



RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA SUPERFICIAL E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NA ÁREA URBANA DE SANTA MARIA (RS - BRASIL) NO VERÃO DE 2023/2024

RELATIONSHIP BETWEEN SURFACE TEMPERATURE AND VEGETATION INDEX IN THE URBAN AREA OF SANTA MARIA (RS - BRAZIL) DURING THE 2023/2024 SUMMER

RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL Y EL ÍNDICE DE VEGETACIÓN EN EL ÁREA URBANA DE SANTA MARIA (RS - BRASIL) EN EL VERANO DE 2023/2024

Caroline Moro

Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós Graduação em Geografia, Curitiba, Brasil.

E-mail: morocaroline836@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5855-5366>.

Mauro Kumpfer Werlang

Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós Graduação em Geografia, Santa

Maria, Brasil. E-mail: wermakwer@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3051-6652>.

RESUMO

O aumento de eventos climáticos extremos e a urbanização acelerada intensificam problemas térmicos urbanos. A substituição de áreas naturais por superfícies impermeáveis eleva a Temperatura de Superfície Terrestre (TST), prejudicando o conforto térmico e a qualidade de vida da população. Este estudo investigou a relação entre a TST e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) nos 42 bairros da área urbana de Santa Maria (RS - Brasil), durante o verão de 2023/2024. A metodologia utilizou imagens dos sensores *MODIS* e *Sentinel-2/MSI*, processadas no *Google Earth Engine* e espacializadas no *QGIS* (versão 3.22.16), com suporte de procedimentos estatísticos realizados no *Planilhas Google* e registros fotográficos de campo. Os resultados confirmaram uma relação inversa entre as variáveis: bairros com maior densidade vegetal apresentaram menores temperaturas superficiais. Áreas densamente urbanizadas, como Bonfim (38,8°C; NDVI: 0,14) e Centro (38,6°C; NDVI: 0,13), registraram os maiores picos térmicos. Em contrapartida, bairros como Campestre do Menino Deus (30°C; NDVI: 0,47) e Passo das Tropas (33°C; NDVI: 0,43) demonstraram maior amenização térmica. Conclui-se que a preservação e ampliação de áreas verdes são estratégias necessárias para a mitigação do calor urbano. Além disso, as geotecnologias utilizadas corresponderam ao esperado, viabilizando o processamento e a espacialização dos dados.

Palavras-chave: TST; NDVI; Qualidade ambiental urbana; Conforto térmico.

ABSTRACT

The increase in extreme climate events and accelerated urbanization intensify urban thermal problems. The replacement of natural areas by impervious surfaces raises Land Surface Temperature (LST), impairing thermal comfort and the population's quality of life. This study investigated the relationship between LST and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the 42 neighborhoods of the urban area of Santa Maria (RS - Brazil), during the summer of 2023/2024. The methodology used images from the MODIS and Sentinel-2/MSI sensors, processed in Google Earth Engine and spatialized in QGIS (version 3.22.16), with support from statistical procedures carried out using Google Sheets and field photographic records. The results confirmed an inverse relationship between the variables: neighborhoods with higher vegetation density showed lower surface temperatures. Densely urbanized areas such as Bonfim (38.8°C; NDVI: 0.14) and Centro (38.6°C; NDVI: 0.13) recorded the highest thermal peaks. In contrast, neighborhoods such as Campestre do Menino Deus (30°C; NDVI: 0.47) and Passo das Tropas (33°C; NDVI: 0.43) demonstrated greater thermal mitigation. It is concluded that the preservation and expansion of green areas are necessary strategies for mitigating urban heat. Furthermore, the geotechnologies employed performed as expected, enabling data processing and spatialization.

Keywords: LST; NDVI; Urban environmental quality; Thermal comfort.

RESUMEN

El aumento de los eventos climáticos extremos y la urbanización acelerada intensifican los problemas térmicos urbanos. La sustitución de áreas naturales por superficies impermeables eleva la Temperatura de la Superficie Terrestre (TST), perjudicando el confort térmico y la calidad de vida de la población. Este estudio investigó la relación entre la TST y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en los 42 barrios del área urbana de Santa Maria (RS - Brasil), durante el verano de 2023/2024. La metodología utilizó imágenes de los sensores MODIS y Sentinel-2/MSI, procesadas en Google Earth Engine y espacializadas en QGIS (versión 3.22.16), con el apoyo de procedimientos estadísticos realizados mediante *Planilhas Google* y registros fotográficos de campo. Los resultados confirmaron una relación inversa entre las variables: los barrios con mayor densidad vegetal presentaron menores temperaturas superficiales. Las áreas densamente urbanizadas, como Bonfim (38,8°C; NDVI: 0,14) y Centro (38,6°C; NDVI: 0,13), registraron los mayores picos térmicos. En contraste, barrios como Campestre do Menino Deus (30°C; NDVI: 0,47) y Passo das Tropas (33°C; NDVI: 0,43) demostraron mayor atenuación térmica. Se concluye que la preservación y ampliación de las áreas verdes son estrategias necesarias para la mitigación del calor urbano. Además, las geotecnologías utilizadas respondieron a lo esperado, posibilitando el procesamiento y la espacialización de los datos.

Palabras clave: TST; NDVI; Calidad ambiental urbana; Confort térmico.

1 – Introdução

As mudanças climáticas representam um dos desafios contemporâneos. Seus efeitos incluem o aumento das temperaturas globais, maior frequência e intensidade de eventos extremos como secas e inundações e perda de biodiversidade (Blank, 2015; Norat, 2023; IPCC, 2023). Esses fenômenos geram impactos na sociedade, economia e no meio ambiente (Blank, 2015; IPCC,

2023). Os eventos climáticos extremos estão associados à emissão de gases de efeito estufa, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), provenientes da supressão da vegetação nativa e da queima de combustíveis fósseis (Abreu *et al.*, 2024; Siqueira Neto *et al.*, 2011; Vasconcelos *et al.*, 2018).

Essas mudanças se manifestam por meio das ondas de calor, que têm se tornado mais frequentes e severas (Coelho *et al.*, 2024; Ferreira; Duarte; Di Giulio, 2024). Esse processo afeta a saúde pública, afetando populações vulneráveis como idosos, crianças e pessoas com doenças crônicas, além de grupos socialmente e economicamente vulneráveis que residem em áreas periféricas com infraestrutura urbana precária, menor cobertura vegetal e elevada impermeabilização do solo (Dias; Nascimento, 2014; Di Giulio; Gresse; Jacobi, 2024; Xavier; Barcellos; Freitas, 2014; Franke *et al.*, 2016; Mendes; Armond; Silva, 2022).

A substituição de áreas verdes por superfícies impermeáveis como concreto e asfalto contribui para a formação das ilhas de calor urbanas, fenômeno que eleva tanto a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) quanto a temperatura do ar (Romero *et al.*, 2019; Castro, 2021). A TST e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) são indicadores para compreender a distribuição espacial do calor e a cobertura vegetal urbana (Amorim, 2017; Ferreira; Pereira; Labaki, 2021; Huang *et al.*, 2020). O aumento do NDVI está inversamente relacionado à redução da TST, visto que a vegetação promove sombreamento e evapotranspiração, minimizando o acúmulo de calor nas superfícies urbanas (Oliveira *et al.*, 2024; Pessi *et al.*, 2019; Young; Rocha, 2006).

A urbanização acelerada tem provocado alterações no uso e cobertura da terra, suprimindo vegetação e aumentando superfícies impermeáveis, o que agrava os impactos térmicos urbanos e compromete a qualidade ambiental (Silva, 2020; Freitas; Azerêdo, 2021). Dessa forma, torna-se necessária a implementação de políticas públicas e planejamento ambiental, incluindo a expansão de áreas verdes e soluções baseadas na natureza, para mitigar esses impactos (Espíndola; Ribeiro, 2020; Matheus *et al.*, 2016).

O sensoriamento remoto por meio de sensores como *MODIS* e *Sentinel-2*, permite a obtenção de dados sem contato direto com a superfície, viabilizando análises em larga escala de variáveis como TST e NDVI (Paranhos Filho *et al.*, 2021). A *Google Earth Engine*, lançada em 2010, permite o processamento de grandes volumes de dados geoespaciais por meio da linguagem de

programação *JavaScript*, destacando-se pela rapidez e eficiência na realização de diferentes tipos de monitoramento ambiental (Gorelick *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2024; Righi *et al.*, 2024).

O município de Santa Maria, localizado na porção central do estado do Rio Grande do Sul, apresenta características urbanas singulares, com diferenças na cobertura vegetal entre seus 42 bairros no distrito sede (IBGE, 2022; Sandalowski *et al.*, 2023). A urbanização acelerada e a substituição irregular da vegetação por superfícies impermeáveis podem estar contribuindo para o aumento da TST na sede (Ferreira; Pereira; Labaki, 2021).

Diante desse contexto, justifica-se a necessidade de compreender como a expansão urbana e a redução das áreas vegetadas influenciam na variação térmica dos bairros de Santa Maria, fornecendo subsídios para o planejamento urbano e ambiental, identificando áreas prioritárias para intervenções ambientais e soluções ecoeficientes.

