

TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA EM DUAS CLASSES DE COBERTURA DA TERRA EM SÃO JOÃO DO POLÊSINE, RS, NA ESTAÇÃO DE VERÃO

LAND SURFACE TEMPERATURE AND NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX IN TWO LAND COVER CLASSES IN SÃO JOÃO DO POLÊSINE, RS, DURING THE SUMMER SEASON

CAROLINE MORO

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria (RS)
morocaroline836@gmail.com

LUCIAN ARMINDO DA SILVA BRINCO

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria (RS)
lucianbrinco@gmail.com

MAURO KUMPFER WERLANG

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria (RS)
wermakwer@gmail.com

Resumo: A análise da influência da cobertura da terra sobre a temperatura é importante para entender seus impactos ambientais e urbanísticos, auxiliando no planejamento e ordenamento urbano. Este estudo investiga a relação entre a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*), em duas classes de cobertura da terra no município de São João do Polêsine, RS, de 22 de dezembro de 2023 a 20 de março de 2024, que caracteriza-se como um estudo preliminar, sendo possível propor algumas estratégias de mitigação de TST para o local. A metodologia foi estruturada em três etapas principais: a obtenção dos dados de TST, por meio do produto MODIS MYD11A2; a obtenção dos dados de NDVI, a partir das imagens Sentinel-2; e a análise comparativa entre os dois conjuntos de informações. O processamento foi realizado utilizando a plataforma em nuvem do *Google Earth Engine* (GEE). Para o tratamento dos dados, utilizou-se a abordagem quali-quantitativa. Os resultados demonstram uma relação inversa entre TST e NDVI, indicando que áreas com maior cobertura vegetal apresentam temperaturas mais baixas do que regiões urbanizadas. A média da TST na área urbana foi de 31,8°C, enquanto na vegetação arbórea foi de 28,9°C. Em contraste, o NDVI da área urbana foi de 0,46 e o da vegetação arbórea 0,48. Conclui-se que integrar o comportamento da TST e do NDVI no planejamento urbano é necessário para promover estratégias sustentáveis. A adoção de materiais adequados e o investimento em arborização podem melhorar a qualidade de vida, o conforto térmico e a saúde da população, mesmo em municípios de pequeno porte como o analisado.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. *Google Earth Engine*. Cobertura da terra. Infraestrutura verde.

Abstract: The analysis of the influence of land cover on temperature is important for understanding its environmental and urban impacts, supporting urban planning and land management. This study investigates the relationship between Land Surface Temperature (LST) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in two land cover classes in the municipality of São João do Polêsine, RS, from December 22, 2023 to March 20, 2024. It is characterized as a preliminary study, allowing the proposal of some LST mitigation strategies for the area. The methodology was structured in three main stages: obtaining LST data through the MODIS MYD11A2 product; obtaining NDVI data from Sentinel-2 imagery; and performing a comparative analysis between the two datasets. Processing was carried out using the *Google Earth Engine* (GEE) cloud platform. A quali-quantitative

approach was used for data treatment. The results show an inverse relationship between LST and NDVI, indicating that areas with greater vegetation cover exhibit lower temperatures than urbanized regions. The average LST in the urban area was 31.8°C, while in the tree-covered vegetation it was 28.9°C. In contrast, the NDVI for the urban area was 0.46, and for the tree-covered vegetation it was 0.48. It is concluded that integrating the behavior of LST and NDVI into urban planning is necessary to promote sustainable strategies. The adoption of appropriate materials and investments in urban afforestation can improve quality of life, thermal comfort, and public health, even in small municipalities such as the one analyzed.

Keywords: Remote sensing. Google Earth Engine. Land cover. Green infrastructure.

Introdução

As mudanças na cobertura da terra influenciam diretamente as condições climáticas, impactando a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) (SOUSA; SILVA; SILVA, 2016). No contexto atual de mudanças climáticas e aumento da frequência de eventos extremos, especialmente no Rio Grande do Sul, onde recentemente foram registradas inundações e ondas de calor mais recorrentes e prolongadas, compreender a dinâmica térmica urbana torna-se ainda mais relevante. Em áreas urbanizadas, essas alterações contribuem para a formação de ilhas de calor e afetam o microclima, prejudicando a qualidade ambiental, a saúde, o bem-estar e o conforto térmico da população (SILVA, 2020). A TST, por sua vez, reflete a interação entre a radiação solar e as características do solo, como a presença ou ausência de cobertura vegetal, que regulam a absorção e dissipação de calor, influenciando diretamente o microclima local e o conforto térmico urbano (RIBEIRO *et al.*, 2018; SANTOS, 2018).

A relação entre a TST e a vegetação constitui um tema recorrente em pesquisas científicas. Estudos como os de Costa, Bezerra e Oliveira (2016) e Oliveira *et al.* (2013) demonstram como as alterações no uso da terra e a verticalização urbana contribuem para o aumento da TST e para a formação de ilhas de calor. Ambos os estudos ressaltam que ambientes com maior cobertura vegetal apresentam temperaturas mais amenas em comparação com áreas que possuem menor arborização e elevada concentração de superfícies construídas e impermeabilizadas. Essas transformações impactam no conforto térmico humano.

Gobo *et al.* (2015) ressaltam que toda a faixa central do Rio Grande do Sul (RS), onde a área de estudo deste trabalho está situada, assim como o oeste do estado e porção litorânea, cuja altitude não passa de 300 metros, o padrão de conforto térmico ficou entre 22°C e 25°C no zoneamento do verão. Cabe destacar que o valor foi encontrado pelos autores em clima subtropical. No entanto, diferentes condições interferem no conforto térmico, envolvendo desde

as diferentes características ambientais no qual os sujeitos estão inseridos até o sexo, a idade, a altura, por exemplo, de cada ser humano. Portanto, embora haja um consenso de temperatura média, deve-se entender o conforto como algo também subjetivo.

Nesse sentido, a presença da vegetação é importante para a regulação térmica das superfícies, reduzindo a absorção de calor e mitigando o efeito das ilhas de calor urbano (ARAÚJO; BELCHIOR; VIEGAS, 2016; SILVA, 2023; YU; HIEN, 2006). O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*) é um dos métodos para quantificar a presença e a densidade da vegetação em uma determinada área. Assim, é possível, posteriormente, avaliar a influência do NDVI sobre a TST.

Lombardo (1985) destaca que as ilhas de calor resultam das transformações energéticas no interior das cidades, influenciadas sobretudo pelas estruturas verticais, pelo padrão cromático e pelos materiais de construção, além da redução dos mecanismos naturais de resfriamento. Mendonça e Monteiro (2003) acrescentam que a temperatura do ar em ambientes urbanos está diretamente relacionada às modificações no balanço de energia e ao uso e ocupação do solo. Para Amorim (2000), esses efeitos evidenciam a importância do planejamento urbano e da gestão territorial na mitigação das ilhas de calor. Nessa mesma linha, estudos recentes como os de Cola, Lopes e Bazan (2017), Fialho e Santos (2021) e Oliveira *et al.* (2025) indicam que existe uma relação inversa entre TST e NDVI, ou seja, as áreas com maior cobertura vegetal tendem a apresentar temperaturas mais amenas, enquanto áreas com menor vegetação tendem a apresentar temperaturas mais elevadas.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a relação entre a TST e o NDVI em duas classes de uso da terra no município de São João do Polêsine, RS, durante o verão de 2023, bem como propor estratégias de mitigação da TST com base nos resultados obtidos. Este estudo se caracteriza como preliminar, pois o mais adequado, sobretudo por se tratar de um trabalho na área da Climatologia, seria ter dois ou mais verões para serem analisados. Contudo, tal investigação, que poderá ser aprofundada em pesquisas futuras, permite, nesse primeiro momento, analisar a relação entre TST e NDVI, algo que é necessário na Ciência Geográfica, especialmente diante de um contexto de eventos climáticos extremos e mudanças climáticas.

