

*Influência da Infraestrutura de Transportes sobre a
Temperatura de Superfície em um corredor BRT, na cidade de
Goiânia/GO*

*Influence of Transport Infrastructure on Surface
Temperature in a BRT corridor, in the city of Goiânia/GO*

*Influencia de la Infraestructura de Transporte en la
Temperatura Superficial en un corredor BRT, en la ciudad
de Goiânia/GO*

Gabriela Tobias Portis
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás
gabriela.portis@gmail.com

Alex Mota dos Santos
Universidade Federal do Sul da Bahia
alexmota@ufg.br

Fabrizia Gioppo Nunes
Universidade Federal de Goiás
fabrizia@ufg.br

Resumo

A artificialização em áreas urbanas contribuem para concentração de problemas ambientais diversos, dentre os quais, a alteração do microclima urbano, incluindo a temperatura da superfície terrestre. Assim, a presente pesquisa tem como objetivo analisar os impactos da construção de um Sistema Bus Rapid Transit (BRT), localizado na cidade de Goiânia, sobre a temperatura da superfície terrestre, antes e após a sua implantação. A metodologia contemplou a análise de imagens de sensoriamento remoto orbital do satélite Landsat 8, sensores OLI e TIRS, manipuladas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para tanto, foram necessários o cálculo da temperatura de brilho; correção da emissividade e; a temperatura da superfície terrestre. Os resultados revelam como a alteração da paisagem urbana, influenciada pelo corredor de transportes, é uma das principais causas das mudanças de temperatura da superfície terrestre (TST), mostrando a intensificação de altas temperaturas em áreas onde houve o aumento de superfícies pavimentadas e comerciais, e redução da temperatura onde empregou-se manejos de arborização.

Palavras-chave: Uso da Terra. Impacto ambiental. Transportes. Microclima.

Abstract

The artificialization in urban areas has contributed to the concentration of several environmental problems, among which is the change in urban microclimate, including surface temperature. Thus, this research aims to analyze the impacts of the construction of a Bus Rapid Transit System (BRT), which is located in the city of Goiânia, on surface temperature, before and after its implementation. The methodology involved the analysis of orbital remote sensing images from the Landsat 8 satellite, OLI, and TIRS sensors, manipulated in a Geographic Information System (GIS). For that purpose, it was necessary to calculate the brightness temperature; emissivity correction, and; surface temperature calculation. The results have revealed the alteration of the urban landscape influenced by the transportation corridor, the main ones being in the land surface temperature (SST), with the intensification of high temperatures in areas where there was an increase of paved and commercial surfaces and reduction of the temperature where arborization managements were employed.

Keywords: Use of land. Environmental impact. Transport. Microclimate.

Resumen

La artificialización en las áreas urbanas contribuye a la concentración de varios problemas ambientales, entre los cuales, la alteración del microclima urbano, incluyendo la temperatura de la superficie terrestre. Así, la presente investigación tiene como objetivo analizar los impactos de la construcción de un Sistema de Autobuses de Tránsito Rápido (BRT), ubicado en la ciudad de Goiânia, sobre la temperatura de la superficie terrestre, antes y después de su implementación. La metodología incluyó el análisis de imágenes orbitales de teledetección del satélite Landsat 8, sensores OLI y TIRS, manipuladas en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Para eso, fue necesario calcular la temperatura de brillo, la corrección de emisividad y la temperatura de la superficie terrestre. Los resultados revelan cómo la alteración del paisaje urbano, influida por el corredor de transporte, es una de las principales causas de los cambios en la temperatura de la superficie terrestre (TST), mostrando la intensificación de las altas temperaturas en las zonas donde se ha producido un aumento de las superficies pavimentadas y comerciales, y reducción de temperatura donde se utilizaron manejos de arborización.

Palabras clave: Uso del Suelo. Impacto ambiental. Transporte. Microclima.

Introdução

A paisagem urbana é alterada de formas variadas, dentre as quais para implantação das infraestruturas de transportes, para a melhoria da vida urbana. No trânsito, as estruturas do passeio público, de calçadas, de canteiros centrais, acostamentos e pistas de rolamento, facilitam a caminhada do pedestre e a mobilidade dos veículos. Entretanto, neste processo, é possível identificar um alto grau de artificialização, e por isso, os espaços urbanos concentram problemas ambientais diversos. Dentre estes, destacamos as mudanças ocasionadas no microclima urbano, provocadas pelos impactos das alterações na temperatura de superfície.

Segundo Kamran *et al.* (2015), a temperatura da superfície terrestre (TST) é um parâmetro chave na física da superfície da Terra, controlando o processo de troca de

energia e água com a atmosfera. Assim, para os referidos autores, este processo desempenha um papel importante em uma ampla variedade de estudos científicos, como Ecologia, Hidrologia e Estudos de Mudanças Climáticas. Sua análise pode ser realizada de diferentes formas, ou seja, por uso de instrumentos de mensuração em campo, e/ou de modo indireto, por intermédio de uso de imagens de sensoriamento remoto (COELHO e CORREA, 2013; KAMRAN *et al.*, 2015; SALIH *et al.*, 2018).

Diversos são os estudos que tem adotado as imagens de sensoriamento remoto para análise de temperaturas de superfícies em áreas urbanas (CARRILLO-NIQUETE, 2017; KAPLAN *et al.*, 2018; CAMACHO e MOSCHINI, 2021). Segundo Kamran *et al.* (2015) o sensoriamento remoto no infravermelho térmico (TIR) fornece um método único para a obtenção de informações da TST, uma vez que a maior parte da energia detectada pelo sensor nesta região espectral é emitida diretamente pela superfície terrestre. Aliás, o calor interno dos objetos é convertido em fluxo radiante, que pode ser registrado por sensores, que capturam imagens, na faixa do infravermelho termal (JENSEN, 2009).

Em Goiânia, podemos citar o trabalho realizado por Sousa e Ferreira Júnior (2012a). Os autores utilizam imagens do Landsat 5 e 7 (TM e ETM+), para analisar o padrão de distribuição espacial da temperatura de superfície terrestre (TST), no município. Porém, no Brasil, ainda são poucos os trabalhos que tem como enfoque a anomalia térmica, derivada da implementação de eixos de fluxos de transportes urbanos.

Assim, neste estudo, concentraremos nossas análises sobre a influência de um sistema *Bus Rapid Transit* (BRT) no microclima da cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás. Ademais, o presente artigo possui um ineditismo para a capital, e se propõe a avançar nas discussões já postas para outras regiões do mundo. Nesse sentido, é relevante mencionar, que de acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2016), “o clima é controlado por diversos fatores, chamados agentes climáticos, que podem ser naturais ou originados de atividades humanas” (PBMC, 2016, p. 17). Na cidade de Goiânia, a implantação do corredor BRT, tem revelado alterações significativas na paisagem (PORTIS *et al.*, 2020), o que motivou a realização dessa pesquisa.

Para Berling-Wolff e Wu (2004), as áreas urbanas exibem a heterogeneidade espacial mais visível de todas as paisagens, e a forma espacial que uma cidade assume afeta os processos físicos, ecológicos e sociológicos. Assim, tais alterações influenciam também os padrões de temperatura na cidade, configurando como agentes na formação de Ilhas de Calor Urbanas (ICU). Neste sentido, Barros e Lombardo (2016) afirmam que a natureza complexa das ICU se relaciona com outros fatores climáticos como a poluição atmosférica, fortes precipitações, alterações nas amplitudes térmicas, dinâmica de uso e cobertura do solo, habitação e saúde pública.

