim, existem vários tipos de pesquisas e métodos de pesquisas que proporcionam a coleta de dados sobre o que se deseja investigar (PRODANOV e FREITAS, 2013).

Com relação ao estudo, este se classifica como aplicado, visto que gera conhecimento para a aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos (BEINS, 2017). Além disso, este utiliza como procedimento técnico a pesquisa bibliográfica e estudo de campo. O primeiro está relacionado a trabalhos elaborados a partir de material já publicado enquanto o estudo de campo baseia-se na observação de fatos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente (PRODANOV e FREITAS, 2013).

No que se refere à abordagem de pesquisa, o presente trabalho está inserido nas abordagens quantitativas e qualitativas uma vez que pesquisas quantitativas têm como intuito traduzir, em número, informações para classificá-las e analisá-las, e pesquisas qualitativas apresenta a obtenção de dados descritivos sobre os processos interativos pelo contato direto do pesquisador com a situação estudada, para compreender os fenômenos segundo a perspectiva dos sujeitos (GODOY, 1995). Assim, os procedimentos metodológicos adotados no desenvolvimento do trabalho estão apresentados na Figura 1.

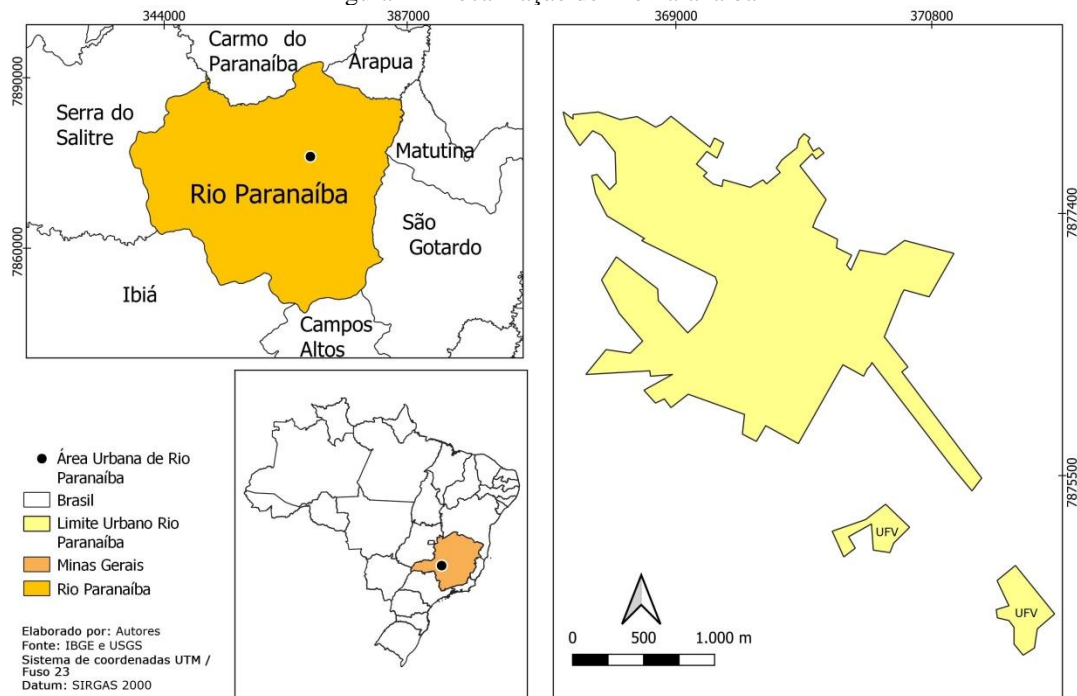
Figura 1- Fluxograma com os procedimentos metodológicos utilizados



2.1 Área de estudo

A área utilizada neste estudo é o limite urbano do município de Rio Paranaíba, situado na região do Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais. Este município possui como vizinhos São Gotardo, Ibiá, Campos Altos, Matutina, Carmo do Paranaíba, Arapuã e Serra do Salitre, conforme apresentado na Figura 2. Rio Paranaíba, possui como principal atividade econômica, a agricultura, na qual se destacam a produção das culturas de café, soja, milho, cenoura, alho, batata e cebola. Além disso, o município possui o Campus da Universidade Federal de Viçosa ao qual estimulou o aumento da área urbana. De acordo com dados publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022) a área territorial do município de Rio Paranaíba é de 1.352,35 km² e a área urbana da cidade em 2019 foi estimada em 3,41 km², no mesmo ano a população da cidade foi estimada em 12.313 hab. (DATASUS, 2019) e a densidade demográfica de 9,10 hab/km².

Figura 2 – Localização de Rio Paranaíba



Já com relação ao clima, a região está entre tropical para tropical ameno, equivalente aos climas subquente úmido e semiúmido, com temperatura média anual entre 20°C e 22°C e temperatura do mês mais frio, junho, entre 15°C e 18°C; pluviosidade média anual entre 1.250 e 1.800 mm, e concentrada no verão (novembro a fevereiro) e o bioma característico da região é o cerrado (NOVAIS, 2011).

2.2 Aquisições e pré-processamento dos dados

Para o presente estudo foram utilizadas imagens do sensor Landsat 8, de nível 2, adquiridas gratuitamente nos catálogos do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), os shapefiles do território e limites municipais brasileiros disponíveis pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Assim, as imagens do Landsat 8 utilizadas foram da data de 28/10/2022 às 13 horas, 3 minutos e 47 segundos, correspondendo a órbita 219 e ponto 73, considerando a menor presença de nuvens na cena como critério de escolha para adoção das imagens. Cabe destacar que, nessa data, a estação meteorológica da Cooxupe, no município em questão, registrou uma temperatura média de 23,4°C, com máxima de 30,7°C e mínima de 18,4°C, acompanhada por 9,6 mm de precipitação, umidade média de 66%, mínima de 43% e máxima de 86%, além de ventos máximos de 29 km/h.