Para a análise da relação entre a TST e o NDVI, este estudo utilizará o *Google Earth Engine* (GEE), uma plataforma gratuita de computação em nuvem. O GEE utiliza a linguagem

de programação *Javascript* e oferece acesso a diversas coleções de imagens de sensoriamento remoto, como as do sensor MODIS, Landsat e do Sentinel (BERRA *et al.*, 2024; SANTOS; SILVA, 2023). Isso possibilita a extração e análise de informações sobre a TST, o NDVI e a dinâmica da cobertura da terra, posteriormente analisando suas influências no clima urbano. Suas principais vantagens incluem a capacidade de processamento rápido, custo relativamente baixo, e a integração de múltiplos conjuntos de dados sem a necessidade de armazenamento local (BERRA *et al.*, 2024; CARVALHO; MAGALHÃES FILHO; SANTOS, 2021; SANTOS; SILVA, 2023).

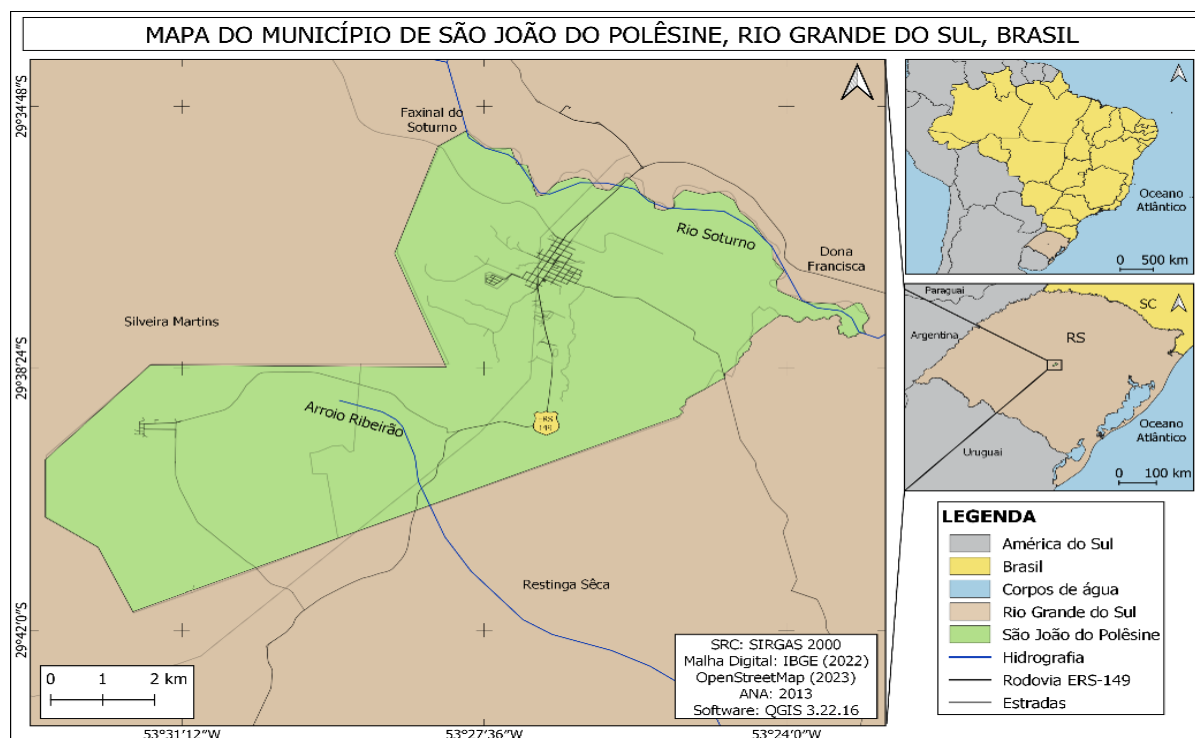
A escolha do município de São João do Polêsine como área de estudo justifica-se por ele ser um município de pequeno porte do interior do estado, característica que instiga o entendimento dos efeitos da cobertura da terra sobre a TST. A escolha do período analisado se deve ao fato de esse ser o período que apresenta as maiores temperaturas do ano, evidenciando com maior clareza as diferenças térmicas entre áreas vegetadas e urbanizadas. Outra justificativa é a necessidade de incentivar futuras tomadas de decisão e estratégias de planejamento e ordenamento urbano sustentáveis, mesmo em uma cidade de pequeno porte, como é o caso de São João do Polêsine. Além disso, a utilização do GEE como ferramenta de análise geoespacial representa um diferencial metodológico, permitindo o processamento de grandes volumes de dados de sensoriamento remoto e a obtenção de resultados com maior precisão e rapidez.

Descrição da área de estudo

O município de São João do Polêsine está localizado na região central do estado do RS, conforme se apresenta na figura 1. Ele é um dos municípios pertencentes ao Geoparque Quarta Colônia, reconhecido pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). Sua integração ao Geoparque Quarta Colônia reforça a importância para o turismo ecológico e histórico, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região. O município possui uma área territorial de 78,320 km² e uma população de 2.649 habitantes (IBGE, 2022a; 2023). Nesse município, o setor primário, ou seja, o agrícola, é predominante. Por isso, ele apresenta uma pequena área urbanizada.

A população de São João do Polêsine apresenta características típicas de municípios pequenos do interior gaúcho. De acordo com Nascimento (2021), o IBGE classifica como municípios de Porte Pequeno I aqueles que apresentam até 20 mil habitantes. A economia local é baseada na agropecuária. Os principais cultivos agrícolas na unidade territorial em estudo são o arroz e a soja, com 14.040 e 1.680 toneladas produzidas no ano de 2023 respectivamente (IBGE, 2023). Já a pecuária se destaca, especialmente a criação de gado de corte e a avicultura (IBGE, 2023). No setor de serviços, o município conta com comércios locais, pequenas indústrias de beneficiamento agrícola e empreendimentos ligados ao turismo, como pousadas e restaurantes rurais.

Figura 1 – Localização do Município de São João do Polêsine em relação ao RS e ao Brasil.



Fonte: Adaptado do IBGE (2022b).