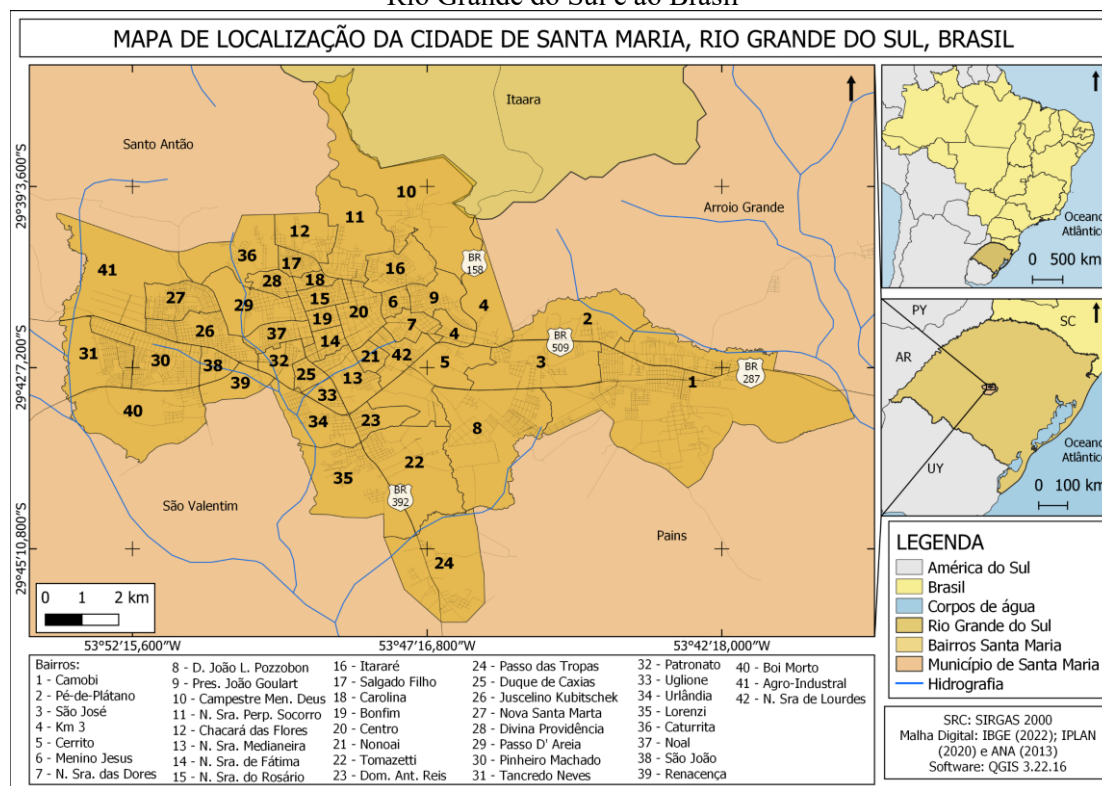
Ademais, a pesquisa amplia a compreensão sobre dinâmicas do clima urbano no campo da climatologia geográfica, utilizando-se de geotecnologias. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar a relação entre a TST e o NDVI nos 42 bairros de Santa Maria, durante o verão de 2023/2024, utilizando a plataforma *Google Earth Engine* para subsidiar estratégias de planejamento urbano integrado e sustentável.

2 – Área de estudo

O município de Santa Maria localiza-se na região central do Rio Grande do Sul, nas coordenadas geográficas aproximadas de 29°41'00" de latitude Sul e 53°48'00" de longitude Oeste, sendo conhecido como “Coração do Rio Grande” devido à sua posição estratégica no estado. A Sede do município concentra os 42 bairros que compõem a área urbana objeto deste estudo, dentre os quais se destacam Centro, Camobi, Nossa Senhora de Fátima, Nossa Senhora de Lourdes e Patronato, por concentrarem maior grande parte dos serviços que são essenciais.

A Figura 1 apresenta a localização da área urbana de Santa Maria e a distribuição de seus bairros em relação ao Rio Grande do Sul e ao Brasil. O município se destaca por sua importância nas áreas comercial, educacional e militar, oferecendo empregos e serviços educacionais qualificados tanto para seus habitantes quanto para as populações dos municípios vizinhos (Sandalowski *et al.*, 2023).

Figura 1. Localização da área urbana de Santa Maria com a identificação dos bairros em relação ao Rio Grande do Sul e ao Brasil



Fonte: Adaptado IBGE (2022) e IPLAN (2020). Elaboração: Os autores, 2025.

Com população de 271.735 habitantes, Santa Maria configura-se como um dos municípios mais populosos do Rio Grande do Sul, apresentando densidade demográfica de 152,64 hab/km² (IBGE, 2022). A distribuição populacional varia entre os bairros, com áreas de maior verticalização e densidade, como o Centro, contrastando com bairros caracterizados por ocupação horizontal e dispersa.

A economia de Santa Maria apresenta diversificação nos três setores, com predomínio no terciário, principalmente no comércio e serviços, que atendem tanto a população local quanto a regional. O clima é subtropical úmido (*Cfa* segundo *Köppen*), com temperaturas médias anuais de 18,8°C (Grigoletti; Lazarotto; Wollmann, 2018). A precipitação média anual é de 1.838 mm, bem distribuída ao longo do ano (Climate Data, s.d).

O município situa-se na zona de transição entre os biomas Pampa e Mata Atlântica, com vegetação composta por campos naturais, matas nativas e áreas reflorestadas, importantes para regulação térmica (Löbler; Scoti; Werlang, 2015). Em relação a geomorfologia, o município

localiza-se na interface entre os Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná e a Depressão Periférica Sul-Rio-Grandense (Silva; Foletto, 2018; Ross, 1989).

A rede hidrográfica é diversificada, incluindo os rios Vacacaí, Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim, além de diversos arroios e sangas. Na área urbana, o arroio Cadena é o principal curso d'água que atravessa a malha urbana e recebe contribuições de sub-bacias como a do arroio Cancela, drenando parte dos bairros centrais e adjacentes (Oliveira; Reckziegel; Robaina, 2006). O processo de urbanização acelerada tem promovido a canalização e retificação desses cursos d'água, intensificando a impermeabilização das margens e ampliando a vulnerabilidade da cidade a eventos de cheia e alagamento (Oliveira; Reckziegel; Robaina, 2006).

3 – Metodologia

O presente trabalho concentra-se especificamente na Sede do município de Santa Maria, onde estão situados os 42 bairros que compõem o espaço urbano. Para investigar a relação entre temperatura superficial e NDVI no ambiente urbano, durante o verão de 2023/2024, desenvolveu-se inicialmente levantamento bibliográfico sobre temas relacionados à TST, ao NDVI e à utilização do *Google Earth Engine*, nesse processo, utilizaram-se como referências e modelos metodológicos os trabalhos de Landucha (2023), Moro e Brinco (2025), Moro, Brinco e Werlang (2025) e Quast (2024), que forneceram embasamento teórico e estruturação para a pesquisa.

A investigação adota o método dedutivo, caracterizado como forma de raciocínio científico que parte de princípios, leis, teorias ou premissas gerais para alcançar conclusões específicas, constituindo processo que transita do geral para o particular, buscando explicar fenômenos a partir de conceitos previamente estabelecidos (Prodanov; Freitas, 2013). A abordagem metodológica baseia-se em perspectiva quali-quantitativa, que articula técnicas qualitativas e quantitativas na coleta e análise de informações, favorecendo compreensão integrada da realidade estudada: enquanto a vertente qualitativa busca compreender significados, percepções e contextos, a quantitativa objetiva mensurar, comparar e generalizar resultados através de dados numéricos e estatísticos (Prodanov; Freitas, 2013).

A estratégia metodológica foi estruturada para examinar a TST e o NDVI dos 42 bairros componentes do distrito sede de Santa Maria, durante o intervalo de 22 de dezembro de 2023 a

20 de março de 2024, correspondente ao verão no Hemisfério Sul. O processo metodológico envolveu obtenção, processamento e análise de dados de sensoriamento remoto sobre condições térmicas e cobertura vegetal da área urbana do município, para as análises foram feitos o uso das seguintes plataformas: *QGIS* (versão 3.22.16), *Google Earth Engine* e *Planilhas Google*.

O período de análise concentrou-se no verão devido às diferenças de TST e NDVI entre os bairros apresentarem maior evidência em comparação com outras estações. A escolha pelo verão como recorte temporal baseou-se na literatura, que indica maior amplitude térmica entre superfícies urbanas e vegetadas nessa estação, quando a radiação solar incidente é mais intensa (Firpo; Sansigolo; Assis, 2012; Amorim, 2017). A presente metodologia pode ser aplicada em outras estações, ainda que a magnitude das diferenças possa ser menos pronunciada.

O intervalo escolhido (22 de dezembro de 2023 a 20 de março de 2024) coincide com a fase de El Niño que vigorou no Pacífico equatorial durante o verão de 2023/2024 (Fundação ABC, 2024). Esse fenômeno está historicamente associado a temperaturas acima da média no Sul do Brasil, podendo ter influenciado as condições térmicas observadas durante o período de estudo. Dessa forma, os valores de TST identificados podem refletir, em parte, a atuação desse fenômeno climático, sendo passíveis de variação conforme a fase do El Niño–Oscilação Sul (ENOS) vigente em anos futuros.

Inicialmente, obteve-se o limite vetorial (formato *shapefile*) do espaço urbano de Santa Maria, através de informações do Instituto de Planejamento de Santa Maria (IPLAN, 2020). No QGIS, procedeu-se ao recorte individual de cada bairro, convertendo-os para formato *shapefile* e posteriormente compactando-os em arquivos *Zip* para importação no *Google Earth Engine*. Optou-se por esse procedimento em detrimento da delimitação manual de cada polígono, visto que a obtenção de delimitação precisa e completa das áreas possibilita resultados mais exatos.