O satélite Landsat 8, lançado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) em 11 de fevereiro de 2013 (USGS, 2022), foi escolhido por apresentar as bandas necessárias para o estudo, sendo elas, multiexpectral (MUX), termal (TIRS) e pancromática (PAN). As bandas espectrais e resolução espacial que cada banda opera é apresentada na Tabela 1 (Embrapa, 2022). Além disso, os metadados das imagens Landsat 8 disponibilizam informações das constantes de calibração do satélite, que não são fornecidas, com frequência, para outros satélites, como CBERS. As referidas constantes de calibração foram condições necessárias para realização deste estudo, pois a inexistência das mesmas, dificultaria, por exemplo, a aplicação das equações para a obtenção dos dados de temperatura.

Tabela 1 – Características dos sensores OLI e TIRS

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (µm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)	Área Imageada (Km)	Resolução Radiométrica (bits)	
OLI (Operational Land Imager)	(B1) AZUL COSTEIRO	0,43 - 0,45	30	16	170 x 183	16	
	(B2) AZUL	0,45 - 0,51					
	(B3) VERDE	0,53 - 0,59					
	(B4) VERMELHO	0,64 - 0,67					
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,85 - 0,88					
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1,57 - 1,65					
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2,11 - 2,29					
	(B8) PANCROMÁTICA	0,50 - 0,68					15
	(B9) CIRRUS	1,36 - 1,38					30
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	(B10) INFRAVERMELHO TERMAL	10,6 - 11,19	100				
	(B11) INFRAVERMELHO TERMAL	11,5 - 12,51	100				

Fonte: Embrapa (2022).

Após a aquisição dos dados foi utilizado o software *Qgis (versão 3.22.13)* para realizar o recorte das imagens originais, delimitando os arquivos à área de estudo, depois foi utilizada a ferramenta “*Semi-Automatic classification Plugin*” (*SCP*) para realizar a correção atmosférica e obter uma imagem de melhor qualidade, sem efeito de nuvens. Posteriormente, os arquivos foram reprojatados para a referência espacial SIRGAS 2000 UTM – Zona 23 Sul, completando, assim, a fase de pré-processamento das imagens.

2.3 Confeção da imagem de Temperatura

Para a confecção do mapa de temperatura de superfície foi utilizada a banda 10 do sensor Thermal Infrared Sensor TIRS (TIRS), que corresponde à faixa infravermelho termal (10.6 - 11.19 µm - micrômetro), com resolução espacial de 30 m por pixel.

O processamento e tratamento da imagem para temperatura foi realizado por meio da ferramenta “calculadora raster” do Qgis. Assim, foi realizado a conversão dos parâmetros fixos de níveis de cinza (NC) em radiância, aplicando a Equação 1, cedida pelo USGS. Já para obter a imagem de temperatura da superfície convertida em graus Celsius (°C), aplicou-se a Equação 2.

$$L\lambda = ML \times Q_{cal} \times AL \quad (1)$$

em que:

$L\lambda$ é a Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/(m²sr µm);

ML é o Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-4;

AL é o Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0,1000;

Q é o Valor quantizado calibrado pelo pixel DN = Imagem da banda 10.

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} - 273,15 \quad (2)$$

em que:

T é a Temperatura em °C;

K1 é a Constante de calibração 1 = 1321,079 (K);

K2 é a Constante de calibração 2 = 774,89 (K);

Lλ é a Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/ (m²sr μm).

As imagens obtidas pelos processos anteriormente citados estavam com resolução espacial de 30 m. Para obter uma melhor resolução, realizou-se a fusão, pelo método de Gram-Schmidt, das imagens de temperatura obtidas no processamento e a imagem da banda pancromática do satélite Landsat 8. A fusão de imagens é uma técnica utilizada para melhorar a resolução espacial da imagem a qual se pretende analisar, assim, a fusão conserva os dados da imagem de pior resolução e as atribui a imagem de melhor resolução (MENESES, 2012).

2.4 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

Índice de vegetação é um índice que visa realçar as variações de densidade da cobertura vegetal por meio da divisão de bandas de um sensor (MENESES, 2012). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) é um índice de vegetação que envolve a diferença entre a banda situada no infravermelho próximo (NIR) e a banda situada no vermelho (RED) pela soma das mesmas. Neste sentido, a banda NIR indica a região onde a vegetação possui reflectância intensa enquanto a banda RED indica a região onde a vegetação possui maior absorção da luz solar visível devido à presença do pigmento verde clorofila (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

Os valores de NDVI variam de -1 a 1, na qual os valores mais próximos de 1 representam áreas com maiores quantidades de vegetação ativa, enquanto os valores mais próximos de -1 representam áreas com menor quantidade de vegetação como curso d'água e neve. (BRAZ, 2018). Para Liu et al (2006), o NDVI pode ser dividido em classes conforme a reflectância da superfície dos materiais, assim, cursos d'água e neve pertencem à classe que varia de -1 a 0, devido sua alta absorção da luz; concreto, asfalto, solo exposto e vegetação doente pertencem à classe de 0 a 0,33; pastagem e vegetação moderadamente saudáveis de 0,33 a 0,66 e vegetação densa e saudável de 0,66 a 1.

Para a confecção do mapa de índice de vegetação foram utilizadas as bandas espectrais B5 - Infravermelho próximo (0,85 – 0,88 μm) e B4 - Visível vermelho (0,64 – 0,67 μm), ambas com resolução espacial de 30 m, a Equação 3 e a ferramenta “calculadora raster” do Qgis. No intuito de melhorar a resolução espacial foi aplicada a ferramenta de fusão gerando uma imagem com resolução espacial de 15 m.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3)$$

em que:

NDVI é o índice de vegetação;

NIR é a reflectância para banda do infravermelho próximo;

Red é a reflectância para a banda do visível vermelho.

2.5 Fusão de imagens

A fusão de imagens é um processo que combina imagens com diferentes características espectrais e espaciais para sintetizar uma nova imagem de melhor resolução espacial do que a imagem multiespectral original (BRYS, 2008). Além disso, o processo de fusão de imagens de sensoriamento remoto pode ser efetuado tanto com bandas de um mesmo sensor quanto com bandas de diferentes sensores, visando como resultado melhorias na qualidade das imagens (SOARES et al, 2015).