Desta maneira, é importante destacar, que a vegetação na cidade cumpre várias funções ecológicas, modificando as condições climáticas locais, e mitigando os efeitos das Ilhas de Calor Urbanas (WENG *et al.*, 2004). Mas, sua escassez, pode afetar a ecologia dos espaços urbanos, de outras formas, como o aumento da temperatura de superfície e a

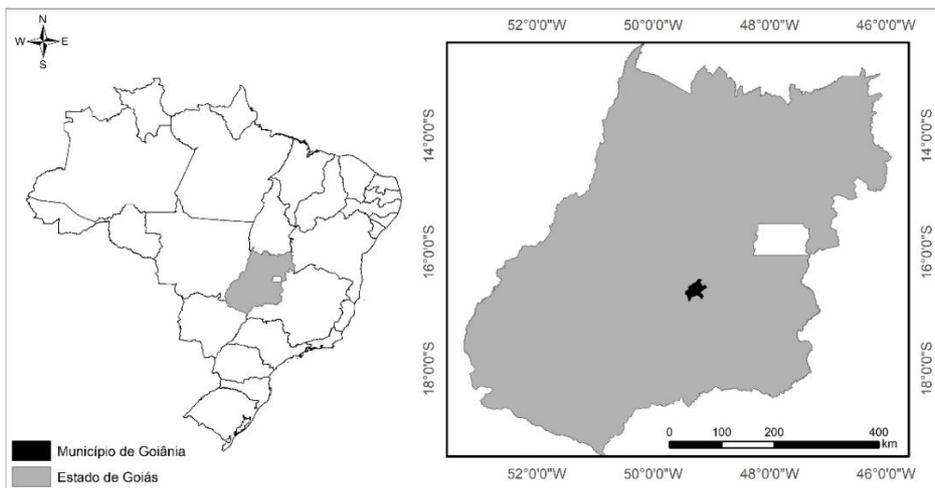
difusão de poluentes antropogênicos a partir do aumento das distâncias percorridas, por veículos motorizados (BERLING-WOLFF & WU, 2004).

Asgarian *et al.* (2015) investigam a relação entre a temperatura da superfície urbana e o padrão espacial de cobertura verde. Os autores afirmam que as manipulações da superfície terrestre, provocadas pela construção de edifícios e superfícies impermeáveis, como asfalto, calçadas e solo exposto, influenciam a temperatura urbana, contribuindo para a formação de Ilhas de Calor. Como efeito, as mudanças na paisagem promovem alterações na temperatura, uma vez que há a redução das áreas cobertas por vegetação e o aumento de superfícies impermeabilizadas e construídas, que culminam no aumento da temperatura de superfície (ALCOFORADO, 1999; WENG, 2001; VOOGT e OKE, 2003; WENG *et al.*, 2004; YUAN e BAUER, 2007; ALCOFORADO, 2009; WENG, 2009; SRIVANIT e HOKAO, 2012).

A partir de tais constatações, essa pesquisa tem como objetivo analisar os impactos da construção de um Sistema *Bus Rapid Transit* (BRT), localizado na cidade de Goiânia, sobre a temperatura de superfície, em áreas de influência do referido corredor de transporte. Para tanto, foi empregado o método indireto de mensuração de temperaturas de superfície, derivada de imagens orbitais do Landsat 8. Em seguida, foram geradas representações cartográficas, em um Sistema de Informação Geográfica, que facilitaram a interpretação visual dos resultados.

Área de Estudo

A área de estudo encontra-se na cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás, localizada na porção central do Brasil (Figura 1).



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

O município de Goiânia, já era, segundo o último censo demográfico do IBGE, o mais populoso do estado de Goiás. Sua população era de 1.302.001 habitantes em 2010, e junto a outros 19 municípios compõe a Região Metropolitana de Goiânia.

Para atender a necessidade do crescimento populacional e da consecutiva mobilidade urbana, no ano de 2015, a Prefeitura Municipal iniciou a implantação de um corredor BRT (Figura 2) que irá conectar a porção norte à porção sul da cidade, e esta, à cidade vizinha, Aparecida de Goiânia que hoje é conturbada a Goiânia. Neste estudo, o eixo do BRT foi dividido em três trechos, e estudado dois em estágio mais avançado de construção. Essa opção metodológica ocorreu para facilitar a análise e reduzir o esforço computacional para processamento dos dados. O primeiro trecho tem início no Terminal Recanto do Bosque até o Terminal Rodoviária, e possui extensão de 11 km. O segundo trecho segue até o Terminal Cruzeiro do Sul, e possui 8 km de extensão. Um terceiro trecho, não considerado em nossas análises, seria o trecho que ligará a cidade de Goiânia ao Terminal Veiga Jardim, em Aparecida de Goiânia, com extensão de 8 km.

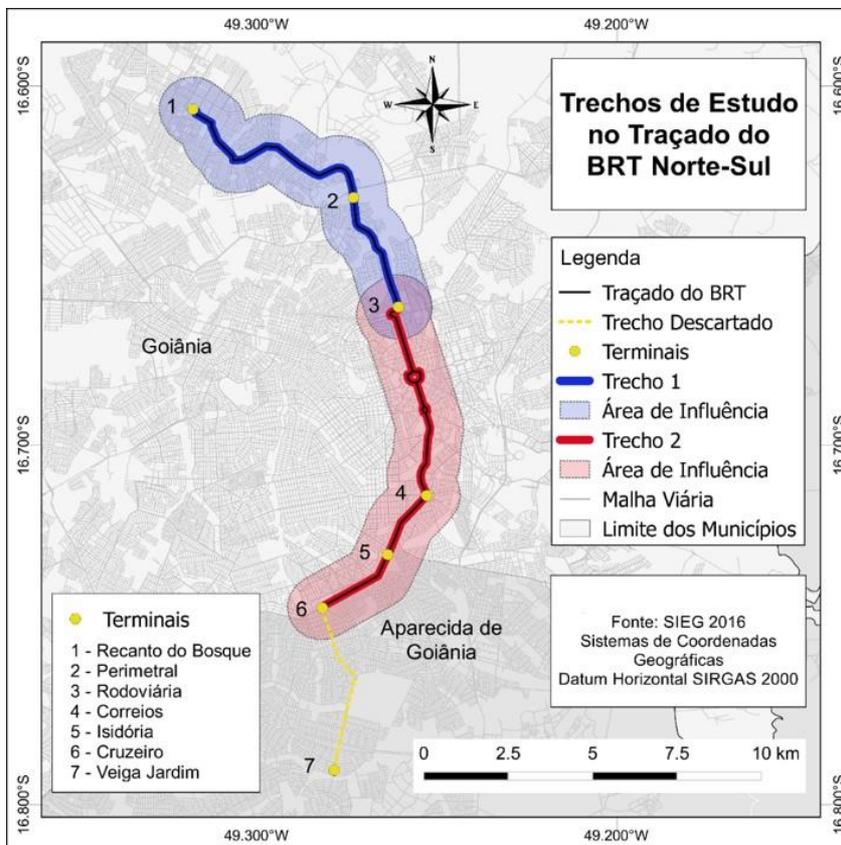


Figura 2: Localização geográfica do BRT no município de Goiânia.

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Assim, o sistema contará, ao todo, com sete terminais de integração, sendo 4 pré-existentes: Veiga Jardim, Cruzeiro, Isidória e Recanto do Bosque, que serão reformados. Além destes, estão sendo implantados mais três terminais, os Terminais Perimetral Norte, Rodoviária e Correios (CMTC, 2012). Além dos terminais, serão implantadas 39 estações de embarque, dessas 32 serão localizadas em Goiânia e 7 em Aparecida de Goiânia (CMTC, 2012).