Para a análise da TST, utilizou-se a coleção *MODIS/061/MYD11A2*, derivada do sensor *MODIS* a bordo do satélite Aqua, especificamente a banda *LST_Day_1km* (temperatura de superfície diurna), com resolução espacial de 1 km e composição de 8 dias (Wan; Hook; Hulley, 2021). Cada valor do produto corresponde à média dos pixels diários de TST observados em céu claro dentro daquele intervalo de 8 dias, ou seja, não se trata de uma medição diária isolada (Wan; Hook; Hulley, 2021). Os valores médios por bairro apresentados neste estudo correspondem à média de todos os compósitos de 8 dias disponíveis ao longo do período analisado. De acordo

com Arai et al., (2017), Wan, Hook e Hulley (2021) os valores foram convertidos de *Kelvin* para *Celsius* (°C) conforme a Equação 1:

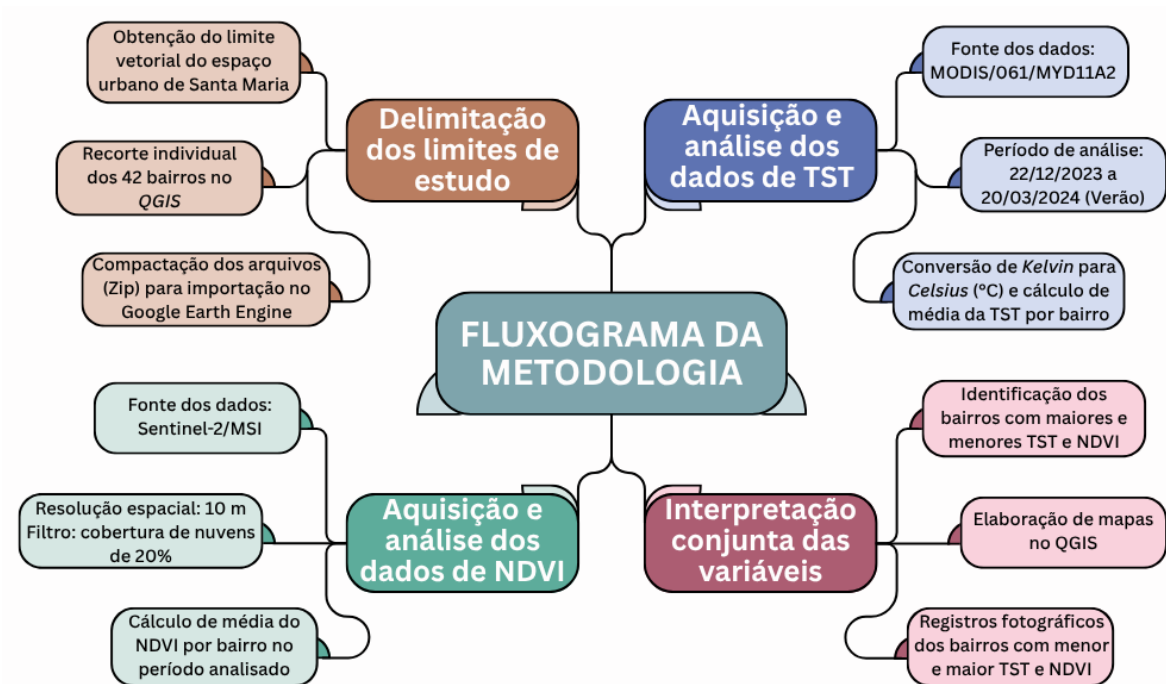
$$TST^{\circ}C = (TSTK * 0,02) - 273,15 \quad (1)$$

A escolha pelo sensor MODIS justifica-se por seu curto tempo de revisita de aproximadamente 1 a 2 dias para cobertura global, o que possibilita um maior número de observações válidas em condições de céu claro dentro de cada compósito de 8 dias, sobretudo durante o verão (NASA, s.d.). Para o cálculo do NDVI, empregaram-se recortes de imagens do satélite *Sentinel-2/MSI* com resolução de 10 metros, filtrando-se cenas com cobertura de nuvens superior a 20% (Capelin, 2021; Silva, 2016). O NDVI, proposto originalmente por Rouse et al. (1974), foi obtido pela Equação 2:

$$(NIR - R) / (NIR + R) \quad (2)$$

Onde **NIR** corresponde ao infravermelho próximo e **R** ao vermelho. Os resultados variam de -1 a 1, sendo que valores próximos a 1 indicam maior densidade de vegetação (Costa; Ribeiro; Albuquerque, 2020). As visualizações temáticas e os gráficos temporais foram gerados no *Google Earth Engine*, com posterior exportação dos dados para análises detalhadas no Planilhas *Google* e elaboração de mapas no QGIS. A Figura 2 sintetiza as quatro etapas metodológicas adotadas neste estudo.

Figura 2. Fluxograma da metodologia de análise da TST e do NDVI na área urbana de Santa Maria



Elaboração: Os autores, 2025.

Em síntese, a metodologia foi executada em quatro etapas: (1) delimitação dos limites de estudo, (2) aquisição e análise dos dados de TST, (3) aquisição e análise dos dados de NDVI e (4) interpretação conjunta das duas variáveis. Complementarmente às análises realizadas em ambiente digital, desenvolveu-se trabalho de campo objetivando coletar registros fotográficos nos bairros que apresentaram maiores e menores valores de TST e NDVI, subsidiando interpretação dos resultados obtidos nas etapas anteriores, além disso, realizaram-se pesquisas em referências bibliográficas que abordam estudos semelhantes, permitindo estabelecer diálogo entre achados desta pesquisa e produção científica já existente.

4 – Resultados e discussões

ANÁLISE DA TST NA ÁREA URBANA DE SANTA MARIA

Ao examinar as temperaturas registradas em cada um dos bairros de Santa Maria durante o verão de 2023/2024, constatou-se que os valores de TST sofrem influência da urbanização, das edificações e da cobertura vegetal, propiciando diferentes microclimas urbanos (Tabela 1).

Tabela 1 – TST média em °C de cada um dos bairros de Santa Maria

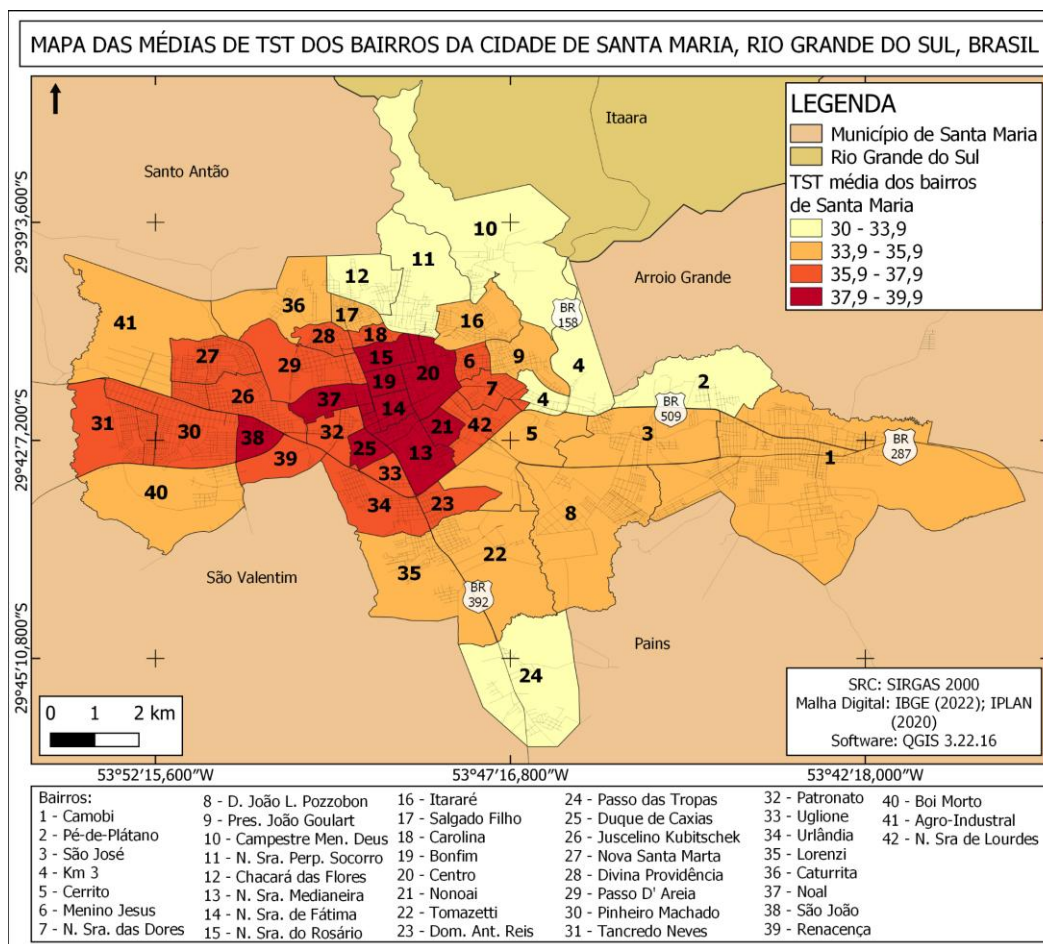
Posição	Bairro	TST Média (°C)	Posição	Bairro	TST Média (°C)
1 ^a	Bonfim	38,8	22 ^a	Dom Antônio Reis	36,5
2 ^a	Centro	38,6	23 ^a	Nova Santa Marta	36,2
3 ^a	Duque de Caxias	38,4	24 ^a	Tancredo Neves	36,2
4 ^a	Nossa Senhora de Fátima	38,2	25 ^a	Salgado Filho	35,8
5 ^a	Nossa Senhora do Rosário	38,2	26 ^a	Boi Morto	35,1
6 ^a	Noal	38,1	27 ^a	Camobi	35,1
7 ^a	Nonoai	38,1	28 ^a	São José	35,1
8 ^a	Nossa Senhora Medianeira	38,1	29 ^a	Itararé	34,8
9 ^a	São João	38,1	30 ^a	Tomazetti	34,5
10 ^a	Juscelino Kubitscheck	37,9	31 ^a	Cerrito	34,4
11 ^a	Carolina	37,8	32 ^a	Lorenzi	34,4
12 ^o	Patronato	37,8	33 ^a	Presidente João Goulart	34,3
13 ^a	Menino Jesus	37,7	34 ^a	Caturrita	34,2
14 ^a	Pinheiro Machado	37,7	35 ^a	Diácono João Luiz Pozzobon	34,1
15 ^a	Uglione	37,7	36 ^a	Agroindustrial	34,0
16 ^a	Nossa Senhora das Dores	37,6	37 ^a	Nossa Senhora do Perpétuo Socorro	33,5
17 ^a	Nossa Senhora de Lourdes	37,4	38 ^a	Chácara das Flores	33,2
18 ^a	Divina Providência	37,2	39 ^a	Pé de Plátano	33,1
19 ^a	Renascença	37,2	40 ^a	Passo das Tropas	33,0
20 ^a	Passo d' Areia	37,1	41 ^a	Km Três	32,1
21 ^a	Urlândia	36,6	42 ^a	Campestre do Menino Deus	30,0

Fonte: MODIS/061/MYD11A2 (NASA LP DAAC), extraído via *Google Earth Engine* (2023/2024).
Elaboração: Os autores, (2025).