Para Fonseca (2000, apud SOARES et al, 2015), as técnicas de fusão de imagens consistem em integrar a melhor resolução espacial da banda pancromática à melhor resolução espectral das demais bandas, produzindo uma imagem colorida que apresenta ambas características. Na atualidade, existem diversas técnicas de fusão de imagens orbitais como ISH, Brovey, componentes e Gram-Schmidt (MENESES, 2012). Para este trabalho foi utilizado o método de fusão Gram-Schmidt, pois, este não apresenta restrições quanto ao número de bandas empregadas no processo.

Neste sentido, o método de fusão Gram-Schmidt é uma operação sobre vetores com o objetivo de torná-lo ortogonais (COELHO, 2016). Assim, a fusão tem início partindo da simulação de uma banda pancromática pelas bandas multiespectrais de baixa resolução espacial. Posteriormente, é aplicado à banda pancromática simulada e às bandas multiespectrais uma transformação de Gram-Schmidt, onde a pancromática simulada é empregada como a primeira banda. Então, a primeira banda é trocada pela banda pancromática de alta resolução e uma transformação inversa é aplicada para formar a imagem sintética de saída (RSI, 2003).

Para o fusionamento das imagens foi utilizada a ferramenta ORFEO Toolbox (OTB), implementada no Qgis, e o método de fusão empregado na ferramenta foi o Pansharpenig (Local Mean and Variance Matching). Desse modo, para obter a imagem fusionada, primeiro aplicou-se a ferramenta “superimpose” do complemento OTB, que dimensiona e compatibiliza a imagem a ser fusionada para a extensão e resolução da banda pancromática empregada (VERAS, 2022), adotando o modo predefinido e uma interpolação linear. Em seguida aplicou-se a ferramenta “Pansharpening” que mescla as cenas entre as duas imagens fusionadas. Assim, foi possível obter uma imagem com resolução espacial de 15 m.

3. RESULTADOS

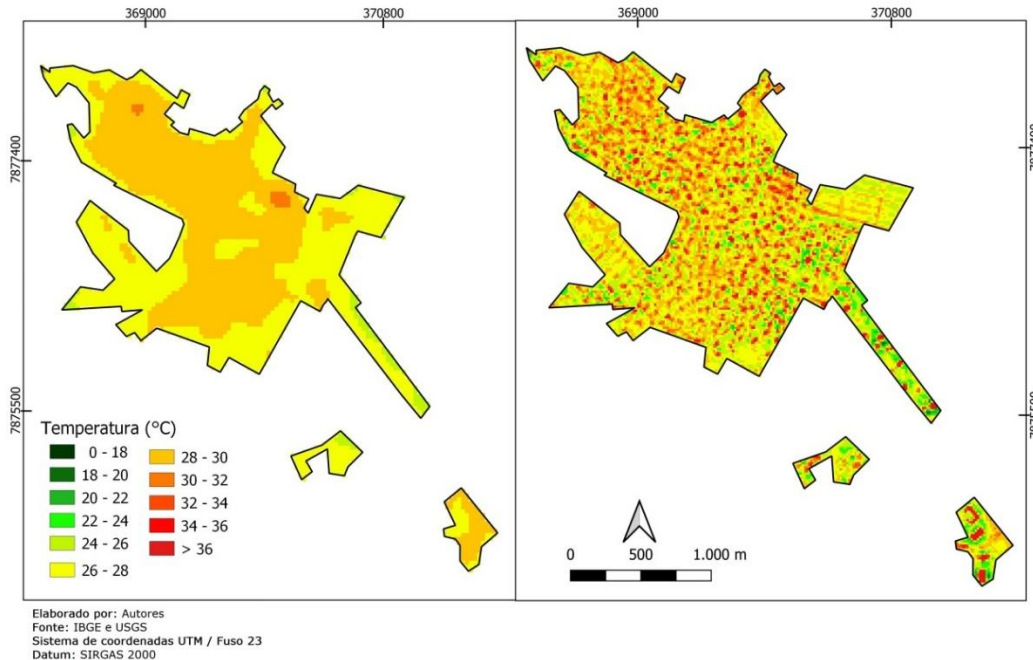
3.1 Determinação da temperatura

A Figura 3 mostra a espacialização das temperaturas de superfície, com resoluções espaciais de 30 m (figura da esquerda) e 15 m (figura da direita) para o dia 28 de agosto de 2022, no perímetro urbano de Rio Paranaíba. Para a resolução espacial de 30 m, foi observada a temperatura mínima de 24°C e máxima de 32°C. Enquanto que, para a imagem com resolução espacial de 15 m a temperatura variou de 18 a 38°C, se aproximando dos valores obtidos na estação de referência, vale ressaltar que temperaturas mais altas isoladas, podem ser decorrentes de fontes de calor como fornos. Desse modo, a imagem fusionada aumentou os limites extremos de detecção da temperatura, indicando que o maior detalhamento dos pixels gera maior detalhamento na detecção da temperatura.

Além disso, as imagens, para ambas as resoluções espaciais, demonstraram que as temperaturas na periferia da área urbana do município são mais baixas, justificado pela baixa ocorrência ou ausência de objetos artificiais, como asfaltamento e concreto, que reduzem e alteram radicalmente as propriedades de impermeabilidade, radiativas e térmicas. Enquanto a mancha com temperatura mais elevada está localizada nas áreas centrais do município, onde