O projeto foi elaborado em 2012, tendo previsão de 20 meses para sua conclusão. O início das obras se deu no ano de 2015, no entanto, em decorrência de paralisações, o corredor encontra-se ainda em fase de implantação. A primeira paralisação aconteceu logo no início das obras em 2015, por conta de uma ação civil pública do Ministério Público do Estado de Goiás. A ação, postulava a anulação da licença ambiental de instalação e a proibição da retirada de árvores e destruição de canteiros centrais até que fossem apresentados os projetos técnicos, tais como estudo de impacto de vizinhança, estudo de impacto de trânsito e plano de manejo de arborização (MPGO, 2015).

O promotor de Justiça do MPGO, na ocasião, alegou o fato da obra ter sido iniciada sem a finalização dos projetos técnicos, o que provocou reclamação da população e preocupação dos órgãos ambientais competentes, em razão, da retirada de aproximadamente 150 árvores. Ademais, a obra sofreu outras paralisações em decorrência de divergências entre a Prefeitura, a Caixa Econômica Federal e órgãos de controle, com a suspensão do repasse de verbas por parte da Caixa Econômica Federal ao consórcio BRT. Tal suspensão, foi justificada por erros de orçamento em alguns itens, sendo, somente, retomadas em março de 2019 (GOIÂNIA, 2020).

De acordo com o CMTC (2012) o projeto inicial do corredor de transporte previa 22 km de sua extensão em Goiânia e 5 km em Aparecida de Goiânia, portanto, um total de 27 km. Porém, em função de ajustes orçamentais, o projeto original foi reduzido, passando a ter ao todo uma extensão de 21,7 km, do terminal Recanto do Bosque, na região Norte da capital até o terminal Cruzeiro, em Aparecida de Goiânia. É composto por duas trincheiras, seis terminais de integração aos ônibus convencionais e 30 estações de embarque e desembarque (GOIÂNIA, 2020).

Segundo CMTC (2012), seu sistema visa atender 148 bairros dos dois municípios que interliga, com 93 ônibus, dos quais 28 veículos articulados e 65 convencionais, em quatro linhas. De acordo com o projeto da obra, “para melhor eficiência do sistema, a rede tronco-alimentada hoje existente será alterada nos terminais do corredor BRT” (CMTC, 2012, p. 23). Ainda de acordo com o projeto CMTC (2012), o corredor passará por um tratamento cênico-paisagístico da melhoria urbanísticas de entorno. Com o sistema, os ônibus passariam de uma velocidade média de 14 km/h para 28 km/h. O sistema BRT “contará com duas faixas de circulação exclusivas para os ônibus no eixo da via e com duas faixas adicionais nas estações para a ultrapassagem dos ônibus das linhas expressas. As faixas de ônibus serão separadas das faixas de tráfego geral por canteiros laterais” (CMTC, 2012, p. 7).

Procedimentos Metodológicos

A análise da temperatura foi realizada através do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto no *software open-source* QGIS®, versão 2.18, seguindo quatro etapas: **Etapa 1**, delimitação da área de influência do BRT e aquisição de imagens; **Etapa 2**, cálculo da Temperatura de Brilho do sensor; **Etapa 3**, correção da Emissividade e; **Etapa 4**, cálculo da Temperatura de Superfície.

Na Etapa 1, a área de influência foi determinada levando em consideração a caminhabilidade da população até o corredor (BRT). Esse parâmetro é definido pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), o *People Near Rapid Transit* (PNT), que o considera fundamental para a mobilidade sustentável. Assim, neste parâmetro, estima-se a acessibilidade e a cobertura de trânsito rápido nas grandes cidades, e define uma distância de **1 km** como média que uma pessoa se desloca a pé, para acessar um corredor de trânsito rápido de alta qualidade (ITDP, 2016-b).

Para a extração de informações utilizadas na representação das situações anterior (ano de 2013) e atual de implantação do Corredor BRT Norte-Sul (ano de 2020), adquiriu-se imagens do satélite Landsat 8, de 2013 e 2020. Essas, foram obtidas através do *site* do *United States Geological Survey* (USGS), bandas 4, 5 e 10, do sensor *Operational Land Imager* (OLI).

As bandas 4 e 5 foram manipuladas para a obtenção dos parâmetros de Emissividade, a partir do NDVI, para o cálculo da Temperatura de Superfície Terrestre (TST). Para obtenção da Temperatura de Brilho da superfície foi utilizada a Banda 10, correspondente à faixa do Infravermelho Termal, com resolução espacial de 100 metros, sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). Desta forma, todos os metadados adotados, no algoritmo de redimensionamento das imagens, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Constantes necessárias para o redimensionamento de imagens do satélite Landsat 8.

ANO	RADIANCE_MULT_BAND = M_L	VALOR
2013	RADIANCE_MULT_BAND_4	0.0098346
	RADIANCE_MULT_BAND_5	0.0060183
	RADIANCE_MULT_BAND_10	0.00033420
2020	RADIANCE_MULT_BAND_4	0.0097189
	RADIANCE_MULT_BAND_5	0.0059475
	RADIANCE_MULT_BAND_10	0.00033420
ANO	RADIANCE_ADD_BAND = A_L	VALOR
2013	RADIANCE_ADD_BAND_4	-49.17284
	RADIANCE_ADD_BAND_5	-30.09132
	RADIANCE_ADD_BAND_10	0.10000
2020	RADIANCE_ADD_BAND_4	-48.59436
	RADIANCE_ADD_BAND_5	-29.73732
	RADIANCE_ADD_BAND_10	0.10000

ANO	REFLECTANCE_MULT_BAND = $M\rho$	VALOR
2013/	REFLECTANCE_MULT_BAND_4	0.00002
2020	REFLECTANCE_MULT_BAND_5	0.00002
ANO	REFLECTANCE_ADD_BAND = $A\rho$	VALOR
2013/	REFLECTANCE_ADD_BAND_4	-0.1
2020	REFLECTANCE_ADD_BAND_5	-0.1
ANO	ATRIBUTOS DA IMAGEM	VALOR
2013	SUN_ELEVATION	54.26979878
	K1_CONSTANT_BAND_10	774.89
	K2_CONSTANT_BAND_10	1321.08
2020	SUN_ELEVATION	46.11510866
	K1_CONSTANT_BAND_10	774.89
	K2_CONSTANT_BAND_10	1321.08

Fonte: Organizado pelos autores.

Para determinar a TST (Temperatura de Superfície Terrestre), inicialmente converteu-se o *Digital Number* (DN) para a Radiância ToA (Top of Atmospheric) e, a partir desse dado, foi determinada a Temperatura de Brilho.

Assim, aplicou-se os parâmetros fixos de conversão do DN da imagem Landsat 8, sensor OLI, Bandas 4 e 5, para Radiância ToA e Reflectância no Topo da Atmosfera. Como já mencionado, calculou-se, também, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) para determinar a Proporção de Vegetação (PV), e estimar a Emissividade. Para finalizar, aplicou-se, na imagem de Temperatura de Brilho, os valores de emissividade encontrados, resultando na Temperatura de Superfície Terrestre corrigida por emissividade.

À Banda 10, empregou-se os parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, de acordo com a Equação 1 disponibilizada pelo USGS.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Os parâmetros forma extraídos dos metadados da imagem (Tabela 1), para o ajuste na fórmula de conversão para radiância, sendo:

L_{λ} = Radiância Espectral no topa da atmosfera ($W/m^2 \text{ srad } \mu m$); M_L = Fator de redimensionamento multiplicativo da radiância para a banda específica (RADIANCE_MULT_BAND_x), onde x é o número da banda; A_L = Fator de redimensionamento aditivo da radiância para a banda específica (RADIANCE_ADD_BAND_x), onde x é o número da banda e; Q_{cal} = Valor quantizado calibrado pelo *pixel* em DN (Imagem banda x), onde x é o número da banda.