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial das médias de TST entre os bairros de Santa Maria. A partir da análise dos resultados ilustrados na Figura 3, observa-se que as maiores TST estão presentes na parte central mais densamente urbanizada e edificada da cidade de Santa Maria, fator que favorece o efeito de ilha de calor urbano. A ilha de calor urbana é o fenômeno em que áreas urbanizadas registram temperaturas mais elevadas do que seu entorno rural ou menos adensado, resultante da substituição da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis, da

geometria urbana que retém radiação e do calor antropogênico liberado por veículos, indústrias e edificações (Barros; Lombardo, 2016).

Figura 3. Distribuição das médias de TST dos bairros da cidade de Santa Maria



Fonte: MODIS/061/MYD11A2 (NASA LP DAAC), extraído via *Google Earth Engine* (2023/2024).
Elaboração: Os autores, 2025.

Conforme destacado por Alves (2012), a cobertura vegetal favorece a amenização das temperaturas em dias mais quentes, também propiciando diminuição da velocidade do escoamento superficial em situações de precipitação. Essa relação também pôde ser observada neste estudo, visto que áreas com maior presença de vegetação apresentaram menores valores de TST, demonstrando a importância da cobertura verde na regulação térmica local. A escassez ou ausência de vegetação constitui uma das causas das ilhas de calor urbana (Barros; Lombardo, 2016). Crisostomo et al. (2019) ressaltam que o processo de urbanização alterou os espaços

geográficos através da redução da cobertura vegetal e impermeabilização do solo, contribuindo para alterações nas variáveis climáticas e formação de ilhas de calor.

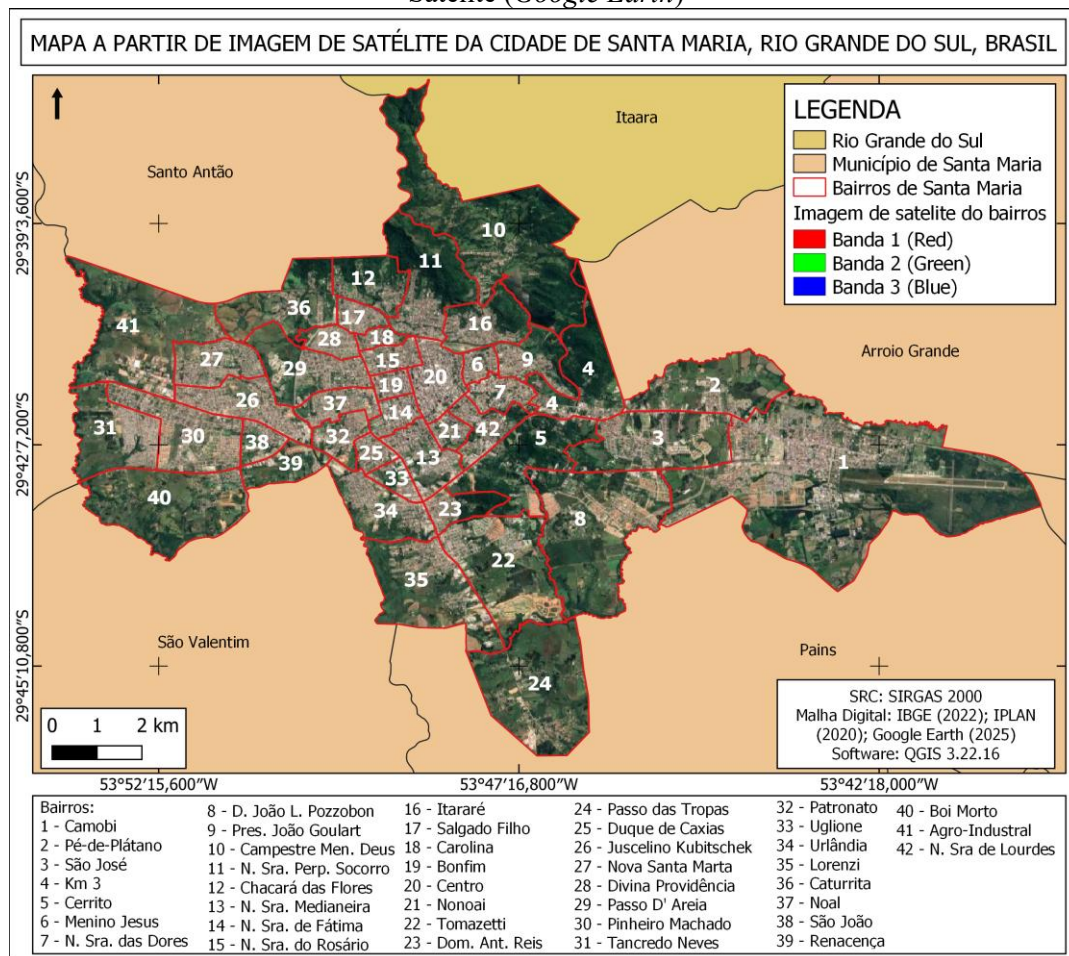
Ao comparar os extremos de temperatura, percebe-se diferença de 8,8°C entre o bairro com TST mais alta (Bonfim) e o com mais baixa (Campestre do Menino Deus). Essa amplitude térmica reforça a influência da ocupação urbana e das características do solo na dinâmica térmica da cidade (Souza; Silva; Silva, 2016). Tais diferenças são potencializadas pela quantidade e uso de materiais como concreto e asfalto, que possuem capacidade significativa de armazenamento de calor e baixa reflexividade (Crisostomo *et al.*, 2019; Ribeiro *et al.*, 2018; Scroccaro; Lima; Tavares, 2018).

Essa amplitude encontra respaldo em estudos anteriores realizados na mesma cidade e com metodologia equivalente. Moro e Brinco (2025), ao analisar os bairros Centro e Camobi durante o mesmo período de verão, identificaram diferença média de 5°C entre os dois bairros sendo Centro com 39°C e Camobi com 34°C, o que reforça o padrão de aquecimento diferenciado entre áreas centrais densamente edificadas e bairros com maior presença de vegetação. Em sentido oposto, a presença de vegetação arbórea reduz a retenção de calor por meio do sombreamento das superfícies e da evapotranspiração, processos que dissipam energia térmica e diminuem a TST nas áreas onde estão presentes (Crisostomo *et al.*, 2019; Ribeiro *et al.*, 2018; Scroccaro; Lima; Tavares, 2018).

Estudos internacionais corroboram com esses dados, demonstrando que a arborização urbana pode contribuir para mitigação da temperatura, com reduções que variam de 2 a 5,8°C em áreas com maior cobertura vegetal (Ettinger *et al.*, 2024; Schwaab *et al.*, 2021; Meili *et al.*, 2021). Esses resultados reforçam a relevância da arborização urbana como estratégia de mitigação do calor em áreas densamente povoadas melhorando o conforto térmico.

Na Figura 4, apresenta-se o um mosaico de imagem de satélite, obtido da base de imagens do Google Satélite (*Google Earth*), com a distribuição de vegetação pelos bairros da cidade de Santa Maria. As menores TST estão distribuídas em bairros com presença de vegetação arbórea aglomerada e, em alguns deles, superfícies de água, devido ao seu efeito de diminuição das temperaturas de maneira natural. Os usos e coberturas da terra influenciam de forma direta na TST (Crispim *et al.*, 2018; Righi *et al.*, 2024).

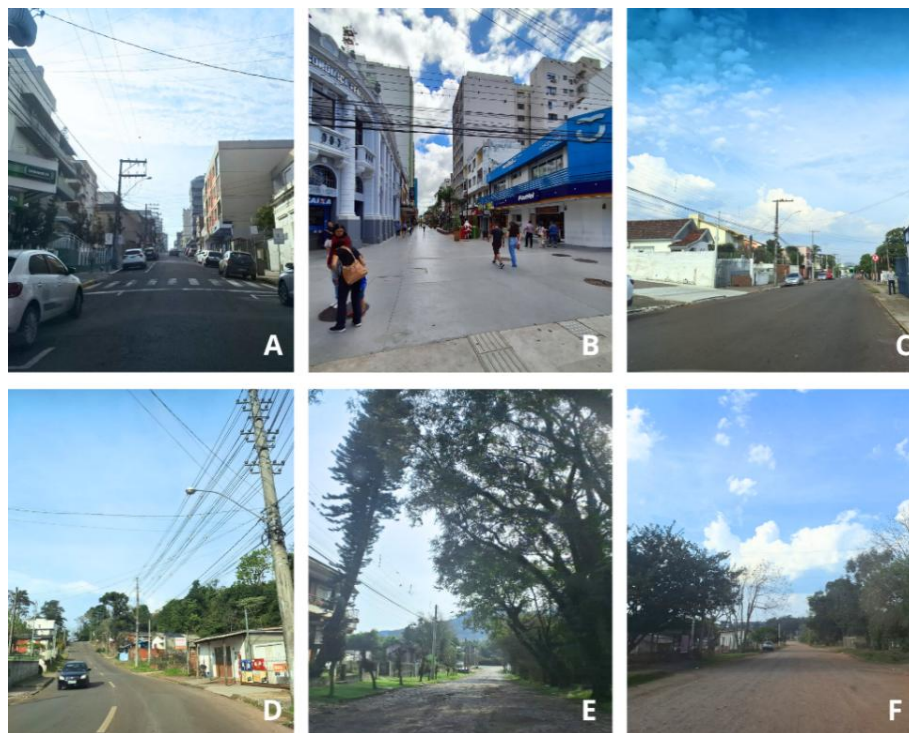
Figura 4. Mapa a partir de mosaico de imagem de satélite, obtido da base de imagens do Google Satélite (*Google Earth*)



Fonte: Imagem Google Earth (2025). Elaboração: Os autores, 2025.

A comparação entre esses ambientes reforça a influência do uso e cobertura da terra sobre a distribuição espacial da temperatura nas áreas urbanas (Wen *et al.*, 2024; Crispim *et al.*, 2018). A seguir, a Figura 5 apresenta mosaico com fotografias dos três bairros que apresentaram as maiores TST, bem como de outros três com as menores TST registradas. Os registros de campo realizados em julho de 2025, por se tratar do período de inverno no Hemisfério Sul, as fotografias retratam principalmente a estrutura urbana e a cobertura arbórea permanente dos bairros, e não as condições microclimáticas específicas do verão analisado.