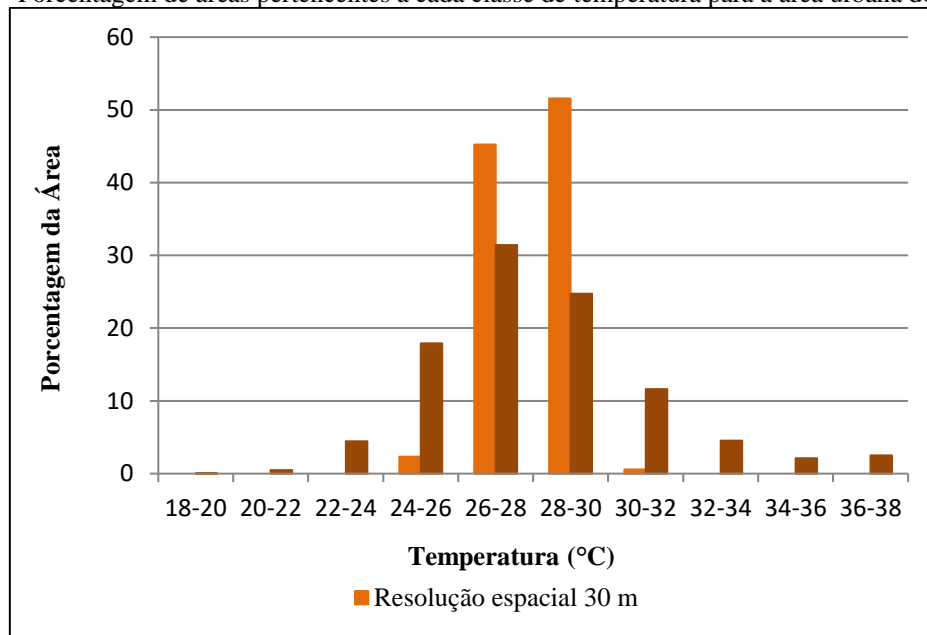
ocorre maior movimentação de veículo e na região norte, onde há maior aglomerado de construções com ausência de áreas verdes efetivas, bem como maior quantidade de construções com materiais de maior retenção de calor como telhas de fibrocimento (MASHIKI, 2012).

Figura 3 - Temperatura para resolução de 30 m (esquerda) e 15 m (direita)



A Figura 4 apresenta a porcentagem de distribuição da temperatura por área, para cada resolução espacial utilizada. Nesta, observa-se que, para a imagem com resolução espacial de 30 m, a temperatura de grande parte da área urbana de Rio Paranaíba, variou 4°C, ou seja, no intervalo de 26 a 30°C (aproximadamente 97% da área total). Entretanto, para a imagem com resolução espacial de 15 m, para se obter uma área de aproximadamente 95% do total, a variação de temperatura foi de 12°C (22 a 34°C), demonstrando maior detalhamento na detecção da temperatura. Com isso, a classe de temperatura com maior área passou de 28 a 30°C (imagem de resolução 30m) para 26 a 28°C (imagem de resolução 15m) e a temperatura média no município variou de 27°C para 28°C.

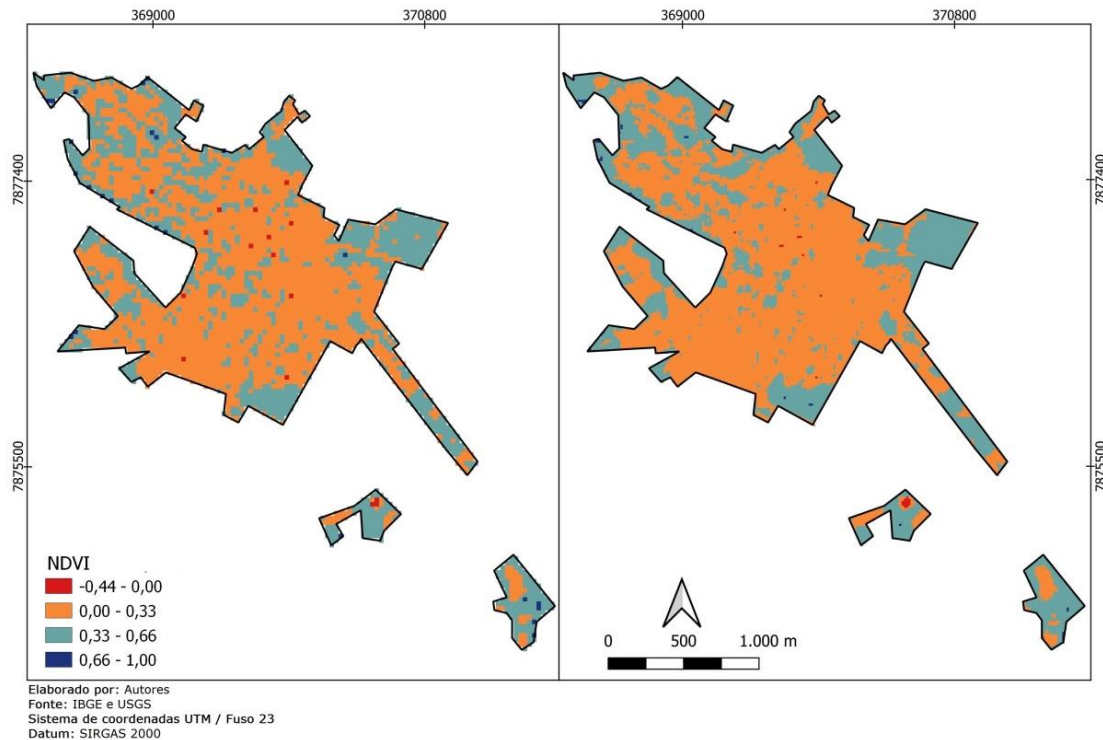
Figura 4 – Porcentagem de áreas pertencentes a cada classe de temperatura para a área urbana do município



3.2 Determinação do NDVI

A Figura 5 mostra o mapa com a espacialização do NDVI, para as resoluções espaciais de 30 m (figura da esquerda) e 15 m (figura da direita), respectivamente. Assim como, a imagem de temperatura, a imagem de NDVI com resolução de 15 m é proveniente da técnica de fusão, no perímetro urbano de Rio Paranaíba - MG, para o dia 28 de agosto de 2022. Os valores de NDVI calculados variaram de -0,44 a 0,90. Além disso, a relação da cobertura vegetal com a temperatura no ambiente urbano de Rio Paranaíba esteve associada com alta densidade das construções, onde os terrenos são, em sua maioria, impermeabilizados e carentes de cobertura vegetal arbórea, observa-se no centro da cidade.