Para se obter a imagem de Temperatura de brilho do sensor em graus Celsius (°C) foi empregada a Equação 2 na Banda 10, obtendo-se a imagem de Radiância no Topo da Atmosfera.

$$TB = \frac{K_2}{\ln \frac{K_1}{L_\lambda + 1}} \quad (2)$$

Os elementos da constante de calibração também foram extraídos dos metadados da imagem (Tabela 1) Banda 10: TB = Temperatura de Brilho no sensor (K); K2 = Constante Termal da banda específica (K2_CONSTANT_BAND_x), onde x é o número da banda; K1 = Constante Termal da banda específica (K1_CONSTANT_BAND_x), onde x é o número da banda e; L_λ = Radiância Espectral no topa da atmosfera ($W/m^2 \text{ srad } \mu m$). Após este procedimento, subtraiu-se dos valores obtidos em temperatura *Kelvin*, o seu valor absoluto (273,15), gerando o *raster* de Temperatura de Superfície em graus Celsius (°C).

Às Bandas 4 e 5, aplicou-se a Equação 3 para calcular a Reflectância no Topo da Atmosfera. Assim, a conversão do DN das imagens Landsat 8 para radiância espectral no Topo da Atmosfera, normalmente utilizada para obtenção da reflectância, foi realizada de forma direta a partir da equação que se segue:

$$\rho_\lambda = \frac{M_\rho Q_{cal} + A\rho}{\sin(\theta_{SE})} \quad (3)$$

Em que: ρ_λ = Reflectância no Topo da Atmosfera; M_ρ = fator multiplicativo reescalonado da reflectância para a banda específica (REFLECTANCE_MULT_BAND_x), onde x é o número da banda; Q_{cal} = Número Digital (ND) do *pixel*; $A\rho$ = fator aditivo reescalonado da reflectância para a banda específica (REFLECTANCE_ADD_BAND_x), onde x é o número da banda e; θ_{SE} = ângulo de elevação solar local (SUN_ELEVATION).

Das Bandas 4 e 5, com a reflectância planetária corrigida, calculou-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), que representa a razão simples entre as bandas do Infravermelho Próximo (NIR) e Vermelho (R) (JENSEN, 2009). Tal aritmética de bandas produz um Índice de Vegetação (IV), que separa a vegetação verde, do brilho do solo de fundo, variando entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior o vigor vegetativo e, o 0 (zero), representa valor aproximado para ausência de vegetação (SANTOS et al., 2010). Dessa maneira, o NDVI auxilia na determinação da condição geral da vegetação, sendo esse um fator crucial para a determinação da TST. O cálculo do NDVI foi executado conforme a Equação 4:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (4)$$

Em que: NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; NIR = Banda do Infravermelho Próximo (Banda 5) e; R = Banda do Vermelho (Banda 4).

Em sequência, a Proporção de Vegetação foi estimada a partir do NDVI, sendo um parâmetro necessário para a determinação da Emissividade. Assim, a PV foi calculada conforme a Equação 5:

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (5)$$

Em que: NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; $NDVI_{min}$ = Valor mínimo do NDVI da imagem e; $NDVI_{max}$ = Valor máximo do NDVI da imagem.

Consequentemente, neste procedimento, a Proporção de Vegetação obtida a partir do NDVI, foi importante para a determinação da Emissividade de Superfície (WANG et al., 2015). A Emissividade de Superfície foi calculada conforme a Equação 6:

$$\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon_{v\lambda} P_V + \varepsilon_{s\lambda} (1 - P_V) + C_{\lambda} \quad (6)$$

Em que: ε = emissividade; ε_s e ε_v : correspondem, respectivamente, a emissividade do solo (0,966) e da vegetação (0,973); C = geometria da superfície (dada pela rugosidade da superfície e, $C = 0$ (para superfícies homogêneas e planas). Neste trabalho, foi considerado $C = 0$.

A última etapa para determinação da TST corrigida por emissividade foi calculada em posse dos dados de emissividade (ε) e Temperatura de Brilho (TB), conforme a Equação (7):

$$TST = \frac{TB}{\{1 + [(\lambda TB)/\rho] \ln(\varepsilon)\}} \quad (7)$$

Em que: TST = Temperatura da Superfície Terrestre (° C); TB = Temperatura de Brilho no Sensor (° C); λ = comprimento de onda central da Banda 10; ρ = constante equivalente ao valor $1,438 \cdot 10^{-2} \text{Mk}$ e; ε = emissividade. Por fim, elaborou-se os mapas temáticos que auxiliaram na análise espaço-temporal para comparação no período considerado.

Resultados

A metodologia foi aplicada inicialmente ao Trecho 1. Os resultados podem ser observados na Figura 3 (A e B), que mostram as classes definidas para a temperatura de superfície, antes da implantação do corredor BRT, e a situação mais recente. As classes foram divididas em intervalos de 1 grau Celsius, sendo que a última classe ficou com as temperaturas acima de 32,1 °C. No ano de 2013 (Figura 3-A) a temperatura mínima registrada pelo satélite foi de 24,55 °C, e a máxima de 32,21 °C, contando com uma

amplitude térmica de 7,66 °C, e temperatura média de 28,38 °C em relação aos valores de *pixel*.

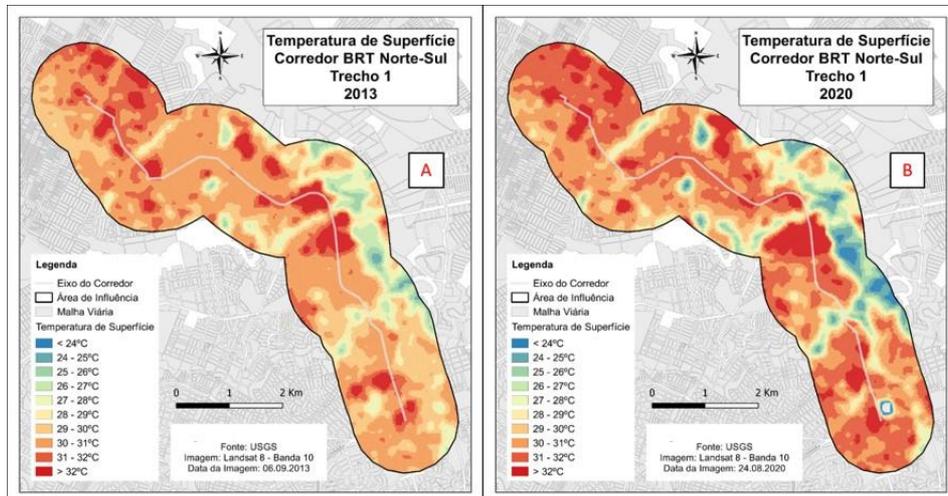


Figura 3: Temperaturas de superfície no Trecho 1. Ano de 2013 (A) e ano de 2020 (B).

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

As condições de tempo registradas pela estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Goiânia, nesse mesmo dia, foram de temperatura mínima 18,8 °C e máxima de 32,4 °C. Já no ano de 2020 (Figura 3-B) a temperatura mínima registrada pelo satélite foi de 22,12 °C, e a máxima de 33,19 °C, contando com uma amplitude térmica de 11,07 °C, e temperatura média de 27,65 °C em relação aos valores de *pixel*. Já o registro de temperatura do ar do INMET, nesse mesmo dia, foi de temperatura mínima de 16,7°C e máxima de 33,4°C. No mapa da Figura 3 (A) observa-se ainda que o intervalo de temperatura de superfície que predominou em toda a área, em de 2013, foi de temperatura alta, entre 30,1°C e 31°C. Não foram registradas temperaturas abaixo de 24 °C e os intervalos de temperatura baixa, entre 24,1 °C e 27 °C tiveram uma representação pequena, assim como os intervalos de temperatura moderada, entre 27,1 °C e 30 °C. Os intervalos de temperatura altas, correspondentes às temperaturas acima de 31,1 °C também tiveram uma menor representação.