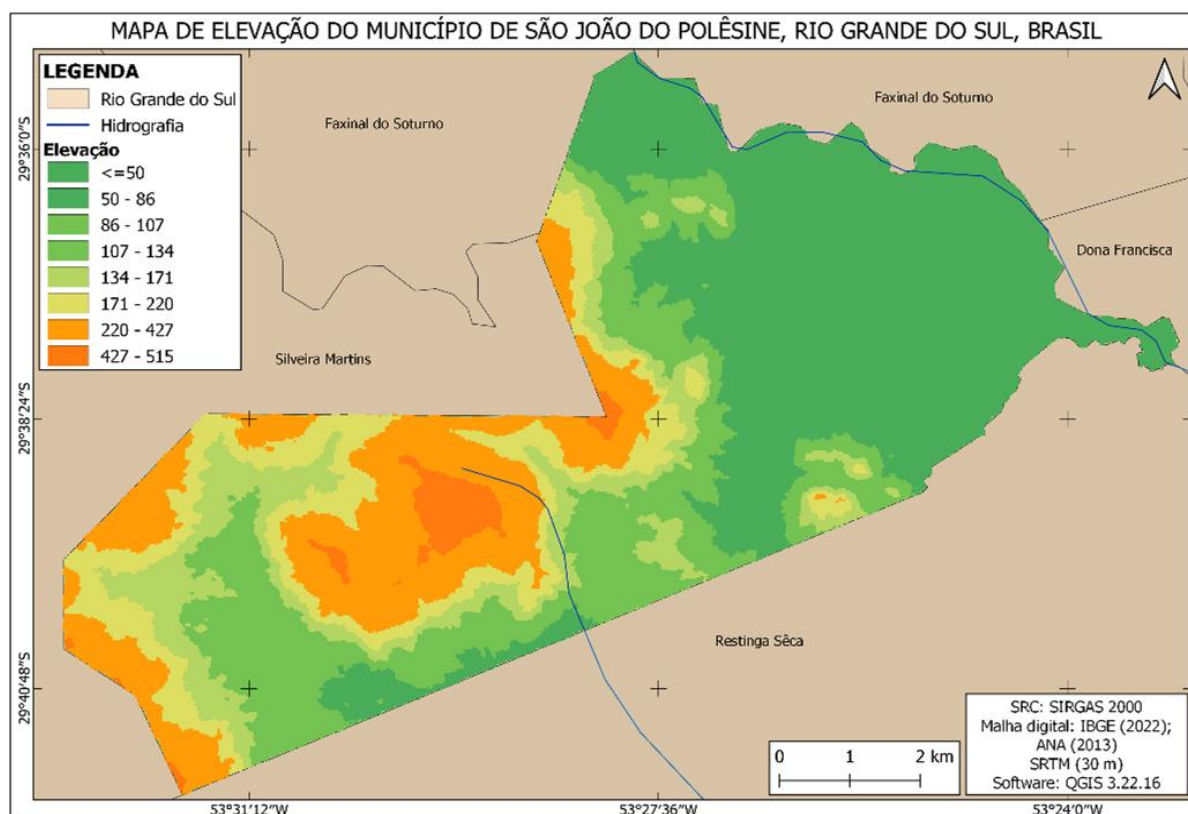
São João do Polêsine está inserido em uma região de relevante biodiversidade, com remanescentes de Mata Atlântica, concentrada principalmente nas maiores altitudes. O município faz parte da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA, 2025). O Rio Soturno, destacado na Figura 1, é importante para o lugar, percorrendo a porção norte do seu território de maneira horizontal e é importante no cultivo do arroz irrigado sob inundação. O clima é classificado como subtropical

úmido (*Cfa*, segundo *Köppen*), caracterizado por verões quentes e chuvas distribuídas ao longo do ano (VALÉRIO *et al.*, 2018). A temperatura média anual mínima é em torno de 14°C e a máxima é de 25°C, já a precipitação média anual é de 1.700 mm (PEDRON *et al.*, 2006).

O município de São João do Polêsine apresenta uma topografia bastante diversificada, marcada por variações altimétricas que influenciam diretamente os usos da terra e os processos naturais (PEDRON *et al.*, 2006). Na figura 2, o mapa de elevação do município de São João do Polêsine permite visualizar altitudes que vão de ≤ 50 até mais de 500 metros.

A morfologia do relevo do município de São João do Polêsine é resultado de sua posição de transição entre áreas de planície e formações de relevo colinoso, característico da Depressão Central e das bordas do Planalto Meridional (PEDRON *et al.*, 2006). Esses desníveis afetam o escoamento superficial, a distribuição da vegetação e a aptidão agrícola das terras, sendo, portanto, um elemento para a compreensão da organização do território (PEDRON *et al.*, 2006).

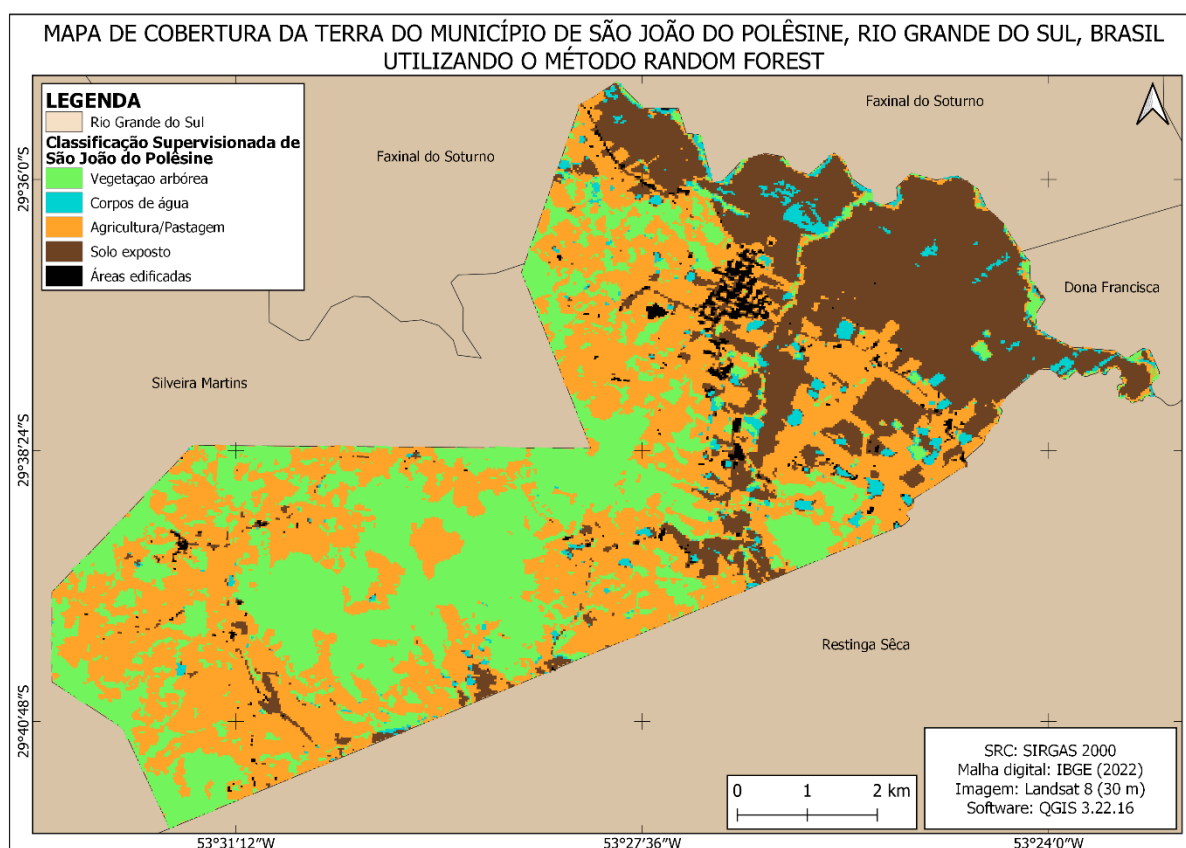
Figura 2 – Mapa de elevação do município de São João do Polêsine.