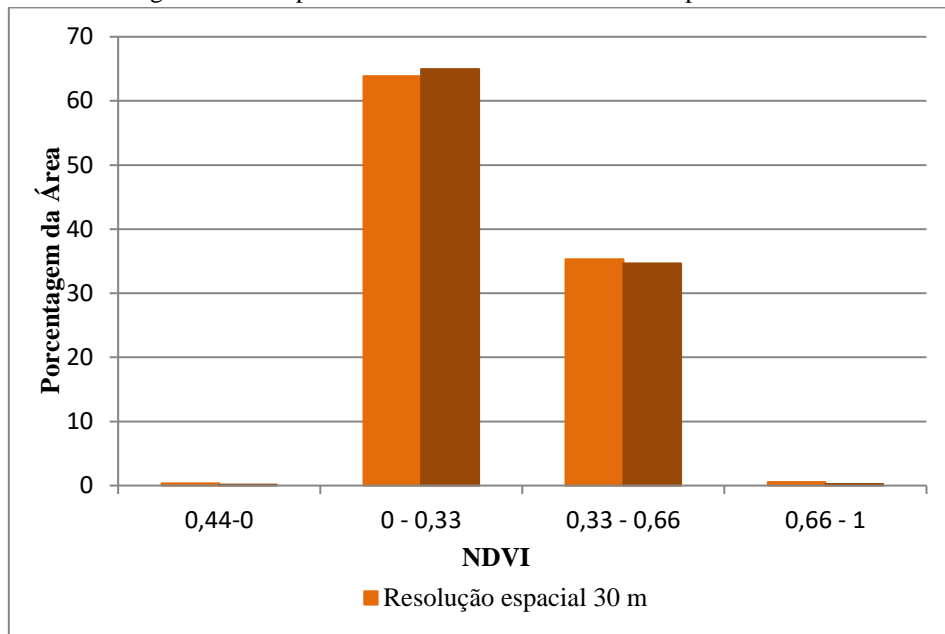
Figura 5 - NDVI para resolução de 30 m (esquerda) e 15 m (direita)



A imagem de NDVI, apesar de apresentar melhora na resolução não alterou o número de faixas, não ocasionando grandes mudanças nos valores dos dados entre as duas imagens. Além disso, é possível perceber que a classe de maior representatividade é a 0,00 a 0,33 (aproximadamente 65% da área urbana total, Figura 6). De acordo com Liu et al (2006) esta classe corresponde aos seguintes usos do solo: concreto, asfalto, solo exposto e vegetação doente. Assim, quanto mais afastado do centro da cidade maior tende a ser o NDVI, ou seja, a periferia da cidade apresenta maior concentração de áreas verdes do que as áreas centrais.

A Figura 6 apresenta a porcentagem de área para cada classe de NDVI determinada. Nesta, verifica-se que, aproximadamente, 65% da área total do município situa-se entre 0,00 a 0,33 do NDVI, e aproximadamente, 35% com valores entre 0,33 e 0,66, evidenciando a carência vegetativa do município.

Figura 6 – Percentagem de áreas pertencentes a cada classe de NDVI para a área urbana do município

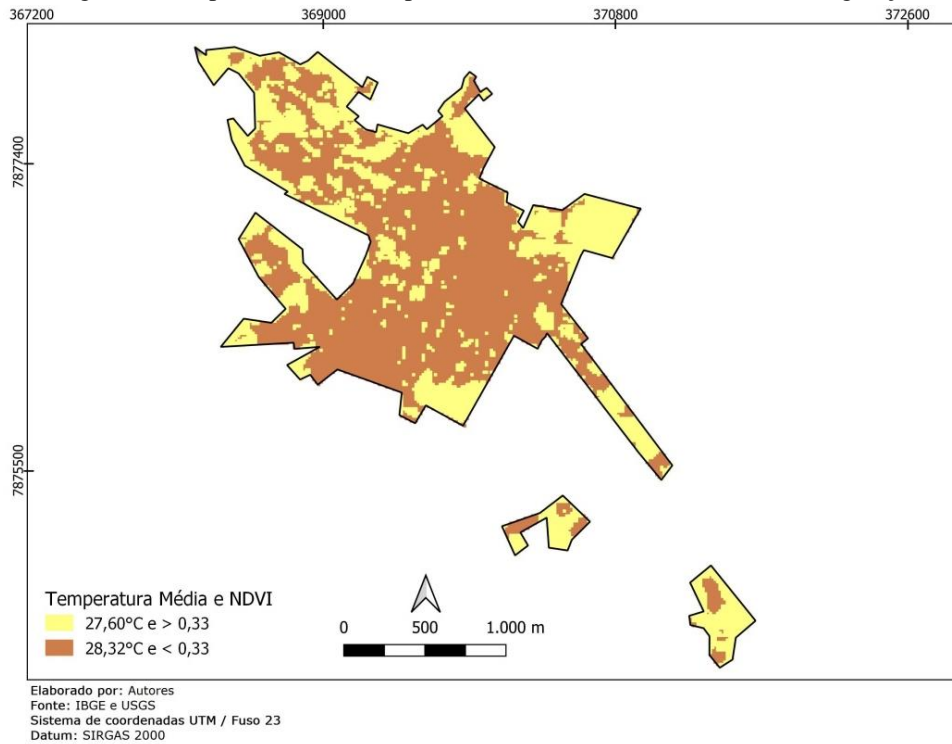


3.3 Comparação da temperatura de superfície com o índice de vegetação (NDVI)

Diante da percepção da existência da relação entre quantidade de vegetação saudável e temperatura da superfície, foi possível gerar o mapa apresentado na Figura 7. Este mapa é uma reclassificação do mapa de NDVI, na qual apresenta as áreas com índices de vegetação maiores e menores que 0,33. Este valor de NDVI foi utilizado com base no conceito definido por Liu et al (2006), em que, valores de NDVI maiores que 0,33 representam áreas com pastagem, vegetação moderadamente saudáveis, vegetação densa e saudável, enquanto que, valores de NDVI menores que este, os usos do solo não estão relacionados a vegetação saudável (cursos d'água, neve, concreto, asfalto, solo exposto e vegetação doente).