Figura 5. Mosaico de fotografias dos bairros com as maiores e menores TST: A a C, bairros com as maiores TST – A: Bonfim (38,8°C), B: Centro (38,6°C), C: Duque de Caxias (38,4°C); D a F, bairros com as menores TST – D: Campestre do Menino Deus (30°C), E: Km Três (32,1°C), F: Passo das Tropas (33°C).



Fonte: Acervo pessoal, 2025 (Registros de campo realizados em julho de 2025).

Tendo isso em vista, conforme Dias e Nascimento (2014), a concentração de construções e atividades antrópicas nas áreas centrais é capaz de promover maiores temperaturas quando comparadas às regiões periféricas. A TST apresenta relações complexas com a morfologia urbana, influenciada por diferentes padrões de desenvolvimento, composição do uso e cobertura da terra, fatores socioeconômicos, variações topográficas e características tridimensionais das construções (Wen *et al.*, 2024). Entre os elementos que contribuem para o aumento da TST, destaca-se o concreto asfáltico, que apresenta baixo albedo e alta capacidade calorífica, favorecendo a retenção de calor (Mohajerani; Bakaric; Jeffrey-Bailey, 2017).

ANÁLISE DO NDVI NA ÁREA URBANA DE SANTA MARIA

Ao examinar os dados de NDVI registrados em cada bairro de Santa Maria durante o verão de 2023/2024, constatou-se que alguns apresentam valores consideravelmente altos, enquanto outros baixos. O maior valor de NDVI foi de 0,47 no Campestre do Menino Deus, observando-se que os valores de NDVI desse bairro se mantiveram altos ao longo do período estudado. Valores mais próximos de 1 indicam que o bairro possui maior cobertura vegetal, enquanto os mais próximos de 0 indicam áreas com poucas ou quase nenhuma vegetação. Porangaba e Amorim (2019) afirmam que valores de NDVI altos têm papel na amenização do calor, enquanto valores baixos devido à alta densidade urbana favorecem o aquecimento superficial.

É importante ressaltar que, embora os bairros centrais como Bonfim e Centro apresentem os menores valores de NDVI (0,14 e 0,13), a ausência de valores negativos indica que essas áreas não são totalmente desprovidas de vegetação. Tais índices refletem a presença de vegetação esparsa, como árvores de calçada, jardins internos em condomínios e pequenos canteiros centrais, que, embora existentes, são insuficientes para gerar o resfriamento evaporativo necessário para contrapor a alta capacidade calorífica do asfalto e do concreto predominantes nessas zonas (Mohajerani; Bakaric; Jeffrey-Bailey, 2017; Shinzato, 2009).

A Tabela 2 apresenta as médias de NDVI de cada um dos bairros em estudo, nenhum dos valores de NDVI apresentados na tabela é negativo, indicando que todos os bairros possuem ao menos algum nível de cobertura vegetal. Considerando as faixas interpretativas do NDVI citadas por Crusiol et al. (2024), observa-se que 29 dos bairros de Santa Maria se concentram nas classes entre vegetação pouco saudável (0 a 0,33), enquanto os 13 bairros restantes situam-se na faixa moderadamente saudável (0,33 a 0,66). Isso evidencia que, embora nenhum bairro apresente condição de vegetação altamente vigorosa, aqueles no topo do *ranking* alcançam valores que indicam áreas vegetadas relativamente preservadas.

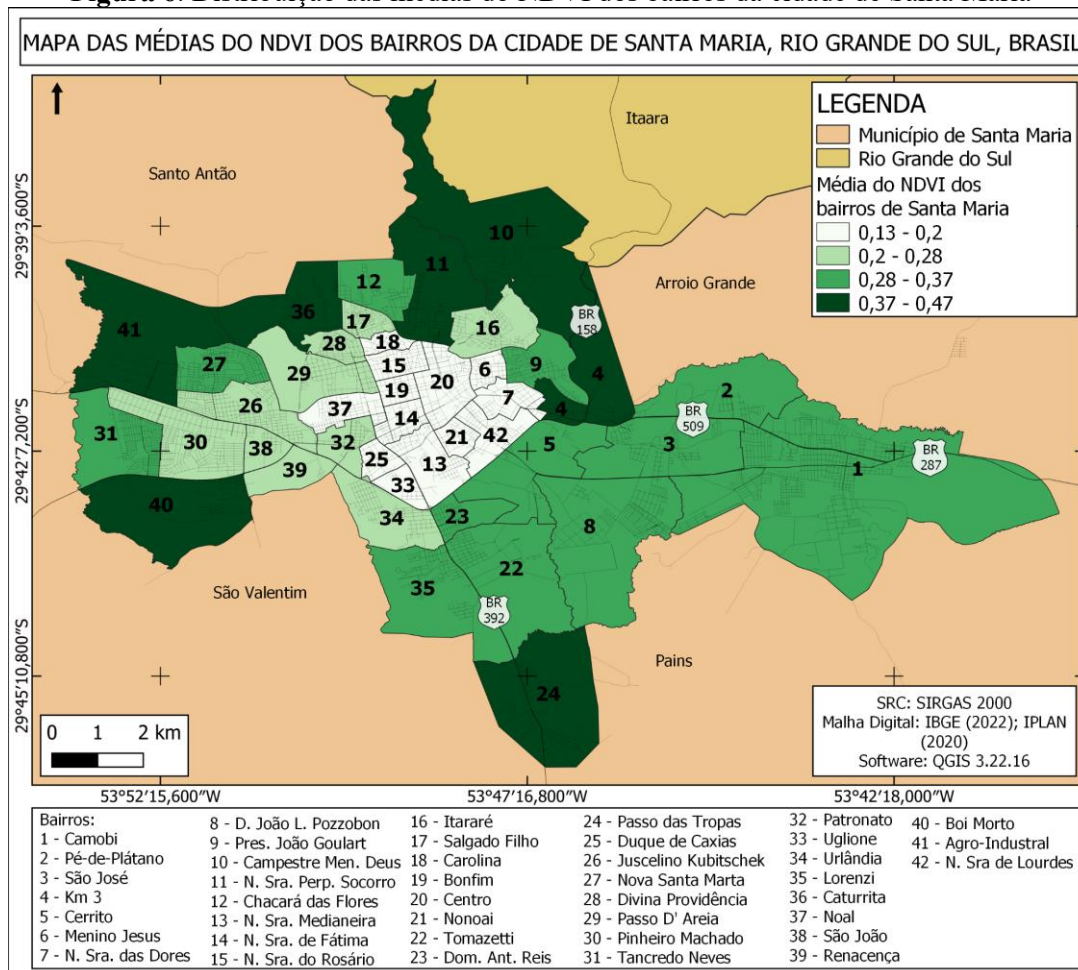
Tabela 2 – Valores médios de NDVI de cada um dos bairros de Santa Maria

Posição	Bairro	Média NDVI	Posição	Bairro	Média NDVI
1 ^a	Campestre do Menino Deus	0,47	22 ^a	Renascença	0,28
2 ^a	Passo das Tropas	0,43	23 ^a	Urlândia	0,27
3 ^a	Boi Morto	0,40	24 ^a	Salgado Filho	0,25
4 ^a	Km Três	0,40	25 ^a	Pinheiro Machado	0,24
5 ^a	Caturrita	0,39	26 ^a	Juscelino Kubitschek	0,22
6 ^a	Nossa Senhora do Perpétuo Socorro	0,39	27 ^a	São João	0,22
7 ^a	Agroindustrial	0,38	28 ^a	Divina Providência	0,21
8 ^a	Cerrito	0,37	29 ^a	Patronato	0,21
9 ^a	Chácara das Flores	0,37	30 ^a	Noal	0,20
10 ^a	Lorenzi	0,36	31 ^a	Carolina	0,19
11 ^a	Pé de Plátano	0,35	32 ^a	Duque de Caxias	0,19
12 ^o	Luiz Diácono Pozzobon	0,34	33 ^a	Nossa Senhora Medianeira	0,19
13 ^a	Tomazetti	0,34	34 ^a	Uglione	0,19
14 ^a	Tancredo Neves	0,33	35 ^a	Menino Jesus	0,18
15 ^a	Camobi	0,32	36 ^a	Nossa Senhora de Lourdes	0,18
16 ^a	João Goulart	0,32	37 ^a	Nossa Senhora do Rosário	0,18
17 ^a	Dom Antônio Reis	0,31	38 ^a	Nonoai	0,17
18 ^a	Nova Santa Marta	0,31	39 ^a	Nossa Senhora das Dores	0,15
19 ^a	São José	0,30	40 ^a	Nossa Senhora de Fátima	0,15
20 ^a	Itararé	0,28	41 ^a	Bonfim	0,14
21 ^a	Passo d' Areia	0,28	42 ^a	Centro	0,13

Ex.: Copernicus Sentinel-2/MSI (ESA), extraído via Google Earth Engine (2023/2024). Elaboração: Os autores, (2025).

Os valores médios de NDVI variam entre 0,13 a 0,47, sendo o Centro e o Campestre do Menino Deus, respectivamente. De maneira geral, os bairros localizados em áreas mais afastadas do núcleo urbano de Santa Maria apresentam valores mais elevados de NDVI, enquanto os mais centrais e densamente povoados apresentam índices mais baixos. Essa realidade é possível de ser observada na Figura 6, que apresenta a distribuição dos bairros de Santa Maria com as médias de NDVI.

Figura 6. Distribuição das médias do NDVI dos bairros da cidade de Santa Maria



Fonte: Copernicus Sentinel-2/MSI (ESA), extraído via Google Earth Engine (2023/2024). Elaboração: Os autores, 2025.

Os maiores valores de NDVI acima de 0,39 estão presentes nos bairros Campestre do Menino Deus (0,47), Passo das Tropas (0,43), Boi Morto (0,40) e Km Três (0,40), caracterizados por maior presença de vegetação. Os menores valores de NDVI abaixo de 0,16 estão presentes nos bairros Centro (0,13), Bonfim (0,14), Nossa Senhora de Fátima (0,15) e Nossa Senhora das Dores (0,15), que possuem baixa quantidade de vegetação e alta densidade urbana com predominância de superfícies impermeáveis. A Figura 7 apresenta mosaico com fotografias dos três bairros que obtiveram os menores valores de NDVI, assim como de outros três que registraram os maiores índices.