Fonte: Adaptado IBGE (2022b).

A cobertura da terra de São João do Polêsine reflete uma combinação entre atividades antrópicas, como a agropecuária, e áreas com cobertura vegetal nativa, influenciadas por fatores naturais como relevo, solos e proximidade de corpos d'água. O município está fortemente atrelado à agricultura e apresenta, historicamente, um padrão de uso da terra voltado para o cultivo do arroz sob inundação. Na figura 3, apresenta-se o mapa¹ de uso da terra do Município.

Figura 3 – Mapa de cobertura da terra do município de São João do Polêsine.



Fonte: Adaptado IBGE (2022b).

¹ O mapa de cobertura da terra foi elaborado utilizando o método de classificação supervisionada *Random Forest*, implementado na plataforma do GEE. Foram processadas imagens do satélite Landsat 8 com resolução espacial de 30 metros, cobrindo o período de 2016 a 2024, com filtro de cobertura de nuvens inferior a 10%. O processamento incluiu a aplicação de máscaras de nuvens e saturação, correções radiométricas das bandas ópticas e térmicas, e o cálculo de índices espectrais (NDVI, EVI, NDWI, NDWI_VEG e MNDWI) para melhor discriminação das classes de uso do solo. Foram coletadas amostras de treinamento para cinco classes: vegetação arbórea, corpos de água, cultivos agrícolas, solo exposto e áreas edificadas, com até 1.000 amostras por classe. O conjunto de dados foi dividido em 70% para treinamento e 30% para validação. O classificador *Random Forest* foi configurado com 1.000 árvores de decisão, e a acurácia do modelo foi avaliada através da matriz de confusão, coeficiente *Kappa* e acurácias do produtor e do consumidor.

Nota-se no mapa da Figura 3 que a categoria predominante é a de agricultura/pastagem (laranja), distribuída principalmente no centro-sul do território, em áreas de relevo mais suave. A vegetação arbórea (verde-claro), por sua vez, aparece em porções mais fragmentadas, com maior presença nas encostas e maiores elevações em comparação com o mapa da Figura 2, e, muitas vezes, próximas de corpos hídricos. As áreas edificadas (vermelho) concentram-se principalmente nos núcleos urbanos, enquanto os corpos d'água (azul) estão mais evidentes no nordeste do município, em áreas de menor altitude. Também se destacam manchas de solo exposto (marrom), que estão associadas principalmente a atividades agropecuárias de soja e arroz que foram colhidas recentemente. A sobreposição entre relevo e uso da terra permite compreender como os fatores físicos e humanos se articulam na formação da paisagem local.

Metodologia

A metodologia deste estudo foi estruturada em três etapas principais: a obtenção dos dados de TST, a obtenção dos dados do NDVI e a análise comparativa entre esses dois conjuntos de informações. A análise dos dados foi realizada por meio de uma abordagem quali-quantitativa. Ademais, a presente pesquisa foi conduzida utilizando a plataforma em nuvem do GEE, que permitiu a aquisição, o processamento e, posteriormente, a análise dos dados. A partir dessas informações, foram gerados gráficos no *Planilhas Google* para visualização e comparação das tendências temporais e as relações entre a TST e o NDVI nas diferentes áreas estudadas.

Para a análise da TST, utilizou-se a coleção de imagens “MODIS/061/MYD11A2”, que corresponde ao produto MYD11A2 do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) que pertence ao satélite Aqua e Terra (ANDRADE, 2019; CORRÊA *et al.*, 2016). Este produto fornece dados de TST com uma resolução espacial de 1 km e uma composição temporal de 8 dias, permitindo a obtenção de valores médios para um período definido (ANDRADE, 2019; CORRÊA *et al.*, 2016; YAMAMOTO *et al.*, 2017).

As imagens utilizadas correspondem ao período diurno, com horário de passagem do satélite Aqua durante a tarde, momento em que as temperaturas de superfície atingem seus valores máximos diários (ALVES, 2009). A escolha do período diurno justifica-se por proporcionar maior contraste térmico entre diferentes coberturas da terra, evidenciando com

maior clareza o efeito da vegetação na regulação térmica. O intervalo de estudo foi estabelecido entre 22 de dezembro de 2023 a 20 de março de 2024, abrangendo a estação do verão no hemisfério sul do planeta. Esse período de estudo foi selecionado porque o verão apresenta valores mais nítidos das diferenças de temperatura em diferentes situações de uso da terra.

As áreas de estudo foram definidas com base em duas classes de cobertura da terra: vegetação arbórea e área urbana. Essas áreas foram delimitadas por meio de geometrias realizadas manualmente no GEE e identificadas como “Area_01” (Vegetação arbórea) e “Area_02” (Urbano). A escolha apenas dessas duas classes de cobertura da terra foi fundamentada no objetivo central do estudo, que é compreender a influência da cobertura vegetal na modulação da TST no município de São João do Polêsine. A vegetação arbórea promove a regulação térmica do ambiente, promovendo sombreamento, maior umidade e processos de evapotranspiração que tendem a reduzir a temperatura superficial (MARTINI; BIONDI, 2015; OLIVEIRA, 2021; SHINZATO; DUARTE, 2018; SOUSA *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2019). Por outro lado, áreas urbanas, caracterizadas pela presença de edificações e pavimentações, frequentemente compostas por materiais que acumulam e irradiam calor, contribuem para o aumento da TST (PINHEIRO; LARANJEIRA, 2023; PIRANI *et al.*, 2023; SILVA, 2020). Assim, a análise comparativa entre essas duas classes permite evidenciar, de forma mais direta, os contrastes térmicos e os efeitos da cobertura vegetal na mitigação das temperaturas elevadas, justificando a delimitação metodológica adotada.

Vale ressaltar que a área de estudo abrangeu todo o município de São João do Polêsine, com a delimitação das amostras baseada nas duas classes de cobertura da terra. Em vista disso, as amostras da classe “área urbana” foram coletadas no espaço urbano da cidade, onde, embora existam árvores, elas se apresentam de forma esparsa e em menor quantidade, geralmente distribuídas de maneira pontual entre edificações e vias pavimentadas. Por outro lado, para a classe 'vegetação arbórea', foram selecionadas áreas com grandes porções contínuas e homogêneas de cobertura vegetal, priorizando-se aquelas situadas em regiões de maior elevação no município, onde, geralmente, concentram-se as formações arbóreas, conforme evidenciado nas Figuras 2 e 3.