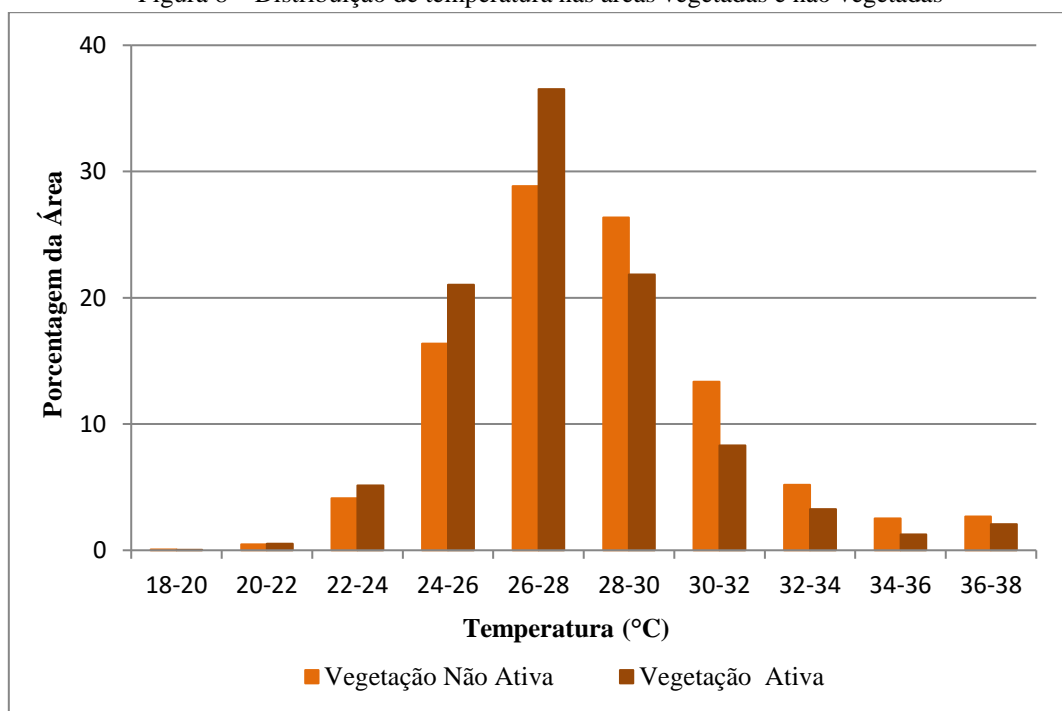
De posse do mapa de NDVI reclassificado fez-se o cruzamento com o mapa de temperatura permitindo-se, com isso, determinar a temperatura média ponderada pela área para os locais com vegetação e sem vegetação. A média da temperatura para as áreas com vegetação foi de 27,61°C, enquanto que, para as áreas sem vegetação foi de 28,32°C. Portanto, foi observada uma diminuição na temperatura média de 0,71°C, como esperado, visto que em trabalhos semelhantes, como de Mashiki (2012), foi constatado uma diferença de 4°C na temperatura entre as áreas mais vegetadas e as menos vegetadas do município de Botucatu - SP. Vale ressaltar, que o resultado obtido por Mashiki apresentou variação maior na temperatura, provavelmente, por ter utilizado a área de todo o município, enquanto que, no presente trabalho analisou-se apenas a área urbana.

Figura 7 – Mapa de NDVI e temperaturas médias das áreas com e sem vegetação



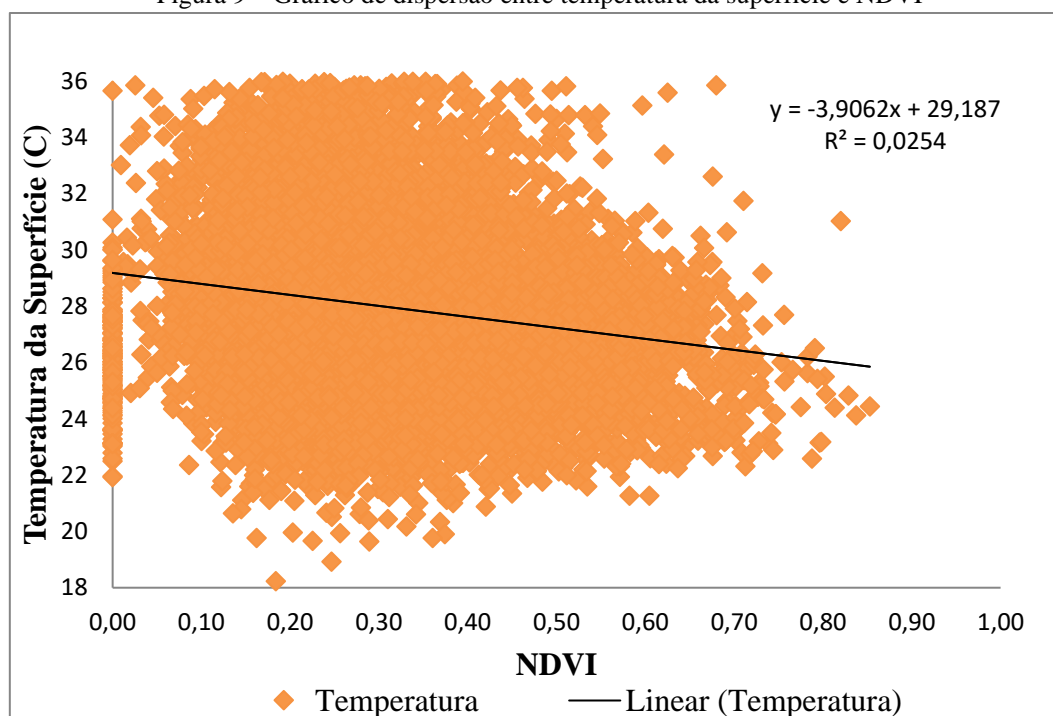
Na Figura 8 está apresentado o gráfico de porcentagem da distribuição das áreas com vegetação ativa e não ativa para as faixas de temperatura. Neste, observa-se que, até a temperatura de 28°C a área com vegetação é predominante, e a partir deste valor, ou seja, temperaturas maiores, as áreas não vegetadas estão em maior proporção, indicando com isso, que as áreas vegetadas possuem menor temperatura quando comparadas as áreas não vegetadas.