Figura 7. Mosaico de fotografias dos bairros com as menores e maiores valores de NDVI: A a C, bairros com os menores valores de NDVI – A: Centro (0,13), B: Bonfim (0,14), C: Nossa Senhora de Fátima (0,15); D a F, bairros com os maiores valores de NDVI – D: Campestre do Menino Deus (0,47), E: Passo das Tropas (0,43), F: Boi Morto (0,40).



Fonte: Acervo pessoal, 2025 (Registros de campo realizados em julho de 2025).

Essa distribuição evidencia a relação entre uso e cobertura da terra e os índices de vegetação. Zambonato et al. (2021) ressaltam que há relação direta entre proporção de vegetação e edificações, pois zonas com maior superfície vegetal apresentaram menor porcentagem de edificações. Esse estudo contribui para os resultados encontrados na presente pesquisa, uma vez que também foi constatado que áreas centrais e mais urbanizadas de Santa Maria apresentaram menores valores de NDVI, enquanto regiões periféricas, com maior presença de vegetação, exibiram índices mais elevados.

Bairros com menor NDVI tendem a apresentar temperaturas mais elevadas, pois há maior retenção de calor pelas superfícies construídas. Áreas com altos valores de NDVI podem contribuir para regulação térmica e amenização do efeito de ilhas de calor urbanas. A vegetação é importante na melhoria da qualidade do ar, absorção de poluentes, conforto ambiental, microclima urbano, equilíbrio ambiental, regulação da umidade do ar e do solo, redução de ruídos, proteção da fauna silvestre e infiltração da água no solo (Santos; Teixeira, 2001). O

NDVI é indicador de qualidade ambiental diretamente relacionado com saúde e qualidade de vida dos habitantes (Santos; Hacon; Neves, 2023).

RELAÇÃO ENTRE A TST E O NDVI DA ÁREA URBANA DE SANTA MARIA

A análise conjunta da TST e do NDVI nos bairros de Santa Maria entre dezembro de 2023 e março de 2024 evidencia relação inversa entre essas variáveis. De maneira geral, observa-se que bairros com maiores valores de NDVI tendem a apresentar menores temperaturas de superfície, enquanto bairros com menores índices de vegetação registram temperaturas mais elevadas.

Os dados demonstram que os bairros com maiores TST médias estão localizados em regiões altamente urbanizadas, com menor presença de cobertura vegetal. Exemplos são os bairros Bonfim, Centro e Nossa Senhora de Fátima, que registraram temperaturas elevadas de 38,8°C, 38,6°C e 38,2°C, respectivamente. Esses mesmos bairros apresentam valores de NDVI consideravelmente reduzidos, variando entre 0,13 a 0,15. Em contrapartida, os bairros com menores TST médias, como Campestre do Menino Deus (30°C), Km Três (32,1°C), Passo das Tropas (33°C) e Nossa Senhora do Perpétuo Socorro (33,5°C), apresentam NDVI mais elevado, variando entre 0,39 a 0,47.

Diversos estudos corroboram essa relação inversa entre TST e NDVI em diferentes contextos urbanos brasileiros e internacionais, evidenciando que áreas com maior cobertura vegetal apresentam temperaturas superficiais mais baixas, com diferenças que podem alcançar até 2,6°C entre áreas edificadas e áreas com vegetação densa (Toffolli; Rodrigues Junior; Ferreira, 2019; Almeida *et al.*, 2021; Fialho; Santos, 2021; Silva; Ribeiro, 2023; Guha; Govil, 2020; Camacho; Moschini, 2021). Embora os estudos elencados apontem diferenças de até 2,6°C, em Santa Maria essa amplitude térmica se mostrou ainda mais expressiva, alcançando 8,8°C entre o bairro com maior TST média (Bonfim) e o de menor TST média (Campestre do Menino Deus), o que sugere uma relação entre uso e cobertura da terra e TST particularmente acentuada na área de estudo possivelmente associada à elevada concentração de superfícies impermeáveis no núcleo urbano e à conservação de remanescentes de vegetação nativa nos bairros periféricos.

A relação entre TST e NDVI confirma a influência da cobertura vegetal na regulação da temperatura urbana, visto que bairros mais arborizados tendem a apresentar menores

temperaturas superficiais, isso ocorre devido à interceptação da radiação solar pelas copas das árvores, maior evapotranspiração e sombreamento, reduzindo absorção de calor por superfícies urbanas (Shinzato, 2009). Por outro lado, regiões com maior índice de urbanização e predomínio de superfícies impermeáveis, como concreto e asfalto, acumulam mais calor, intensificando o efeito de ilha de calor urbana (Crisostomo *et al.*, 2019; Ribeiro *et al.*, 2018; Scroccaro; Lima; Tavares, 2018).

PLANEJAMENTO URBANO, AMBIENTAL E MITIGAÇÃO TÉRMICA

Os resultados obtidos na análise da TST e do NDVI fornecem informações importantes para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas ao planejamento urbano integrado, ambiental e à mitigação dos impactos térmicos em Santa Maria. A identificação das áreas com maior temperatura e das regiões com menor cobertura vegetal permite direcionar estratégias que reduzam as temperaturas elevadas e, conseqüentemente, os efeitos das ilhas de calor, promovendo maior conforto térmico para a população (Espíndola; Ribeiro, 2020).

Porangaba e Amorim (2019) ressaltam que a qualidade dos ambientes urbanos tem se mostrado inadequada para parcela da população, devido ao fato de não se considerar, no processo de expansão territorial, as características físicas desses ambientes. Para amenizar problemas relacionados à qualidade desses ambientes, a comunidade científica vem desenvolvendo formas de análise para auxiliar no planejamento ambiental das cidades, tendo o sensoriamento remoto como grande aliado (Paranhos Filho *et al.*, 2021).

Essa percepção do ambiente também é identificada em nível local. Moro, Brinco e Werlang (2025), ao investigar a percepção climática de moradores dos bairros Centro e Camobi em Santa Maria, constataram que 100% dos entrevistados do Centro reconheceram que o bairro é mais quente do que Camobi, atribuindo esse fenômeno à menor parcela de vegetação e à predominância de construções cinzas e pavimentação asfáltica. Esse dado qualitativo corrobora os resultados obtidos por sensoriamento remoto no presente estudo e reforça que a população já percebe e vivencia os efeitos no cotidiano urbano, o que pode ser um aliado importante na implementação de políticas públicas de arborização e infraestrutura verde.

Dentre as principais estratégias de mitigação, destaca-se a necessidade de ampliação da vegetação urbana, especialmente nas áreas mais densamente urbanizadas, onde predominam

superfícies impermeáveis. A arborização de ruas, criação de parques e praças urbanos, corredores ecológicos e implementação de telhados e paredes verdes podem contribuir para redução da temperatura e melhoria da qualidade ambiental e de vida (Barreto *et al.*, 2017; Dobbert; Zanlorenzi, 2014). A preservação das áreas já vegetadas nos bairros, como as do Campestre do Menino Deus e da Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, deve ser priorizada para continuar proporcionando temperaturas mais amenas e corroborando com o clima urbano de Santa Maria.

A verticalização em bairros centrais, quando não acompanhada de diretrizes ambientais claras, contribui para o aumento da temperatura superficial devido à substituição de vegetação intralote por construções de maior porte, devendo ser considerada no planejamento integrado da cidade. Lopes, Nascimento e Hora (2023) destacam que a presença de maior quantidade de vegetação altera o balanço de energia na atmosfera, reduzindo incidência direta da radiação solar sobre o solo. A seleção adequada de espécies arbóreas nativas do Rio Grande do Sul deve ser priorizada para maximizar os benefícios térmicos da arborização urbana (Santos; Teixeira, 2001).

Outra abordagem importante para o planejamento urbano sustentável é a adoção de materiais e técnicas construtivas que reduzam a retenção de calor. O uso de pavimentos de alta refletância, superfícies permeáveis e aplicação de materiais mais eficientes do ponto de vista térmico nas edificações podem minimizar o aquecimento excessivo nas áreas urbanas (Garcia; Rodgher; Florian, 2024; Guedes, 2023; Wenzel; Gutierrez, 2018). Os pavimentos permeáveis, diferentemente dos convencionais, permitem infiltração da água no solo, criando processo de resfriamento evaporativo natural (Blanski, 2021; Kowalski *et al.*, 2020).

O monitoramento contínuo da TST e do NDVI também deve ser incorporado às políticas públicas para avaliar a efetividade das medidas adotadas e possibilitar ajustes estratégicos conforme necessário. Sua efetividade depende de planejamento territorial integrado e de articulação multidisciplinar entre os diferentes setores da gestão urbana.

4 – Conclusões

A análise da TST e do NDVI nos bairros presentes no espaço urbano de Santa Maria, permitiu identificar padrões espaciais e temporais significativos. Os resultados evidenciaram a influência do uso e cobertura da terra na distribuição térmica da cidade, demonstrando que bairros densamente edificadas e com menor cobertura vegetal apresentam temperaturas mais elevadas, enquanto áreas com maior presença de vegetação registraram valores mais baixos de TST.

Bairros como Bonfim, Centro e Nossa Senhora de Fátima destacaram-se com as maiores temperaturas médias, enquanto Campestre do Menino Deus e Nossa Senhora do Perpétuo Socorro apresentaram as menores temperaturas médias, associadas a maior presença de vegetação arbórea e superfícies de água, a relação inversa entre TST e NDVI reforça a importância da vegetação na regulação térmica do ambiente urbano, demonstrando sua relevância na redução das temperaturas.

Os dados analisados ao longo do período de dezembro de 2023 a março de 2024 confirmam que a distribuição da TST na cidade não ocorre de forma homogênea, bem como a distribuição da vegetação arbórea dos bairros não é igualitária, sendo a temperatura superficial fortemente influenciada pelo uso e cobertura da terra. Diante desses resultados, ressalta-se a necessidade de políticas públicas voltadas à ampliação da cobertura vegetal nas áreas mais densamente urbanizadas, como estratégia para reduzir os impactos do aumento das temperaturas, promovendo maior equilíbrio térmico, qualidade ambiental e conforto para a população.