As imagens foram filtradas espacialmente para cada uma dessas áreas e, em seguida, um fator de escala foi aplicado para converter os valores de temperatura do MODIS,

originalmente fornecidos em *Kelvin*, para graus *Celsius*. O cálculo foi realizado por meio da fórmula (YAMAMOTO *et al.*, 2017):

$$TST (^{\circ}C) = (LST \text{ em } Kelvin \times 0,02) - 273,15$$

Nesse sentido, “LST” representa os valores originais da banda “LST_Day_1km” do produto MODIS, 0,02 é o fator fornecido na descrição do produto e $-273,15$ é o valor absoluto da temperatura em *Kelvin* (PRINA; TRENTIN, 2020; YAMAMOTO *et al.*, 2017). A série temporal de TST foi extraída e processada para cada área de estudo, utilizando o redutor de média, a fim de obter valores representativos de temperatura ao longo do período analisado.

Para a análise do NDVI, foi utilizada a coleção de imagens “COPERNICUS/S2”, que corresponde aos dados do sensor Sentinel-2. Esta coleção fornece imagens com alta resolução espacial (10 metros) e um ciclo de (re)visita de aproximadamente 5 dias. O período de estudo para o NDVI foi o mesmo estabelecido para a TST, abrangendo de 22 de dezembro de 2023 a 20 de março de 2024.

Para minimizar a influência da presença de nuvens, foi aplicada uma filtragem nas imagens, selecionando apenas aquelas com porcentagem de cobertura de nuvens inferior a 20% (GOOGLE EARTH PRO, 2025). O NDVI foi calculado a partir das bandas do Sentinel-2 por meio da equação:

$$NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4)$$

Nesse caso, o “B8” representa a banda do infravermelho próximo (NIR) e “B4” a banda do vermelho (*Red*) (PESSI *et al.*, 2019). O resultado foi armazenado como uma nova banda nas imagens filtradas, permitindo a extração da série temporal do NDVI para cada uma das áreas de estudo. As médias dos valores de NDVI foram calculadas para cada data e para cada classe de cobertura da terra. O NDVI é um índice que varia de -1 a 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, maior é a densidade de vegetação saudável (PESSI *et al.*, 2019).

Com as séries temporais de TST e NDVI obtidas, foi realizada a análise comparativa entre os dois conjuntos de dados. Os valores extraídos foram organizados e processados no *Planilhas Google*, onde foram gerados gráficos de linha para visualizar a variação dos índices

ao longo do tempo e identificar padrões de correlação entre TST e NDVI em cada classe de cobertura da terra determinada no presente estudo.

Os resultados foram interpretados com base nas diferenças entre duas classes de uso da terra, comparando os efeitos da cobertura vegetal e da superfície urbana na temperatura de superfície terrestre e foram tratados à luz da abordagem quali-quantitativa. Por fim, discutiu-se os achados com estudos anteriores sobre a relação entre a TST e o NDVI e, consequentemente, com o uso da terra.

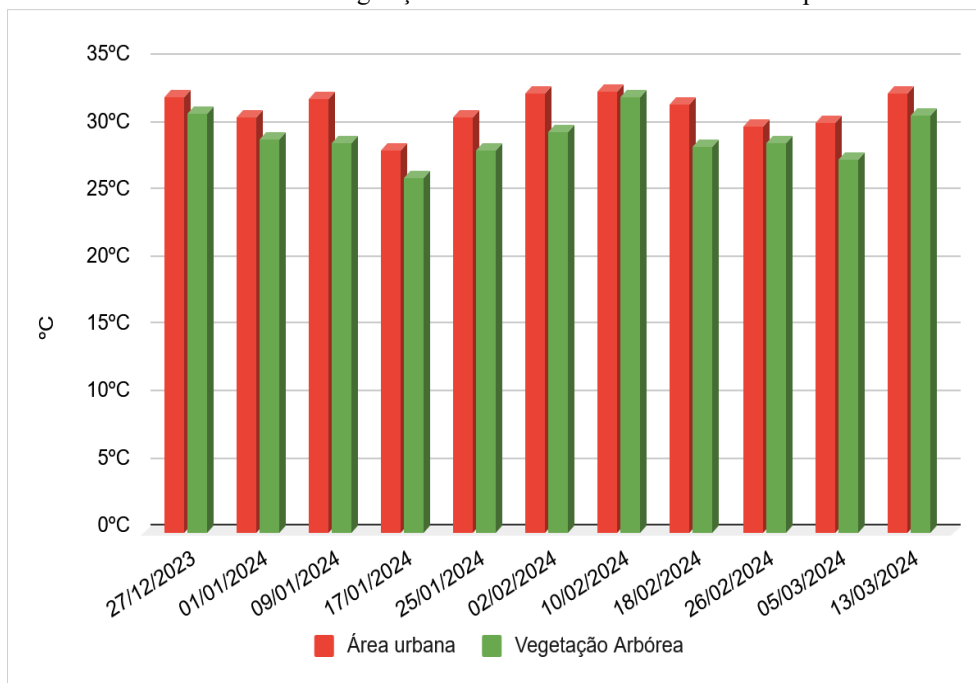
Resultados e discussão

A presente análise concentrou-se na observação da dinâmica térmica superficial associada à cobertura vegetal no município de São João do Polêsine, considerando o período do verão de 2023/2024. Com base na comparação entre diferentes tipos de uso da terra, buscou-se compreender como a variação do NDVI influencia os padrões de TST, com o intuito de subsidiar propostas voltadas à mitigação dos efeitos térmicos observados nas áreas mais impactadas. Os resultados obtidos são apresentados nos gráficos no decorrer deste trabalho.

A figura 4 ilustra, por meio de um gráfico, a variação da TST no período de 27/12/2023 a 13/03/2024. A partir da análise dos dados, foi possível identificar que todos os valores são consistentemente maiores nas áreas urbanas em comparação com as áreas de vegetação arbórea. Essa diferença é mais evidente em datas como 27 de dezembro de 2023 e 01 de janeiro de 2024, quando a TST nas áreas urbanas ultrapassa 30°C, enquanto nas áreas vegetadas se mantém abaixo desse limite. Nesse sentido, a média da TST da classe de área urbana é de 31,8 °C, enquanto a da vegetação arbórea é de 28,9 °C.