No mapa da Figura 3 (B), pode-se avaliar o aumento da classe entre 31,1 °C e 32 °C, em relação a 2013, e consequente redução da classe entre 30,1 °C e 31°C. Parte da área onde houve o aumento na TST coincide, exatamente, com o percurso do corredor BRT em que houve a remoção de vegetação gramínea para a pavimentação das pistas. No entanto, observa-se o aumento de intervalos de temperatura baixa, entre 24,1°C e 27°C, que coincidem com áreas que passaram por manejos paisagísticos de revitalização da vegetação arbórea apresentando também temperaturas abaixo de 24 °C, intervalo que não possuía representação no mapa de 2013. Essas alterações podem ser constatadas na Figura 4, que ilustra as diferenças de temperaturas de 2013 em relação a 2020.

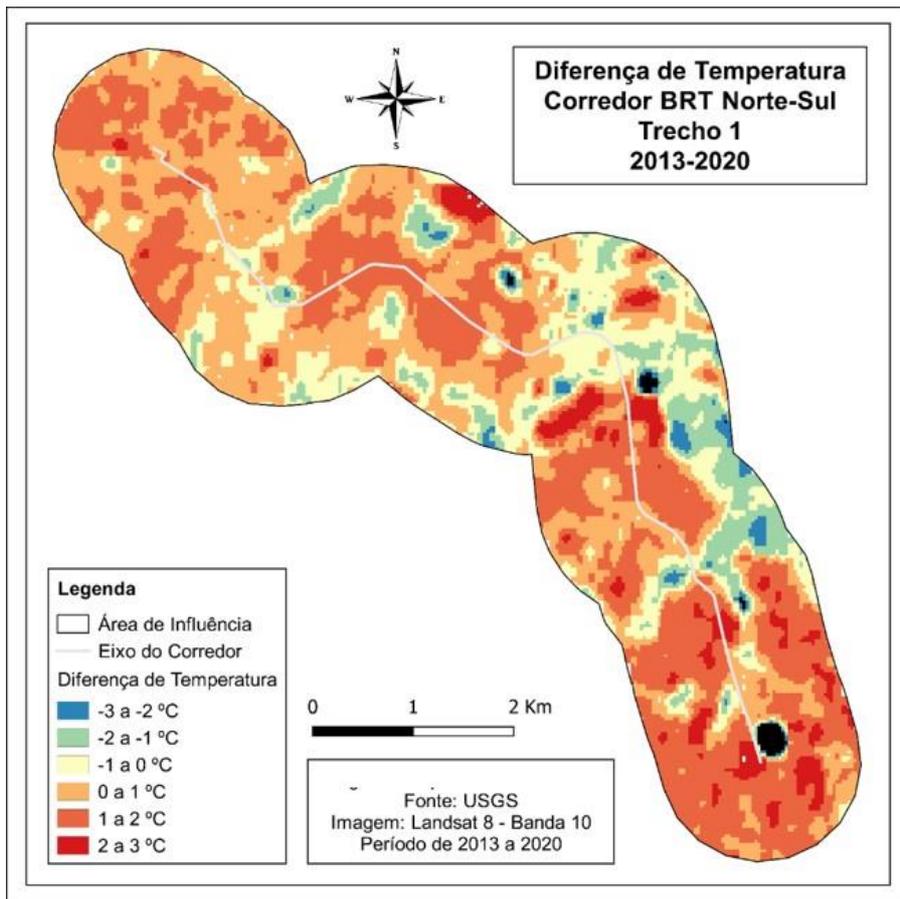


Figura 4: Diferença de temperaturas de 2013 em comparação a 2020 – Trecho 1.
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Desta forma é evidente que em áreas onde acolheu-se a política e o manejo da arborização urbana, houve a redução da temperatura média em até 3°C, amenizando os efeitos das ilhas de calor, geradas pelo corredor BRT. Por outro lado, percebe-se um aumento de 1°C a 2°C em áreas que coincidem com trechos totalmente pavimentados e; de 2 °C a 3°C em áreas onde foram implantadas superfícies metálicas, como na área da construção do Terminal Rodoviário (Figura 4).

A Figura 5 exemplifica alguns pontos do BRT em que a temperatura da média diária, registrada em 2020, é elevada, e outros em que é mais amena. Áreas que apresentam grandes superfícies comerciais, como o Passeio das Águas Shopping e o hipermercado (Atacadão) possuem temperaturas de superfície mais elevadas. Isso se deve ao tipo de material que é comumente utilizado na cobertura dessas edificações, coberturas metálicas,

que em geral irradia maior calor. Resultados semelhantes foram relatados por Coelho e Correa (2013) e Coelho *et al.* (2015), que mapearam ocorrências de temperaturas de superfície mais elevadas, superiores a 28°C, em de áreas industriais, com presença de galpões.

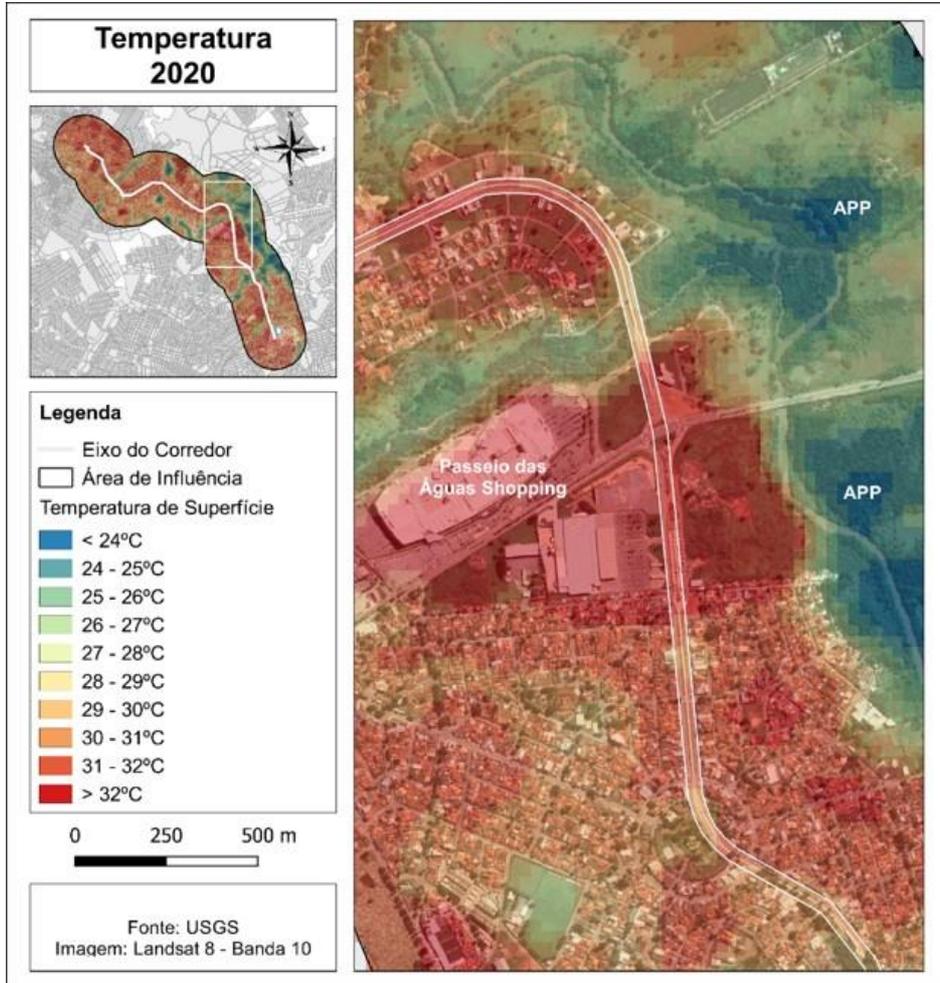


Figura 5: Temperaturas de superfície sobreposta à imagem *Google Earth*®, ano de 2020.
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Nesse sentido, as estações e terminais previstos no projeto do BRT Norte-Sul, e que possuirão estrutura e cobertura metálicas (CMTC, 2012), são potenciais intensificadoras dos padrões de altas temperaturas, e por tanto, das ilhas de calor. Isso ocorre, segundo Coelho *et al.* (2015), devido à ausência quase que total de áreas verdes e

predomínio de materiais como concreto e asfalto. Já as áreas cobertas por vegetação e próximas a cursos de água, como as APPs e o entorno do Rio Meia Ponte (Figura 5), apresentam temperaturas amenas, variando de 22 °C a 27°C. De acordo ainda com Coelho *et al.* (2015), as áreas verdes promovem o efeito brisa, que atenua as altas temperaturas. Soma-se a redução da temperatura o efeito do sombreamento promovido pela vegetação (SHINZATO e DUARTE, 2018). Além disso, onde houve a remoção de árvores e a pavimentação, a temperatura de superfície, registra *pixels* com valores elevados, entre 30 °C e 33°C.