Além disso, este estudo reforça a relevância do sensoriamento remoto como ferramenta para monitoramento ambiental e planejamento urbano, possibilitando análise espacial e temporal de fenômenos climáticos e auxiliando na tomada de decisões para desenvolvimento urbano. A plataforma do *Google Earth Engine* mostrou-se eficaz, visto que, possui processamento rápido, analisa grande volume de dados e diferentes variáveis, possui ampla disponibilidade de imagens de satélite e é prática em seu uso, pesquisas futuras podem aprofundar a análise ao considerar outros fatores, como umidade do solo e variáveis meteorológicas adicionais, ampliando o estudo sobre interação entre urbanização e o clima local na sede do município de Santa Maria.

Referências

- ABREU, N. L.; RIBEIRO, E. S. da C.; SOUSA, C. E. S. de; MORAES, L. M.; OLIVEIRA, J. V. C. de; FARIA, L. de A.; RIGGIERI, A. C.; CARDOSO, A. da S.; FATURI, C.; RÊGO, A. C. do; SILVA, T. C. da. Mudanças de uso da terra e emissão de gases de efeito estufa: uma explanação sobre os principais drivers de emissão. **Ciência Animal Brasileira: Brazilian Animal Science**, v. 25, 2024. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v25e-77646p>
- ALMEIDA, L. T. e; FERREIRA, K. A. C.; TEIXEIRA, N. da C.; MARCILIO, N. da S. A.; ALMEIDA, G. A. G. de; RAUSCH, P. M.; SEVERINO, V.; DANELICHEN, V. H. de M.; SEIXAS, G. B. Estudo do uso e cobertura da terra no Parque Estadual Mãe Bonifácia na Cidade de Cuiabá-MT. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20632>
- ALVES, D. B. **Cobertura vegetal e qualidade ambiental na área urbana de Santa Maria (RS)**. Dissertação (Mestre em Geografia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- AMORIM, M. C. de C. T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. **Finisterra**, v. 105, p. 111-133, 2017. <https://doi.org/10.18055/Finis6888>
- ARAI, E.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O.; SOUZA, A. F. de; SILVA, C. M. da; YAMAMOTO, M. Z. Avaliação da série temporal de dados de temperatura da superfície derivadas do sensor MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. **Anais [...]**. Santos: INPE, 2017.
- BARRETO, A. P.; MATHIAS FILHO, J. M.; FELISBINO, R. M.; HUNGER, M. S.; DELBIM, L. R.; MAGALHÃES, R.; ZAVARIZE, S. F.; MARTELLI. Arborização Urbana e Microclima e a Percepção dos Acadêmicos de Educação Física Quanto a Essa Vegetação. **Uniciências**, v. 21, n. 2, p. 99-104, 2017. <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2017v21n2p99-104>
- BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2016.97783>
- BLANK, D. M. P. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 157-172, mai./ago. 2015. <https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0010>
- BLANSKI, M. **Revisão sistemática de modelos experimentais para pesquisa em pavimentos permeáveis**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2021.
- CAMACHO, V. A. L.; MOSCHINI, L. E. Planejamento Ambiental Urbano: a Relação entre a Cobertura Vegetal e Temperatura Superficial na Cidade de São Carlos, São Paulo, Brasil. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 10, n. 2, p. 116–131, 2021. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2021v10i2.p116-131>

CAPELIN, A. **Análise de composição de bandas espectrais do satélite Sentinel-2 para uso em classificação supervisionada**. Trabalho de Conclusão de Curso (Agrônomo), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2021.

CASTRO, J. T. de. **Influência da cor da tinta na temperatura interna de edifícios de alvenaria de tijolos: um estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2021.

CLIMATE DATA. **Clima Santa Maria**, s.d.

COELHO, C. de A. W.; MOLLETA, D. G. S.; OMETTO, J. P.; ROGÉRIO, J. P.; CALDAS, J. de N.; CRUZ, M. R. da; COPERTINO, M. S.; ARAÚJO, M. CAUMO, S. **Mudança do clima no Brasil: síntese atualizada e perspectivas para decisões**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2024.

COSTA, G. J. A.; RIBEIRO, K. V.; ALBUQUERQUE, E. L. S. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na avaliação da cobertura vegetal do município de regeneração, estado do Piauí, Brasil. **Revista GeoNordeste**, São Cristóvão, n. 2, p. 230-246, 2020. <https://doi.org/10.33360/10.33360/RGN.2318-2695.2020.i2.p.230-246>

CRISOSTOMO, N. C.; BARBOZA, E. N.; SAMPAIO, M. R. L.; BAZERRA NETO, F. das C.; SILVA, D. H. da. Ilhas de Calor Urbana: Influência da Arborização na Amenização Climática em Juazeiro do Norte, Ceará. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 36-43, 2019.

CRISPIM, D. L.; BEZERRA, P. E. S.; RODRIGUES, R. S. S.; VIEIRA, A. S. de A.; PEREIRA, F. V. de S.; FERNANDES, L. L. Uso e ocupação do solo e sua associação com a temperatura da superfície terrestre no município de Baixo – CE. **REVISTA GEONORTE**, v. 9, n. 33, p.126-140, 2018. <https://doi.org/10.21170/geonorte.2018.V.9.N.33.126.140>

CRUSIOL, L. G. T.; SIBALDELLI, R. N. R.; FARIAS, J. R. B.; NANNI, M. R.; FURLANETTO, R. H.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; NEPOMUCENO, A. L.; FLAUSINO, A. M.; REIS, A. S.; SILVA, B. M. da; CASTRO, C. de; GODOY, C. V.; MINATO, E. A.; CEZAR, E.; OLIVEIRA, F. A. de; SANTOS, G. L. A. A. dos; GONÇALVES, J. V. F.; FOLONI, J. S. S.; FAZAM, J. C.; FRANCHINI, J. C.; OLIVEIRA, K. M. de; MORAES, L. A. C.; MERTZ-HENNING, L. M.; BATISTA, M. A.; NEUMAIER, N.; FALCIONI, R.; ROGGIA, S.; GONÇALVES, S. L. **50 anos do NDVI: desmistificando o índice e ponderando sua utilização para o monitoramento da soja na era digital**. Londrina: Embrapa Soja, 2024.

DIAS, M. B. G.; NASCIMENTO, D. T. F. Clima urbano e ilhas de calor: ASPECTOS Teórico-metodológicos e estudo de caso. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 12, p. 27-41, 2014. <https://doi.org/10.17271/1980082710122014902>

DI GIULIO, G. M.; GRESSE, E. G.; JACOBI, P. R. Emergência climática, eventos extremos e as experiências no contexto brasileiro. **Diálogos Socioambientais**, v. 7, n. 19, p. 6–12, 2024.

DOBBERT, L. Y.; ZANLORENZI, H. C. P. Arborização urbana e conforto térmico: um estudo para a cidade de Campinas/SP/ Brasil. **Revista LABVERDE**, n. 9, p. 74-85, 2014. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i9p73-85>

ESPÍNDOLA, I. B.; RIBEIRO, W. C. Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 22, n. 48, pp. 365-395, maio/ago 2020. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4802>

ETTINGER, A. K.; BRATMAN, G. N.; CAREY, M.; HEBERT, R.; HILL, O.; KETT, H.; LEVIN, P.; WILLIAMS, M. M.; WYSE, L. Street trees provide an opportunity to mitigate urban heat and reduce risk of high heat exposure. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 3266, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51921-y>

EUROPEAN SPACE AGENCY – ESA. **Copernicus Sentinel-2 Mission**. [s.d.].

FERREIRA, F. L. e S.; PEREIRA, E. B.; LABAKI, L. C. Fatores associados à distribuição da temperatura das superfícies em áreas urbanas: zonas climáticas locais e suas características espectrais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 237-262, jan./mar. 2021. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000100504>

FERREIRA, L. S.; DUARTE, D. H. S.; DI GIULIO, G. M. Ondas de calor e adaptação: um alerta para os instrumentos de planejamento e ordenamento territorial. **Diálogos Socioambientais**, v. 7, n. 19, p. 14–17, 2024.

FIALHO, E. S.; SANTOS, L. G. F. dos. A climatologia urbana e o uso do sensoriamento remoto: um estudo de caso em uma cidade de pequeno porte em clima tropical de altitude. **Geografia**, Rio Claro, v. 46, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.5016/geografia.v46i1.16047>

FIRPO, M. A. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. de. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 95-106, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000100010>

FRANKE, A. E.; ZAVATTINI, J. A.; ALVES, M. P. A.; SILVEIRA, R. B. 3 Investigações climáticas em eventos extremos: análises socionaturais. **Cadernos Geográficos**, Florianópolis, n. 36, 2016.

FREITAS, R.; AZERÊDO, J. Do natural ao construído: proposta para estimar acúmulo de calor em metrópoles. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 23, n. 50, p. 331-354, jan/abr 2021. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2021-5013>

FUNDAÇÃO ABC. **El Niño: o que entendemos e o que esperar para 2024**. 2024.

GARCIA, E. B. da S.; RODGHER, S. F.; FLORIAN, F. Pavimentação permeável: Mitigação de impactos ambientais e melhorias na qualidade de vida urbana. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 5, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.47820/recima21.v5i1.6063>

GRIGOLETTI, G. de C.; LAZAROTTO, G.; WOLLMANN, C. A. Microclima urbano de áreas residenciais no período noturno: Estudo em Santa Maria, RS. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 140-163, 2018. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-7>

GOOGLE EARTH. **Imagens de satélite da cidade de Santa Maria, RS**, 2025. Disponível em: <https://earth.google.com>.

GORELICK, N., HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. *Google Earth Engine*: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

GUEDES, R. B. N. **Desempenho térmico e óptico de pavimentos permeáveis e impermeáveis de concreto com colorações diferentes**. Dissertação (Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2023.

GUHA, S.; GOVIL, H. Land surface temperature and normalized difference vegetation index relationship: a seasonal study on a tropical city. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 10, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03458-8>

HUANG, S.; TANG, L.; HUPY, J. P.; WANG, Y.; SHAO, G. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. **Journal of Forestry Research**, v. 32, p. 1-6, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Informações do município de Santa Maria. **Cidades@**. Rio de Janeiro, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malhas Municipais**, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Informações do município de Santa Maria. **Cidades@**. Rio de Janeiro, 2023.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DE SANTA MARIA/RS – IPLAN. **Geoprocessamento e informações**, 2020.