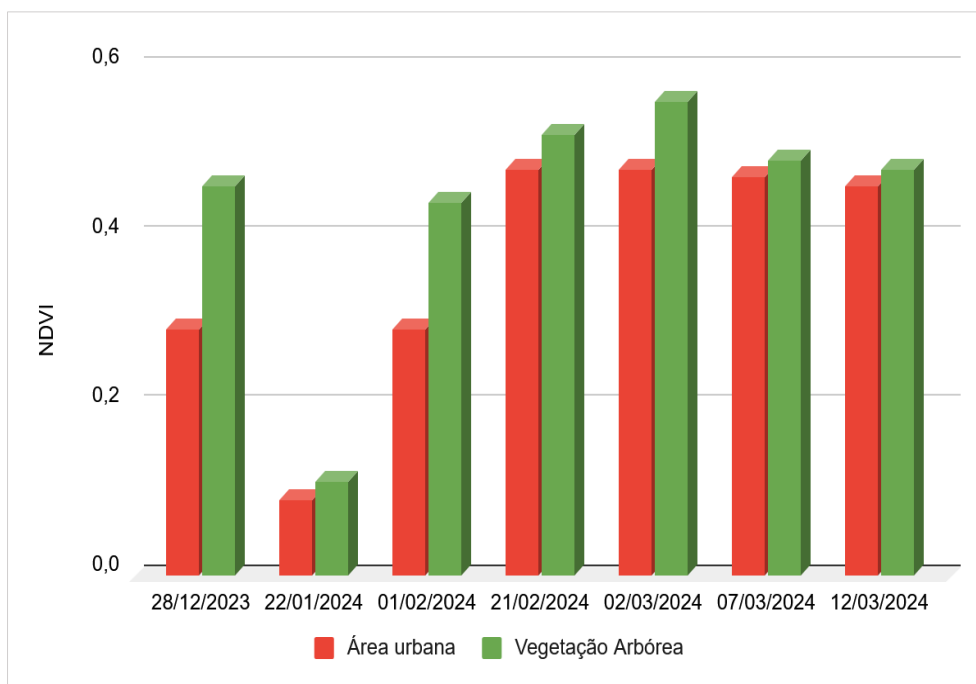
O gráfico da figura 5 exibe a variação do NDVI ao longo do período analisado. Observa-se que as áreas com vegetação arbórea apresentam valores de NDVI sistematicamente mais elevados em comparação com as áreas urbanas. Essa diferença é mais acentuada nos meses iniciais do período, principalmente em 28 de dezembro de 2023 e 01 de fevereiro de 2024, quando os valores de NDVI na classe de vegetação arbórea ultrapassam 0,4, enquanto nas áreas urbanas permanecem abaixo desse valor. Dessa forma, a média dos valores de NDVI da área urbana é de 0,46, enquanto que a da vegetação arbórea é de 0,48.

Figura 4 – Gráfico da TST das classes de vegetação arbórea e áreas urbanas no município de São João do Polêsine.



Fonte: Dos autores (2025).

Figura 5 – Gráfico do NDVI das classes de vegetação arbórea e áreas urbanas no município de São João do Polêsine.



Fonte: Dos autores (2025).

A relação entre TST e NDVI revela um padrão inversamente proporcional, em que valores mais elevados de NDVI estão associados a temperaturas superficiais mais baixas, enquanto temperaturas mais altas possuem menor índice de NDVI, ou seja, menor quantidade de vegetação arbórea. A partir disso, apresenta-se na Tabela 1 a TST e o NDVI das duas classes de cobertura da terra.

A análise da Tabela 1 evidencia uma relação inversa entre os valores de TST e o NDVI nas classes de área urbana e vegetação arbórea em São João do Polêsine, durante o verão de 2023/2024. Observa-se que, nas datas em que os valores de NDVI são mais altos nas áreas de vegetação arbórea (como em 02/03/2024, com NDVI de 0,56), as temperaturas nessas áreas tendem a ser mais amenas, com diferenças de até 3 °C em relação às zonas urbanizadas. Em contrapartida, as áreas urbanas apresentam os menores valores de NDVI, como em 22/01/2024 (0,09), associados a maiores temperaturas, superando frequentemente os 32 °C, como em 27/12/2023 e 10/02/2024. Esses dados confirmam a importância da vegetação na mitigação das temperaturas superficiais, reforçando a influência da cobertura vegetal na regulação térmica urbana.

Tabela 1 – Comparação entre a TST e o NDVI nas classes de área urbana e vegetação arbórea no município de São João do Polêsine.

Data	TST (°C) – Área Urbana	NDVI – Área Urbana	TST (°C) – Vegetação Arbórea	NDVI – Vegetação Arbórea
27/12/2023	32,3	-	31,1	-
28/12/2023	-	0,29	-	0,46
01/01/2024	30,9	-	29,2	-
09/01/2024	32,2	-	28,9	-
17/01/2024	28,4	-	26,4	-
22/01/2024	-	0,09	-	0,11
25/01/2024	30,8	-	28,4	-
01/02/2024	-	0,29	-	0,44
02/02/2024	32,6	-	29,7	-
10/02/2024	32,8	-	32,4	-
18/02/2024	31,8	-	28,7	-
21/02/2024	-	0,48	-	0,52
26/02/2024	30,2	-	28,9	-
02/03/2024	-	0,48	-	0,56
05/03/2024	30,4	-	27,7	-
07/03/2024	-	0,47	-	0,49
12/03/2024	-	0,46	-	0,48
13/03/2024	32,6	-	31,0	-

Fonte: Extraído do GEE (2025).

Em vista disso, nos estudos de Aires e Bezerra (2021), Borges e Batista (2020), Oliveira (2022) e Vilhena (2024) também é evidenciado que a TST e o NDVI são inversamente proporcionais. Assim, esse padrão nos resultados reforça que a vegetação influencia no conforto térmico e na regulação térmica do ambiente, uma vez que a cobertura vegetal reduz a absorção de radiação solar, proporciona sombreamento e favorece processos de evapotranspiração, resultando em temperaturas mais amenas e aumento da umidade do ar (MARTINI; BIONDI, 2015; OLIVEIRA, 2021; SHINZATO; DUARTE, 2018; SOUSA *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2019). Desse modo, para que o município de São João do Polêsine possua uma melhor qualidade ambiental é necessário manter a cobertura vegetal intacta e investir no reflorestamento, sobretudo com o plantio de espécies endêmicas.

Além da cobertura da terra, a elevação também influencia nos padrões de temperatura e vegetação em São João do Polêsine. A análise altimétrica realizada com base na Figura 2 indica que o município apresenta variações de altitude que vão de aproximadamente 50 m até mais de 400 m nas áreas mais elevadas. As áreas com maior elevação se encontram especialmente em direção ao município de Silveira Martins, ou seja, localizam-se no sudoeste do município. Nessas zonas de maior altitude predominam áreas com vegetação arbórea, o que se reflete em NDVI mais alto e TST mais amena, principalmente devido à menor densidade urbana e maior cobertura florestal. O relevo colinoso dificulta as habitações e cultivos agrícolas ou pastagem, contribuindo para a manutenção de áreas vegetadas.

As áreas urbanizadas, com pouca cobertura vegetal e materiais de alta capacidade de armazenamento de calor, apresentam temperaturas mais elevadas, contribuindo para o agravamento do efeito de ilha de calor urbano (PINHEIRO; LARANJEIRA, 2023; PIRANI *et al.*, 2023; SILVA, 2020). Essa tendência é evidenciada ao comparar a TST e o NDVI entre diferentes porções das classes de cobertura da terra no município de São João do Polêsine.

Nesse âmbito, as soluções ecoeficientes podem ser um aliado na mitigação do aumento da TST em áreas urbanas. A expansão da infraestrutura verde, por meio da criação de parques urbanos, corredores ecológicos, áreas de preservação permanente, floresta urbana, áreas verdes públicas e telhados verdes, traz efeitos microclimáticos, favorece a infiltração da água no solo e reduz a temperatura por meio da evapotranspiração, contribuindo para um ambiente urbano mais equilibrado (SANTOS, 2023; YOSHIDA, 2022). Além disso, a adoção de materiais sustentáveis na construção civil, como pavimentos permeáveis e pintados com cores claras,

minimiza a absorção de calor, reduzindo a formação de ilhas de calor (MARUYAMA, 2020; PIRANI *et al.*, 2023). Além disso, a recomposição da vegetação arbórea é importante, pois o município enfrentou recentemente em abril/maio de 2024 uma inundação que fez com que porções de cobertura vegetal fossem levadas pela correnteza da água (RIO GRANDE DO SUL, 2024).