Para o Trecho 2, os resultados da análise da temperatura de superfície, podem ser avaliados na Figura 6 (A e B). Assim, é patente que neste Trecho, que em 2013, a faixa da temperatura predominante era de 28 °C e 30 °C, apresentando poucos pontos com temperatura acima dos 31°C (Figura 6-A). Tais pontos, concentram-se na Região da AV. 44, na porção sul do Trecho e na área onde se localiza a central dos correios, ou seja, próximo ao local onde será construído o Terminal Correios. A construção do novo terminal indica o estabelecimento de ilhas de calor, nesse ponto da cidade, quando a estrutura do terminal for concluída.

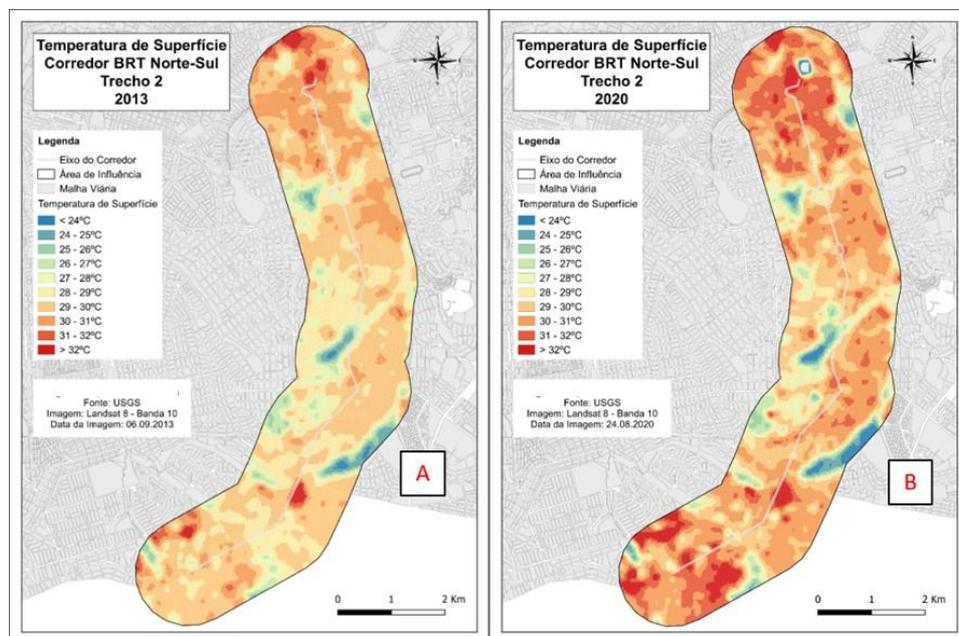


Figura 6: Temperaturas de superfície no Trecho 2. Ano de 2013 (A) e ano de 2020 (B).
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Em geral, as temperaturas baixas se concentram nas áreas de *pixels* que representam parques e bosques, que são bem arborizados, no trecho analisado. Temperaturas amenas também foram registradas em alguns *pixels* que apresentam uma grande concentração de edifícios verticalizados, o que coaduna com os resultados obtidos

por Sousa e Ferreira Júnior (2012b). Os referidos autores, verificaram que áreas urbanas verticalizadas, podem apresentar temperaturas mais amenas. Nessas áreas, Sousa e Ferreira Júnior (2012b) revelam a configuração de grandes “*canyons*” urbanos, com maior quantidade de sombras. Além dessas áreas, as feições com cobertura vegetal e temperaturas amenas são detectadas também em áreas de parques lineares com matas de galeria (SOUSA e FERREIRA JÚNIOR, 2012a).

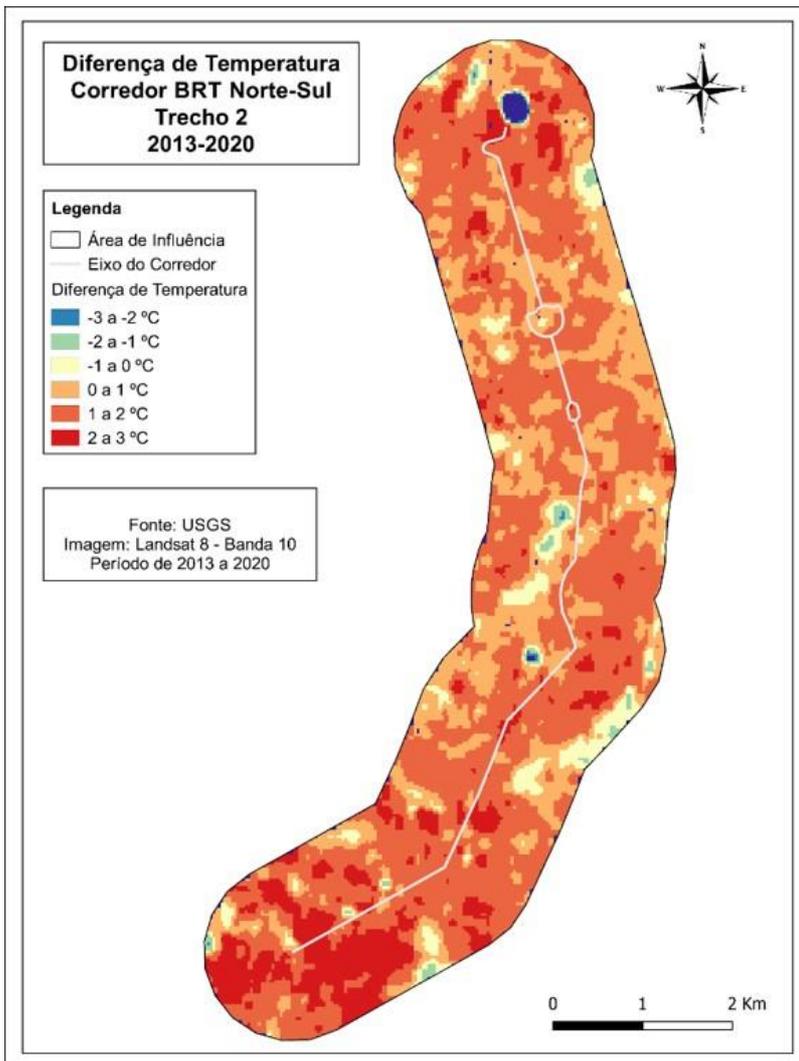


Figura 7: Diferença de Temperatura – Trecho 2.
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

No ano de 2020 (Figura 6-B) observa-se o aumento da área coberta por temperaturas acima dos 31 °C, principalmente nos extremos norte e sul do Trecho 2, onde houve a conversão de áreas não construídas, em superfícies pavimentadas e edifícios comerciais. Coelho *et al.* (2015, p. 1329) revelaram que a configuração de Ilhas de Calor Urbanas (ICU) é potencializada pela reduzida cobertura vegetal, somados aos pavimentos, telhados e outras superfícies típicas da paisagem urbana.