KOWALSKI, L. F.; SILVA, T. M. da; SILVA, V. H. N.; MADIÉRO, E.; RÍSPOLI, I. A. G. Relação entre o albedo e a taxa de evaporação de pavimentos frios com características drenantes. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 9., 2020, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, PLURIS, 2020.

LANDUCHA, M. B. **Índice de vegetação e temperatura da superfície como indicadores do clima urbano de Florianópolis – SC**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

LOPES, E. da S.; NASCIMENTO, D. T. F.; HORA, K. E. R. Influência das variáveis urbanas e ambientais na formação e intensidade das ilhas de calor: estudo de caso para o Setor Bueno

(Goiânia/GO) – 2020. **Sociedade e Território**, Natal, v. 35, n. 3, p. 287-310, 2023.

<https://doi.org/10.21680/2177-8396.2023v35n3ID33842>

MATHEUS, C.; CAETANO, F. D. N.; MORELLI, D. D. de O.; LABAKI, L. C. Desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudeste brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 71–81, 2015. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100061>

MEILI, N.; MANOLI, G.; BURLANDO, P.; CARMELIET, J.; CHOW, W. T. L.; COUTTS, A. M.; ROTH, M.; VELASCO, E.; VIVONI, E. R.; FATICHI, S. Tree effects on urban microclimate: Diurnal, seasonal, and climatic temperature differences explained by separating radiation, evapotranspiration, and roughness effects. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 58, p. 126970, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126970>

MENDES, J. V.; ARMOND, N. B.; SILVA, L. C. B. da. Ilhas de calor urbanas de superfície, ondas de calor e de frio no município do Rio de Janeiro – RJ (2015 - 2019). **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 30, 2022.

<https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.14908>

MOHAJERANI, A.; BAKARIC, J.; JEFFREY-BAILEY, T. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. **Journal of Environmental Management**, v. 197, n. 197, p. 522–538, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>

MORO, C.; BRINCO, L. A. da S.; WERLANG, M. K. Variações da Temperatura de Superfície Terrestre de dois bairros de Santa Maria, RS, e a percepção climática dos residentes. **Revista Mirante**, v. 19, n. 1, p. 137-156, 2026.

MORO, C.; BRINCO, L. A. da S. B. Relação entre Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em dois bairros de Santa Maria, RS. **Estudos Geográficos (UNESP)**, v. 23, p. 1-23, 2025.

MORO, C.; BRINCO, L. A. da S.; WERLANG, M. K. Análise das variáveis climáticas e ambientais nas regiões geográficas intermediárias do Rio Grande do Sul. **Revista Mirante**, v. 18, p. 137-158, 2025.

NASA. **About MODIS**. MODIS Web, [s.d.].

NORAT, M. S. L. Mudanças climáticas e seus impactos: contextualização, evidências e desafios para a sustentabilidade. **Scientia et Ratio**, n. 4, 2023.

OLIVEIRA, W. F. de; MENDES, L. P. de O.; PIMENTA, L. J. L.; SANTOS NETO, A. J. dos; CUSTÓDIO, G. C. A.; PIMENTA, S.; BARBOSA, A. K. P.; RIBEIRO, J. C.; VALE, A. M. P. de B. do. VegIndex: rotina computacional de código-fonte aberto do *Google Earth Engine* para análise espaço-temporal de índice de vegetação. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 7, 2024. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n7-213>

OLIVEIRA, E. L. de A.; RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. de S. Modificações na morfologia dos canais de drenagem da bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria/RS. **Ra'e Ga: o Espaço Geográfico em Análise**, v. 11, 2006.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA – IPCC. Mudança do clima 2023: Relatório Síntese, 2023.

PARANHOS FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; PESSI, D. D.; GAMARRA, R. M.; SILVA, N. M. da; RIBEIRO, V. de O.; CHAVES, J. R. **Geotecnologias para aplicações ambientais**. Maringá: Uniedusul, 2021. <https://doi.org/10.29327/527680>

PESSI, D. D.; PIMENTEL, C. F.; CÂNDIDO, A. K. A. A.; MIRANDA JUNIOR, P. L.; SILVA, N. M. da. Análise da relação entre NDVI e a temperatura da superfície terrestre como técnica no planejamento urbano dos municípios. **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v. 13, n. 3, p. 237-251, set./dez. 2019. <https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.13i3.0016>

PORANGABA, G. F. O.; AMORIM, M. C. de C. T. Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 2041-2050, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.6.p2041-2050>

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QUAST, B. **A variação da temperatura de superfície terrestre no perímetro urbano da sede municipal de Castro (PR) e seu entorno entre 2014 e 2023**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2024.

RIBEIRO, K. F. A.; VALIN JUNIOR, M. de O.; CHEGURY, J. Q. B. de M.; SANTOS, F. M. de M.; RODRIGUES, T. R.; CURADO, L. F. A.; NOGUEIRA, J. de S. Efeito do sombreamento arbóreo na temperatura superficial e no fluxo de energia em diferentes coberturas urbanas em Cuiabá-MT. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p.183-204, 2018. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-8>

RIGHI, E.; HERRMANN, P. B.; COSTA, F. S.; ANDRADES FILHO, C. O. *Google Earth Engine*: uma análise bibliométrica da produção científica. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 43, p. 62-77, 2024.

ROMERO, M. A. B.; BAPTISTA, G. M. de M.; LIMA, E. A. de; VIANNA, E. O.; WERNECK, D. R.; SALES, G. de L. **Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas**. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2019.

ROSS, J. L. S. As Unidades Morfoesculturais: uma nova classificação do relevo brasileiro. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 3., 1989, Nova Friburgo. **Anais [...]**. Nova Friburgo, 1989.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington, D.C. Proceedings [...]. Washington, D.C.: NASA, 1974. v. 1, p. 309-317.

SANDALOWSKI, M. C.; JUNGES, M. B. S.; FERNANDES, F. S.; JESSOF, M. S. da F.; COSTA, R. T. da. **O coração do Rio Grande: História e Geografia de Santa Maria**. Santa Maria: UFSM, Pró-Reitoria de Extensão, 2023.

SANTOS, J. de B. G. dos; HACON, S. de S.; NEVES, S. M. A. da S. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e seu uso no estudo da saúde humana: uma revisão de escopo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1115–1144, 2023. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1115-1144>

SANTOS, N. R. Z. dos; TEIXEIRA, I. F. **Arborização de Vias Públicas: Ambiente X Vegetação**. Santa Maria: Pallotti, 2001.

SCHWAAB, J.; MEIR, R.; MUSSETTI, G.; SENEVIRATNE, S.; BURGI, C.; DAVIN, E. L. The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26768-w>

SCROCCARO, M. P.; LIMA, C. de A.; TAVARES, S. F. Coberturas verdes e convencionais e a mitigação das ilhas de calor urbano. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 4, n. 3, p.107-119, 2018. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2018.v4.n3.107-119>

SHINZATO, P. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SILVA, F.; FOLETO, E. M. Rebordo do Planalto Sul-Rio-Grandense (Santa Maria/RS): análise das modificações dos sistemas naturais como subsídio ao planejamento ambiental. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA - SINAGEO, 12., 2018, Crato. **Anais [...]**. Crato: URCA, 2018.

SILVA, J. F. da. **Redes neurais e integração de dados do satélite Sentinel-2 no mapeamento de uso e ocupação do solo**. Especialização (Especialista em Geoprocessamento), Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2016.

SILVA, J. P. L. S. da; RIBEIRO, D. D. de M. Temperatura Superficial Terrestre e NDVI dos bairros da área urbana de Arapiraca – AL: uma análise a partir das estatísticas zonais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 24, n. 92, p. 343–355, 2023. <https://doi.org/10.14393/RCG249264151>

SILVA, R. A. de S. e. **As mudanças no uso e cobertura da terra e sua influência na geração de ilhas de calor urbana da superfície e conforto térmico em João Pessoa, Paraíba**. Dissertação (Mestre em Engenharia Urbana), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. de C.; COSTA JÚNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 63-76, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100006>

SOUZA, J. D. de; SILVA, B. B. da. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM – Landsat 5. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 349-358, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2005000400002>

TOFFOLLI, T. N. de; RODRIGUES JUNIOR, R. de S.; FERREIRA, J. H. D. Padrão Espacial do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) no Município de Campo Mourão/PR. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 4, p. 182-188, 2019. https://doi.org/10.11137/2019_4_182_188

VASCONCELOS, A. L. S.; PIRES, I. C G; FERRÃO, G. E; SIQUEIRA NETO, M. Agricultura e gases de efeito estufa - estudos de casos no Brasil. **Revista Trópica - Ciências agrárias e biológicas**, v. 10, n. 2, 2018.

WAN, Z.; HOOK, S.; HULLEY, G. **MYD11A2 MODIS/Aqua Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid, Version 6.1 [Data set]**. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2021. DOI: 10.5067/MODIS/MYD11A2.061.

WEN, D.; WANG, L.; CAO, Q.; HONG, M.; WANG, H.; BIAN, G. A comparative study of the effects of urban morphology on land surface temperature in Chengdu and Chongqing, China. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77036-y>

WENZEL, T.; GUTIERREZ, G. Desempenho térmico de materiais para coberturas e respectivas influências nas ilhas de calor. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2018.

XAVIER, D. R.; BARCELLOS, C.; FREITAS, C. M. de. Eventos climáticos extremos e consequências sobre a saúde: O desastre de 2008 em Santa Catarina segundo diferentes fontes de informação. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 17, n. 4, p. 273-294, 2014. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC1119V1742014>

YOUNG, A. F.; ROCHA, J. V. Aplicação de índices relativos de vegetação e temperatura para análise das mudanças nos padrões de cobertura vegetal de Curitiba (PR). **Floresta e Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 34-43, 2006.

ZAMBONATO, B.; LIMA, K. F. de S.; LEHR, P. M.; ALBERNARD, R. S. de; GRIGOLETTI, G. de C. Caracterização de zonas climáticas locais na cidade de Santa Maria – Rio Grande do Sul. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 38, n. 2, 2021. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2021.245685>