A arborização urbana estratégica também se apresenta como uma solução eficaz, pois o plantio de árvores em vias públicas e ao redor de edificações proporciona sombra, reduz a incidência direta da radiação solar e aumenta a umidade relativa do ar, criando microclimas mais amenos e contribuindo para ambientes mais confortáveis termicamente e com melhor qualidade ambiental (MARTINI; BIONDI; BATISTA, 2018; SCHUCH, 2006). Em vista disso, torna-se necessário que políticas públicas sejam implementadas para auxiliar na implementação de arborização de forma estratégica no município de São João do Polêsine.

Outra estratégia importante é o incentivo à agricultura urbana e o plantio de árvores frutíferas, que, além de promover segurança alimentar aos residentes, é relevante na regulação climática ao aumentar a cobertura vegetal em áreas urbanizadas (MARQUES *et al.*, 2024; PESSOA; SOUZA; SCHUCH, 2006). Assim, a adoção dessas medidas pode contribuir para a mitigação do aumento da TST e dos impactos das mudanças climáticas no ambiente urbano. Ademais, o presente estudo reforça a necessidade de iniciativas de planejamento e ordenamento urbano em São João do Polêsine que promovam a ampliação de áreas verdes, visando a melhoria da qualidade ambiental e do conforto térmico em centros urbanos.

Considerações finais

Este estudo contribui para a compreensão da relação entre TST e cobertura vegetal em um município de pequeno porte do Rio Grande do Sul, contexto ainda incipiente na literatura brasileira sobre clima urbano. Enquanto a maioria das pesquisas concentra-se em cidades grandes e médias, os resultados apresentados no presente trabalho evidenciam que mesmo em cidades de pequeno porte e com forte influência rural e menor densidade construtiva, como São João do Polêsine, observam-se diferenças térmicas entre áreas urbanizadas e vegetadas.

As análises realizadas demonstraram uma relação inversa considerável entre a TST e o NDVI no município de São João do Polêsine, com diferença média de 2,9°C entre áreas urbanas

(31,8°C) e vegetação arbórea (28,9°C) durante o verão de 2023/2024. Esses valores, embora numericamente menores que os observados em grandes centros urbanos, são significativos. Isso demonstra que a presença de cobertura vegetal proporciona a regulação térmica do ambiente urbano, visto que maiores valores de NDVI estiveram associados a menores temperaturas. Dessa forma, os resultados obtidos demonstraram que a classe de cobertura da terra de áreas urbanizadas apresenta temperaturas mais elevadas em comparação com as áreas de vegetação arbórea presentes no município de São João do Polêsine.

A principal contribuição metodológica deste trabalho reside na demonstração da aplicabilidade do GEE para estudos de clima urbano, permitindo processamento gratuito e ágil de dados de sensoriamento remoto. A plataforma mostrou-se adequada para integração de dados MODIS e Sentinel-2, viabilizando análises que tradicionalmente demandariam infraestrutura computacional mais robusta. Isso proporcionou uma visualização clara e objetiva das tendências térmicas e da dinâmica da vegetação ao longo do período estudado.

Os achados reforçam a importância de políticas públicas, estratégias urbanas e planejamento urbano sustentável que incentivem a manutenção e a expansão da infraestrutura verde nas áreas urbanas de São João do Polêsine. É importante, por exemplo, a implementação de parques urbanos, corredores ecológicos e o uso de paredes ou telhados verdes como medidas mitigadoras do aumento de temperatura, o que melhora a regulação térmica. Essas medidas trazem benefícios para a saúde, conforto térmico e bem-estar da população. A incorporação de materiais sustentáveis na construção civil também é solução viável para a melhoria dessas questões ambientais.

Ademais, estudos futuros podem aprofundar essa investigação, considerando a influência de fatores climáticos como a umidade relativa do ar e a precipitação na relação entre NDVI e TST, bem como a eficiência das soluções ecoeficientes mencionadas na presente pesquisa. A continuidade de estudos nesta temática, com a incorporação de novos dados e abordagens metodológicas, é importante para a construção de cidades mais confortáveis termicamente, bem como a melhora da qualidade de vida dos habitantes que vivem tanto no espaço urbano quanto no rural de São João do Polêsine.

Referências

AIRES, A. de A.; BEZERRA, J. M. Mapeamento do índice de vegetação e temperatura de superfície da cidade de Pau dos Ferros-RN. *Revista Tecnologia e Sociedade*, Curitiba, v. 17, n. 48, p. 113-131, jul./set. 2021.

ALVES, G. M. **Análise do modelo linear de mistura espectral aplicado a imagens MODIS para o mapeamento da cultura de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação (Mestre em Sensoriamento Remoto), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

AMORIM, M. C. de C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP.** Tese (Doutorado em Geografia), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ANDRADE, M. D. de. **Avaliação do produto MOD11A2 para o monitoramento da temperatura do dossel florestal em área de Mata Atlântica, Brasil.** Dissertação (Engenharia Agrícola e Ambiental), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

ARAÚJO, A. R.; BELCHIOR, G. P. N.; VIEGAS, T. E. de S. **Os impactos das mudanças climáticas no Nordeste brasileiro.** Fortaleza; São Paulo: Fundação Sintaf; Instituto O Direito por um Planeta Verde, 2016.

BERRA, E. F.; FONTANA, D. C.; YIN, F.; BREUNIG, F. M. Harmonized Landsat and Sentinel-2 Data with Google Earth Engine. *Remote Sensing*, v. 16, 2024.

BORGES, J. C. A.; BATISTA, L. F. A. Índice de vegetação e temperatura de superfície terrestre: comparativo entre formação de ilhas de calor nos perímetros urbanos de Londrina e Maringá no PR. *Revista Brasileira de Geomática*, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 256-274, 2020.

CARVALHO, W. dos S.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; SANTOS, T. L. dos. Uso e Cobertura do solo utilizando a Plataforma Google Earth Engine (GEE): Estudo de caso em uma Unidade de Conservação. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p. 15280-15300, 2021.

COLA, C. C.; LOPES, B. B.; BAZAN, W. S. Uso de imagens do landsat 8 para determinação da correlação entre a temperatura de superfície e o índice de vegetação em municípios da grande Vitória. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA; EXPOSICARTA, 27.; 26., 2017, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: SBC, 2017.

CORRÊA, P. B.; CANDIDO, L. A.; SOUZA, R. A. F. de; ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Estudo do Fenômeno da Ilha de Calor na Cidade de Manaus/AM: Um Estudo a Partir de Dados de Sensoriamento Remoto, Modelagem e Estações Meteorológicas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 2, p. 167-176, 2016.

COSTA, A. M. S. da; BEZERRA, P. E. S.; OLIVEIRA, R. S. de. Análise da temperatura da superfície terrestre associada à dinâmica do uso e ocupação do solo nos municípios de Belém e

Ananindeua, Pará, Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 6., 2016, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: INPE, 2016.

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.

GOBO, J. P. A.; GALVANI, E.; WOLLMANN, C. A.; CELUPPI, M. C. Estudo de zoneamento do conforto térmico humano para o Rio Grande do Sul: a inserção de anos-padrão como proposta metodológica. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 4, set/dez, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRADIA E ESTATÍSTICA. Informações do município de São João do Polêsine. **Cidades@**. Rio de Janeiro, 2022a.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRADIA E ESTATÍSTICA. Informações do município de São João do Polêsine. **Cidades@**. Rio de Janeiro, 2023.

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

MARQUES, L. R.; GONÇALVES, A. M.; BRANDÃO, T. S.; ALMEIDA, T. R. F.; RIGON, A. J.; BUCCO, N. F. dos S.; BRUM, A. A.; BRUM, A. N. A importância da arborização urbana com árvores frutíferas para a qualidade de vida da população. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 7, n. 9, 2024. DOI: 10.34119/bjhrv7n9-384

MARUYAMA, C. M. **Pavimentos brandos para a mitigação das Ilhas de Calor: o caso do Jardim da Luz e seu entorno em São Paulo/SP**. Tese (Doutora em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. A influência das diferentes tipologias de floresta urbana no microclima do entorno imediato. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 3, p. 997-1007, jul.- set., 2018.

MARTINI, A.; BIONDI, D. Microclima e Conforto Térmico de um Fragmento de Floresta Urbana em Curitiba, PR. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 182-193, 2015.

MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. de F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

NASCIMENTO, P. Transparência nos municípios brasileiros: as dimensões porte populacional e região importam? **Revista Sul-Americana de Ciência Política**, v. 7, n. 2, p. 137-156, 2021.

OLIVEIRA, C. M. M. de. **Relação entre vegetação e temperatura da superfície terrestre: uma abordagem baseada em sensoriamento remoto para área urbana de Brasília, DF**.

Tese (Doutor em Ciências Florestais), Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

OLIVEIRA, J. S.; RIBEIRO, A. A.; GAMARRA, R. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Relação entre vegetação urbana e temperatura de superfície através de uma correlação NDVI – LST. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 14, n. 1, 2025. DOI: 10.23900/2359-1552v14n1-28-2025.

OLIVEIRA, N. A. **A influência da cobertura vegetal no conforto térmico urbano em uma região do semiárido Norte Mineiro**. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais), Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2021.

OLIVEIRA, T. H. de; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. de M.; SILVA, B. B. da. Uso e Cobertura do Solo e Seus Efeitos na Distribuição da Temperatura de Superfície em Área Urbana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 1598-1616, 2013.

PEDRON, F. de A.; POELKING, E. L.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. de; KLAMT, E. A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine – RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 105-112, 2006.

PESSI, D. D.; PIMENTEL, C. F.; CÂNDIDO, A. K. A. A.; MIRANDA JUNIOR, P. L.; MATOS DA SILVA, N. Análise da relação entre NDVI e a temperatura da superfície terrestre como técnica no planejamento urbano dos municípios. **Terr@ Plural**, v. 13, n. 3, p. 237–251, 2019.

PESSOA, C. C.; SOUZA, M. de; SCHUCH, I. Agricultura urbana e Segurança Alimentar: estudo no município de Santa Maria – RS. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 23-37, 2006.

PINHEIRO, C. de A.; LARANJEIRA, M. M. Ilha(s) de calor urbano de superfície em territórios de urbanização difusa: o estudo de caso dos municípios de Braga e de Guimarães (Portugal). **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, v. 32, Jan. / Jun. 2023.

PIRANI, L. M.; REZENDE, L. C. S. H.; ZAVASKI, F.; LIZAMA, M. de los A. P. Análise da formação das ilhas de calor sob a perspectiva de diferentes materiais de pavimentação. **Periódico Eletrônico “Fórum Ambiental de Alta Paulista”**, v. 19, n. 04, 2023.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. Análise sobre a temperatura da superfície terrestre com utilização de imagens de satélite. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 37, n. 2, p. 150-161, 2020.

RIBEIRO, K. F. A.; VALIN, 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**, v. 30, n. 1, p. 183-204, 2018.

RIO GRANDE DO SUL. **Impactos das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em maio de 2024**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2024. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/relatorio-sisperdas-evento-enchentes-em-maio-2024.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2025.

SANTOS, R. A. **Cobertura vegetal e a temperatura de superfície no meio intraurbano: um estudo em Salvador**. Dissertação (Mestre em Meio Ambiente, Água e Saneamento), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

SANTOS, I. F. A. dos. **Infraestrutura verde e alterações climáticas: um contributo para a resiliência de Quarteira**. Dissertação (Mestre em Urbanismo Sustentável e Ordenamento do Território), Universidade Nova de Lisboa, 2023.

SANTOS, M. F. G. dos; SILVA, M. A. da. Classificador supervisionado Random Forest, aplicado na plataforma Google Earth Engine. In: ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 15., 2023, Palmas. **Anais [...]**. Palmas: UFT, 2023.

SCHUCH, M. I. S. **Arborização urbana: Uma contribuição à qualidade de vida com uso de geotecnologias**. Dissertação (Mestre em Geomática), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. **G070 - Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí**, 2025. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/g070-bh-baixo-jacui>. Acesso em: 17 fev. 2025.

SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 197-215, abr./jun. 2018.

SILVA, F. D. A. **Ilha de calor urbana: diagnóstico como ferramenta de gestão ambiental urbana para a cidade de Coari (AM)**. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.

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 Civil e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

SOUSA, A. O. de; RIBEIRO, D. S.; SANTOS, C. O. R. dos; JESUS, E. dos S.; PEREIRA JÚNIOR, A. A urbanização, a formação de ilhas de calor e o uso de vegetação para o conforto térmico. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal, v. 12, n. 2, p. 16-22, 2018.

SOUZA, C. M. de; LEITE, L. P.; PERINI, P.; KARMIERCZAK, L. A vegetação urbana a serviço do conforto térmico: uma proposta para um bairro metropolitano de São Paulo, Brasil. **Labor & Engenho**, Campinas, v. 13, p. 1-11, 2019.

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

VALÉRIO, D. A.; TRES, A.; TETTO, A. F.; SOARES, R. V.; WENDLING, W. T. Classificação do estado do Rio Grande do Sul segundo o sistema de zonas de vida de Holdridge. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1776-1788, out.- dez., 2018.

VILHENA, N. dos S. **Análise da temperatura de superfície terrestre e índice de vegetação por diferença normalizada na área urbana de Macapá -AP**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Arquitetura da Paisagem), Universidade Federal Rural da Amazônia, Macapá, 2024.

YAMAMOTO, M. K.; ARAI, E.; SOUZA, A. F.; SHIMABUKURO, Y. E. Variação da tendência da temperatura da superfície terrestre em uma série temporal do sensor MODIS. **REGRASP**, v. 2, n. 4, p. 28-42, 2017.

YOSHIDA, D. F. O. **Infraestrutura verde: efeitos microclimáticos para adaptação à mudança do clima e a saúde das plantas em um cenário de aquecimento urbano**. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

YU, C.; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 105-120, 2006.