O mapa de diferença da TST do Trecho 2 (Figura 7) evidencia as áreas onde a temperatura aumentou de 2013 para 2020. Esses resultados estão de acordo com a pesquisa de Nascimento e Oliveira (2011), que revelaram a tendência de aumento de temperatura em áreas centrais edificadas, na cidade de Goiânia.

Contudo, no Trecho 2, a diferença de temperatura derivada da implantação do BRT, não sofreu fortes alterações, principalmente, porque, a obra que já havia sido iniciada na data de coleta da imagem em 2013, aproveitou a estrutura de um corredor de transporte coletivo já existente, reduzindo assim as alterações na cobertura do solo e consequentemente na TST. Já nos extremos norte e sul do Trecho, onde foram identificadas novas áreas de centralidades em processo de consolidação, ocorreram alterações significativas na temperatura, observando-se aumento de até 3°C (Figura 7).

A Figura 8 apresenta os perfis de oscilação da TST, em 2020, traçados para os dois trechos em estudo. Esses perfis mostram o comportamento da temperatura nas diferentes superfícies, evidenciando a contribuição da vegetação para as baixas temperaturas e dos revestimentos de construções urbanas, para as altas temperaturas. Nesse sentido, Barros e Lombardo (2016) afirmam que as Ilhas de Frescor Urbanas apresentam relação espacial com áreas urbanas vegetadas, e revelam que uma maior concentração de vegetação diminui a intensidade das Ilhas de Calor Urbanas.

Ademais, em áreas urbanas, o ideal para proporcionar um balanço térmico adequado, seria um índice de 30% de cobertura vegetal, sendo que índices inferiores a 5% são semelhantes a áreas de desertos (LOMBARDO, 1985). No caso deste trabalho, os dois perfis apresentados na Figura 8, vêm a confirmar que as áreas pouco arborizadas possuem as maiores temperaturas de superfície. Fato, que faz necessária a expansão de medidas que visem a intensificação da arborização, em alguns pontos de altas temperaturas do corredor BRT, com picos de temperaturas, que tem atingido valores superiores aos 36 °C.

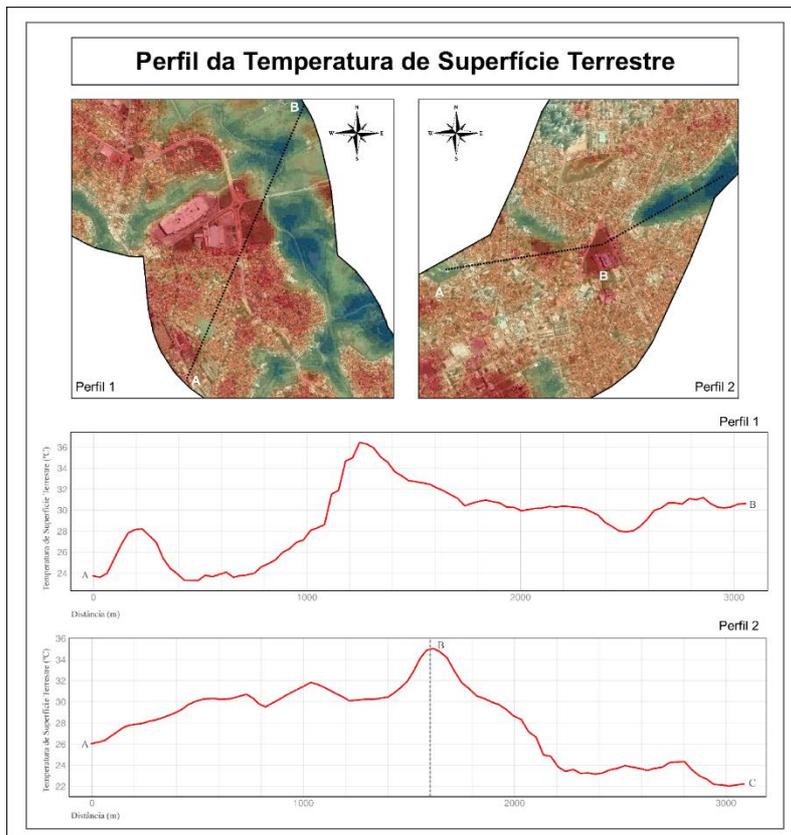


Figura 8: Perfil de Temperatura no ano de 2020. Perfil 1 (Trecho 1) e Perfil 2 (Trecho 2).
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Nascimento e Oliveira (2011, p.123) já haviam constatado o aumento gradual da TST em áreas centrais do município de Goiânia. Para os referidos autores, mais significativo que a elevação do maior valor de temperatura registrado é “a evolução da proporção em percentagem de ocorrência”, do agrupamento das temperaturas altas em classes, ou seja, do aparecimento das ilhas de calor, ao longo dos anos analisados.

Desta forma, a pesquisa realizada por Coelho *et al.* (2015) coaduna com os dados obtidos neste estudo, e revela que as temperaturas mais elevadas coincidem com áreas comerciais/industriais e ao longo de corredores rodoviários. Os autores salientam que os elevados valores de temperatura ocorrem em áreas onde predominam materiais como concreto e asfalto, que proporcionam uma menor emissão de radiação de Ondas Longas (OL) para atmosfera e, por sua vez, ocasionam o desconforto térmico (COELHO *et al.*, 2015). Asgarian *et al.* (2015) explicam a variação na temperatura de superfície por meio da paisagem e concluem que tais análises podem ser aplicadas por planejadores urbanos

para otimizar a localização de aglomerados de espaços verdes, a fim de fortalecer sua função mitigadora contra altas temperaturas de superfície.

Nesse sentido, a cobertura do solo urbana, representada pela construção de edifícios e superfícies impermeáveis, contribuem para as alterações da TST, e consequentemente, para a expansão da formação de ICU. Assim, a análise aqui apresentada revela a importância dessa correlação para a mobilidade urbana, uma vez que o corredor BRT promove alterações nos padrões de uso e cobertura do solo, que tendem a aumentar a constância das temperaturas altas, promovendo o desconforto térmico a população e aos próprios usuários do sistema. Como já mencionado, esse cenário pode ser minimizado, se a prefeitura, implantar, medidas mitigadoras que promovam mais áreas verdes nas proximidades dessa infraestrutura de transportes.

Considerações Finais

De maneira geral este trabalho buscou uma compreensão de como as transformações na paisagem urbana, iniciadas pela implantação de um corredor BRT, podem impactar aspectos do clima urbano. Desse modo, a pesquisa revelou o quanto a temperatura se elevou, em áreas que passaram por transformações para implantação do corredor de transportes, o BRT Norte Sul. Portanto, há influência da infraestrutura de transportes sobre a temperatura na área de estudo.

Os resultados dos valores da TST, calculados indiretamente, apresentaram equivalentes aos dados obtidos por instrumentos de medidas em campo, portanto, valida-se o método indireto. Esse resultado foi encontrado em diversas pesquisas, dentre as quais aquelas apresentadas por Sousa e Ferreira Júnior (2012), Coelho e Correa (2013), Coelho *et al.* (2015) e Cui *et al.* 2016.

Ademais, a pesquisa contribui com o estado da arte, no sentido, de que coloca em destaque a influência da infraestrutura de transportes sobre o aumento da temperatura. Ao logo do BRT foi possível mensurar diferenças significativas de temperaturas entre os distintos revestimentos das construções urbanas. Por outro lado, áreas vegetadas apresentaram temperaturas mais amenas, sugerindo que a arborização do corredor de transportes pode contribuir para redução da temperatura.