Figura 8 – Distribuição de temperatura nas áreas vegetadas e não vegetadas



Além disso, para análise diretamente a relação entre vegetação e temperatura, com auxílio do software Qgis, converteu-se o raster da temperatura para um shape de pontos e em seguida, atribui-se os valores do raster de NDVI ao shape obtido. Com isso, foi possível criar o gráfico apresentado na Figura 9, onde se verificou a existência de uma correlação de Pearson negativa no valor de 0,1594, ou seja, com a diminuição do parâmetro NDVI há um aumento da temperatura de superfície, indicando que com menos cobertura vegetal há um aumento da temperatura. Já o coeficiente de determinação ou R^2 , utilizado como medida da proporção da variabilidade entre as variáveis apresentou um R^2 de 0,0254.

Figura 9 – Gráfico de dispersão entre temperatura da superfície e NDVI



Desse modo, a comparação entre os resultados presentes nas Figuras 7, 8 e 9 confirmam que a sombra da vegetação arbórea é um fator importante para reduzir a quantidade de radiação solar que atinge a superfície da terra, visto que a vegetação possui absorção solar elevada (aproximadamente 80%) e grande parte da radiação incidente nelas é utilizada para a evapotranspiração, resultando na redução da temperatura do ar e no aumento da umidade ao redor, que mantém consequentemente temperaturas moderadas (COSTA, 2003; OLIVEIRA, 2013). Além disso, pôde-se verificar que as áreas edificadas se relacionam positivamente com as temperaturas, isto é, quanto maior a percentagem de área edificada, maior o valor da temperatura, bem como o grau de impermeabilização, que apresenta correlações semelhantes com a temperatura.

Sendo assim, esta pesquisa se aproxima dos resultados obtidos por Rampazzo (2019) e Camacho (2021) onde as análises e resultados da temperatura superficial e índices de vegetação NDVI apresentaram resultados similares, sendo as áreas com maiores índices de NDVI coincidindo com as áreas de temperaturas amenas caracterizadas pela presença de abundante vegetação e as regiões com baixos valores de NDVI estão associados às áreas urbanizadas, em áreas mais densamente construídas.

4. CONCLUSÃO

A aplicação do sensoriamento remoto se mostrou eficiente para a associação entre a temperatura de superfície e índice de vegetação NDVI, além disso, a técnica aplicada para fusão das imagens apresentou ótimos resultados, tanto na resolução espacial, quanto na identificação de diferentes temperaturas no perímetro urbano de Rio Paranaíba – MG. Neste sentido, a comparação entre as imagens fusionadas e não fusionadas, evidenciou melhoras na resolução espacial da imagem fusionada, contribuindo para uma melhor espacialização e identificação, principalmente das temperaturas, assim estes resultados permitiram ao estudo maior detalhamento na comparação entre temperatura e NDVI.

A utilização conjunta da espacialização da temperatura e cobertura vegetal no perímetro urbano se mostrou de grande valia para o planejamento urbano e nas tomadas de decisões que visem o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de ocupação do solo. Permitindo identificar as áreas que apresentam maiores e menores índices dos parâmetros de maneira satisfatória, bem como a dependência entre eles, visto que a depender do tipo da cobertura de uma área pode reconfigurar por completo o clima local.

Neste sentido, o uso de geoprocessamento e a combinação de técnicas de análise de temperatura e NDVI, podem proporcionar aos gestores ações de mitigação e controle das ilhas de calor urbanas, bem como, indicar, por meio de simulações, as melhores localidades para instalações de praças, parques, áreas de preservação e fragmentos florestais. Além disso, estudos como o realizado, podem ajudar no incentivo de ações pontuais como a adoção de telhados verdes, arborização urbana, quintais residenciais e comerciais, proporcionando a todos um ambiente mais agradável e conseqüentemente melhor qualidade de vida, uma vez que a vegetação não influencia só na melhora da temperatura, mas também na diminuição de poluição e ruídos, balanço hídrico, geração de abrigo para animais como pássaros, criação de espaços recreativos.

Ademais, o estudo realizado possibilitou verificar que o município de Rio Paranaíba – MG é defasado em áreas verdes, visto que a maior parte da vegetação está concentrada no entorno da cidade onde a urbanização e quantidades de construções são menores, já nas áreas centrais parte da vegetação está comprometida pelas construções, ou são inexistentes. Observou-se que em áreas que possuem vegetação a temperatura é menor cerca de 0,71°C (foi de 28,32°C para 27,61°C), proporcionando à região melhor sensação térmica e mais conforto.

Com isso, o presente estudo evidenciou também, a necessidade de um melhor planejamento urbano, por parte dos gestores do município estudado, com intuito de proporcionar aos cidadãos maior conforto térmico. Vale ressaltar, que as técnicas utilizadas no presente estudo, podem ser replicadas e apresentar resultados satisfatórios também para municípios de outras regiões, ou ainda, outras áreas de estudo.

5. REFERÊNCIAS

BEINS, B. C. (2017). *Research method: A tool for life*. Cambridge University Press.

BRASIL, **População residente – estimativa para o TCU – Minas Gerais**. DATASUS Tecnologia da Informação a serviço do SUS, 2019. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?ibge/cnv/poptmg.def>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BRAZ, A. M.; KUNKEL, A. C.; BONI, P. V.; BRAZ, A. M.; MARTINS, A. P. Áreas verdes e temperatura da superfície na cidade de Três Lagoas/MS. **Revista Formação (ONLINE)**, v. 25, n. 45, maio-ago, 2018, p. 93-122. ISSN: 2178-7298. Disponível em: <http://twixar.me/4nQm>. Acesso em: 02 dez. 2022.

BRYNS, L. M. **Página dinâmica para aprendizado do sensoriamento remoto**. Orientador: Prof. Dr. Sergio Florencio de Souza. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre (RS), 2008. Disponível em: <http://twixar.me/vnQm>. Acesso em: 02 dez. 2022.

CAMACHO, Vitor Augusto Luizari; MOSCHINI, Luiz Eduardo. Planejamento ambiental urbano: a relação entre a cobertura vegetal e temperatura superficial na cidade de São Carlos, São Paulo, Brasil. **Environmental Science**, v. 10, n. 2, 2021.