Referências

ALCOFORADO, M. J. Aplicação da climatologia ao planejamento urbano. Alguns Apontamentos. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, v. 34, n. 67/68, p. 83-94, 1999.

ALCOFORADO, M. J.; ANDRADE, H.; OLIVEIRA, S. Alterações climáticas e desenvolvimento urbano. *Série Política de Cidades*, v. 4, 2009.

ASGARIAN, A.; AMIRI, B. J.; SAKIEH, Y. Assessing the effect of green cover spatial patterns on urban land surface temperature using landscape metrics approach. *Urban Ecosystems*, v. 18, n. 1, p. 209-222, 2015.

BERLING-WOLFF, S.; WU, J. Modeling urban landscape dynamics: a case study in Phoenix, USA. *Urban ecosystems*, v. 7, n. 3, p. 215-240, 2004.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de São Paulo-SP. *GEOUSP Espaço E Tempo (Online)*, v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016.

BERLING-WOLFF, S.; WU, J. Modeling urban landscape dynamics: a case study in Phoenix, USA. *Urban ecosystems*, v. 7, n. 3, p. 215-240, 2004.

CAMACHO, Vitor A. L.; MOSCHINI, Luiz E. Planejamento Ambiental Urbano: a Relação entre a Cobertura Vegetal e Temperatura Superficial na Cidade de São Carlos, São Paulo, Brasil. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, Goiás, v. 10, n. 2, p. 116-131, ago. 2021.

CARRILLO-NIQUETE, Gerardo A.; ANDRADE, José L.; VALDEZ-LAZALDE, José R.; REYES-GARCÍA, Casandra; STEFANONI, José L. H. Characterizing spatial and temporal deforestation and its effects on surface urban heat islands in a tropical city using Landsat time series. *Landscape and Urban Planning*, Elsevier, v. 202, n. 2, p. 104-280, 2017.

CMTC – Companhia Metropolitana de Transportes Coletivos. *Projeto Básico de Implantação do Corredor Norte-Sul com a Solução do Tipo Bus Rapid Transit*. 2012.

COELHO, André Luiz Nascentes; CORREA, Wesley de Souza Campos. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.

COELHO, André Luiz Nascentes; RAMOS, André Luís Demuner; BERGAMASCHI, Rodrigo Bettim. Aplicação dos Produtos Landsat-8/TIRS/OLI e Aster/GDEM na Avaliação do Comportamento Termal de Superfície, Usos e Topografia. *XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, p. 1323-1330, 2015.

CUI, Yaoping et al. Influence of urbanization factors on surface urban heat island intensity: A comparison of countries at different developmental phases. *Sustainability*, v. 8, n. 8, p. 706, 2016.

Goiânia. *Obras do BRT Norte-Sul são retomadas na Praça do Cruzeiro*, 2020. Disponível em: <https://www.goiania.go.gov.br/obras-do-brt-norte-sul-sao-retomadas-na-praca-do-cruzeiro/>. Acesso em: 30.06.2020.

ITDP - Institute for Transportation and Development Policy. *BRT standard*. New York (US), 2016-a.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres*. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

KAMRAN, Khalil Valizadeh; PIRNAZAR, Mojtaba; BANSOULEH, Vida Farhadi. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS: comparison between split window algorithm and SEBAL method. In: *Third international conference on remote sensing and*

geoinformation of the environment (RSCy2015). International Society for Optics and Photonics, 2015. p. 953503.

KAPLAN, Gordana; AVDAN, Avdan; AVDAN, Zehra, Y. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat 8 Satellite Data: A Case Study in Skopje, Macedonia. *Proceedings*, n. 2, v. 7, p 1-5, 22 mar. 2018.

LOMBARDO, M. A. *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. Editora Hucitec, 1985.

MPGO – Ministério Público do Estado de Goiás. Portal/Notícias. *MP pede paralisação das obras do BRT em Goiânia*, 2015. Disponível em: <http://www.mpggo.mp.br/portal/noticia/mp-pede-paralisacao-das-obras-do-brt-em-goiania#.Xut4FkVKhPY>. Acesso em: 30.06.2020.

NASCIMENTO, Diego T. F.; OLIVEIRA, Ivanilton J. O. de. Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 113-127, jul./dez. 2011.

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. *Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 464 p, 2016.

PORTIS, G. T.; SANTOS, A. M.; NUNES, F. G. Análise espaço temporal da alteração do uso do solo sob influência de um polo gerador de viagens em Goiânia, GO, Brasil. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 513-525, 2020.

SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. O.; SAITO, N. S. *Spring 5.1.2: passo a passo: Aplicações práticas*. CAUFES. Alegre, ES, 2010. Disponível em: http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_Spring_5.1.2_Aplicacoes_Praticas/Livro_SPRING512PassoaPassoAplicacaoPratica.pdf. Acesso em: 11/11/2020.

SALIH, Muhammad Mejbek et al. Land surface temperature retrieval from LANDSAT-8 thermal infrared sensor data and validation with infrared thermometer camera. *International Journal of Engineering & Technology*, v. 7, n. 4.20, p. 608-612, 2018.

SHINZATO, Paula; DUARTE, Denise Helena Silva. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. *Ambiente Construído*, v. 18, p. 197-215, 2018.

SOUSA, Silvio B.; FERREIRA JÚNIOR, Laerte G. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002 – 2011). *Confins [Online]*, São Paulo, n.15, 18 jun. 2012a. Disponível em <<http://journals.openedition.org/confins/7631>>. Acesso em: 23 dez. 2021.

SOUSA, Silvio B.; FERREIRA JÚNIOR, Laerte G. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 26, p 75-99, 2012b.

SRIVANIT, M.; HOKAO, K. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: An application for the city of Bangkok, Thailand. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, v. 9, n. 1, p. 83-100, 2012.

WENG, Q. A remote sensing? GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International journal of remote sensing*, v. 22, n. 10, p. 1999-2014, 2001.

WENG, Q.; LU, D.; SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, v. 89, n. 4, p. 467-483, 2004.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 64, n. 4, p. 335-344, 2009.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, v. 86, n. 3, p. 370-384, 2003.

YUAN, F.; BAUER, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of environment*, v. 106, n. 3, p. 375-386, 2007.

Gabriela Tobias Portis

Mestre em Tecnologia de Processos Sustentáveis pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, graduada em arquitetura e urbanista pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás e atualmente atua como arquiteta.

Rua 75, nº 45, centro, Goiânia – GO, Cep: 74.055-110.

E-mail: gabriela.portis@gmail.com

Orcid: 0000-0001-8458-2359

Alex Mota dos Santos

Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Paraná, Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Goiás e graduado em Sensoriamento Remoto pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Atualmente é professor efetivo na Universidade Federal do Sul da Bahia, no Centro de Formação em Ciências Agroflorestais, onde atua no Programa de Pós-graduação em Biosistemas. Atua também no programa de pós-graduação em Tecnologia de Processos Sustentáveis pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás.

Rodovia Ilhéus/Itabuna, km 22, Ilhéus - BA, Cep: 45.604-811.

E-mail: alexmota@ufg.br

Orcid: 0000-0002-5156-3968

Fabrizia Gioppo Nunes

Doutora e mestre em Geologia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná e graduada em Geografia pela Universidade Federal do Paraná. Atualmente é professora efetiva na Universidade Federal de Goiás, no Instituto de Estudos Socioambientais, onde atua também no Programa de Pós-graduação em Geografia.

Av. Esperança, s/n - Samambaia, Goiânia - GO, Cep 74.001-970.

E-mail: fabrizia@ufg.br

Orcid: 0000-0001-6159-4701

Recebido para publicação em janeiro de 2022.
Aprovado para publicação em fevereiro de 2022.