CARDOSO, Estélio José; SANTOS, MJ dos; CARNIELLO, Monica Franchi. O processo de urbanização brasileiro. **Encontro latino americano de pós-graduação–universidade do Vale do Paraíba**, v. 11, 2011.

COELHO, F. N. **Aplicação de técnica de fusão em imagens Landsat 8 / TIRS para o mapeamento de temperatura de superfície em perímetros urbanos, no município de Várzea Grande, Mato Grosso**. Monografia UNIVAG - Centro Universitário, Várzea Grande – MT, 2016. Disponível em: <https://www.repositoriodigital.univag.com.br/index.php/bio/article/view/387/388>. Acesso em: 01 dez. 2022.

COSTA, A. D. L. **Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos: uma experiência no bairro de Petrópolis em Natal/RN**. 2003. 183 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2003. Disponível em: <https://docplayer.com.br/34955158-Analise-bioclimatica-e-investigacao-do-conforto-termico-em-ambientes-externos-uma-experiencia-no-bairro-de-petropolis-em-natal-rn.html>. Acesso em: 10, dez. 2022.

EMBRAPA. **Satélites de monitoramento: LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: 10 dez. 2022.

FEIO, Elnatan Ferreira; VELOSO, Gabriel Alves; HERRERA, Raírys Cravo. ÍNDICES ESPACIAIS DA ARBORIZAÇÃO NA CIDADE DE ALTAMIRA–PARÁ. **Revista GeoAmazônia**, v. 10, n. 20, p. 172-192, 2022.

FILGUEIRAS, R. et al. Predição da temperatura do ar por meio de sensoriamento remoto orbital. **Rev. Bras. Cartog.**, n.68, p.1485-1495, 2016.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 58-59, mai/jun, 1995. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/20595/S0034-75901995000300004.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso de em: 28, nov. 2022.

GUILHERME, Adriano Pereira et al. Relação entre o tipo de cobertura do solo e a temperatura da superfície. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 515-525, 2022.

HARTMANN, Ricardo Morel; FLORES, Diego Moraes. Estudo do impacto da arborização no conforto térmico de veículos, consumo de combustível gasolina e emissões de co2 em Foz do Iguaçu/study of the impact of tree coverage on thermal load of vehicles, gasoline consumption and co2 emissions in the city of Foz do Iguaçu. **International Journal of Environmental Resilience Research and Science**, v. 4, n. 1, p. 1-25.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas Urbanizadas**. 2022. Disponível em: <http://twixar.me/x3Qm>. Acesso em: 05 dez. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/rio-paranaiba.html/>. Acesso em: 05 dez. 2022.

IBGEeduca. 2022. Disponível em: <http://twixar.me/6rMm>. Acesso em: 10 dez. 2022.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de geração de imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em: 05 dez. 2022.

KOTHARI, C. R. Research methodology: Methods and techniques. New Age International. **NEW AGE INTERNATIONAL (P) LIMITED, PUBLISHERS**, 2 ed. Índia, 2004. Disponível em: <https://ccsuniversity.ac.in/bridge-library/pdf/Research-Methodology-CR-Kothari.pdf>. Acesso de em: 28, nov. 2022.

LIU, W, T, Y. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 2ed. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006. 102p.

MASHIKI, Mônica Yuri. **Geoprocessamento na identificação de ilhas de calor e influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP**. 2012. Dissertação (Mestrado). 67f. Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista, 2012.

MENDONÇA, F; LIMA, M, D, V. **A cidade e os problemas socioambientais urbanos [recurso eletrônico]: uma perspectiva interdisciplinar**. 1ed. Curitiba: Ed. UFPR, 2020. 925p.

MENESES, P. R. et. al. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/332292728>. Acesso em: 10 dez. 2022.

NICHOL, J. E. Padrões de temperatura de superfície de alta resolução relacionados à morfologia urbana em uma cidade tropical: um estudo baseado em satélite. **Jornal de Meteorologia Aplicada e Climatologia**, v. 35, p. 135 - 146, jan. 1996. DOI:

[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1996\)035%3C0135:HRSTPR%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1996)035%3C0135:HRSTPR%3E2.0.CO;2). Disponível em: <http://twixar.me/trMm>. Acesso em: 10 dez. 2022.

NOVAIS, G. T. **Caracterização climática da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e do entorno da Serra da Canastra (MG)**. Orientador: Prof. Dr. Washington Luiz Assunção. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: <http://twixar.me/63Qm>. Acesso em: 05 dez. 2022.

OLIVEIRA, A. S. et al. Variáveis meteorológicas e cobertura vegetal de espécies arbóreas em praças urbanas em Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, 2013. Disponível em: 533 <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/g8pJXTH7hHq6ZWBZpXgNpq/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13, dez. 2022.

PONZONI, F. J. SHIMABUKURO, Y. E. KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2ª ed. Revisada e ampliada. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. Disponível em: <https://doceru.com/doc/c8vxnc0>. Acesso em: 10 dez. 2022.

PREFEITURA DE RIO PARANAÍBA. **O município. Rio Paranaíba - MG**, 2021. Disponível em: <https://rioparanaiba.mg.gov.br/o-municipio/>. Acesso em: 05 dez. 2022.

PRODANOV, Cleber Cristiano. **Metodologia do trabalho científico** [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico / Cleber Cristiano Prodanov, Ernani Cesar de Freitas. – 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/Ebook%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso de em: 28, nov. 2022.

RIBEIRO, F. A. B. S. Arborização urbana em Uberlândia: percepção da população. **Revista da Católica**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 224-237, 2009.

RSI (Research Systems, Inc). ENVI User's Guide. ENVI Version 4.0 September, 2003.

SOARES, R. B.; SOARES, C. B. S. S.; COSTA, J. A. L.; COSTA, R. B. Aplicação de técnica de fusão em imagens Landsat 8/ OLI. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0944.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2022.

SOUZA, J. F.; SILVA, R. M.; SILVA, A. M. (2016). Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa –PB. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 21-37.

USGS - **Science for a changing world**. 2022 Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 05 dez. 2022.

VERAS, Daniel Silva. **Análise temporal multifonte e multiespectral da cobertura vegetal do estuário do Rio Sirinhaém–PE**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI