UFPE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS

CARLOS ALBERTO DE ASSIS JÚNIOR

MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE COMO FERRAMENTA DE SUPORTE AO ESTUDO DO CLIMA URBANO DE JABOATÃO DOS GUARARAPES-PE

RECIFE

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

GEOGRAFIA BACHARELADO

CARLOS ALBERTO DE ASSIS JÚNIOR

MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE COMO FERRAMENTA DE SUPORTE AO ESTUDO DO CLIMA URBANO DE JABOATÃO DOS GUARARAPES-PE

TCC apresentado ao Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Geografia. Área de concentração: Climatologia Urbana.

Orientador(a): Profa. Dra. Cristiana Coutinho Duarte
Coorientador(a): Profa. Ayobami Badiru Moreira

RECIFE

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Assis Júnior, Carlos Alberto de.
Mapeamento da temperatura de superfície como ferramenta de suporte ao estudo do clima urbano de Jaboatão dos Guararapes-PE / Carlos Alberto de Assis Júnior. - Recife, 2024.
36

Orientador(a): Cristiana Coutinho Duarte
Cooorientador(a): Ayobami Badiru Moreira
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Geografia - Bacharelado, 2024.
Inclui apêndices.

1. Clima Urbano. 2. Geoprocessamento. 3. Temperatura da Superfície. I. Coutinho Duarte, Cristiana . (Orientação). II. Badiru Moreira, Ayobami . (Coorientação). IV. Título.

910 CDD (22.ed.)

CARLOS ALBERTO DE ASSIS JÚNIOR

MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE COMO FERRAMENTA DE SUPORTE AO ESTUDO DO CLIMA URBANO DE JABOATÃO DOS GUARARAPES-PE

TCC apresentado ao Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Geografia. Área de concentração: Climatologia Urbana.

Aprovado em: 22/03/2024.

BANCA EXAMINADORA

gov.br
Documento assinado digitalmente
CRISTIANA COUTINHO DUARTE
Data: 18/07/2024 19:35:16-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____
Profa. Dra. Cristiana Coutinho Duarte (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Profa. Dra. Josicleda Domiciano Galvincio
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Me. Tamires Gabryele de Lima Mendes
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente queria agradecer a meus pais Nelbia Rejane e Carlos Alberto, e ao meu irmão Pedro Hildon por todo o apoio desde o começo do curso. Meu irmão também cursou geografia, e me deu todos os conselhos necessários para entender o curso e suas contribuições para o conhecimento e as dificuldades de ser geógrafo.

Gostaria de agradecer à minha orientadora Cristiana Coutinho Duarte pela primeira oportunidade com geoprocessamento no laboratório GEGEP, e também pela orientação no tcc. Agradeço também a minha co-orientadora Ayobami Badiru por todas as orientações que me ajudaram bastante no desenvolvimento do trabalho de conclusão.

Em relação aos meus amigos e colegas de faculdade, agradeço a todos por estarem ao meu lado dando uma grande contribuição na minha formação como geógrafo e pessoa: Batata, Diedog, Djikas, Godoi, Malu, Mugiwara, Redfox, Yago…

RESUMO

Localizado na Região Metropolitana do Recife, o município do Jaboatão dos Guararapes possui um baixo quantitativo de estudos sobre o seu clima urbano e referenciais teóricos que auxiliem na aplicabilidade do planejamento urbano, visando o conforto térmico da população. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo abordar conceitos das pesquisas do clima urbano e mostrar ferramentas de geoprocessamento que contribuam para o planejamento da cidade e posteriores pesquisas no campo da climatologia urbana no município de Jaboatão. A metodologia utilizada consiste no referencial teórico e metodológico de outras pesquisas equivalentes, criando mapas temáticos de temperatura da superfície terrestre (TST), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), cobertura da superfície e estatísticas zonais da temperatura superficial. A partir da interpretação dos resultados, os mapas indicaram que as temperaturas superficiais mais altas estão intrinsecamente relacionadas a espaços mais urbanizados e as temperaturas mais baixas são registradas nas áreas de maior cobertura vegetal e nos corpos hídricos.

Palavras-chave: Clima Urbano. Geoprocessamento. Temperatura da Superfície.

ABSTRACT

Located in the Metropolitan Region of Recife, the municipality of Jaboatão dos Guararapes has a low number of studies on its urban climate and theoretical references that help in the applicability of urban planning, aiming at the thermal comfort of the population. This work aims to address concepts from urban climate research and show geoprocessing tools that contribute to city planning and subsequent research in the field of urban climatology in the municipality of Jaboatão. The methodology used consists of the theoretical and methodological framework of other equivalent research, creating thematic maps of land surface temperature (TST), normalized difference vegetation index (NDVI), surface coverage and zonal surface temperature statistics. Interpreting the results, the maps created indicated that the spatial variability of higher temperatures are intrinsically related to more urbanized spaces and the lowest temperatures are recorded in areas with greater vegetation cover and in water bodies.

Keywords: Urban Climate; Geoprocessing, Surface Temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do Município do Jaboatão dos Guararapes - PE..... 17
Figura 2. Mapa de índice de vegetação por diferença normalizada..... 23
Figura 3. Mapa da Cobertura da Superfície do Município de Jaboatão dos Guararapes.....24
Figura 4. Mapa de Temperatura da Superfície Terrestre.....25
Figura 5. Áreas de Interesse..... 26
Figura 6. Valores médios da temperatura da superfície terrestre..... 27
Figura 7. Valores da moda da temperatura da superfície terrestre.....28
Figura 8. Valores máximos da temperatura da superfície terrestre.....29
Figura 9. Valores Mínimos da temperatura da superfície terrestre..... 30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Intervalo do NDVI das classes da cobertura de superfície..... 20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 10

2 OBJETIVOS..... 12

2.1 Objetivo Geral..... 12

2.2 Objetivos Específicos..... 12

3 REVISÃO DE LITERATURA..... 13

3.1 O Clima Urbano..... 13

3.2 O Geoprocessamento como apoio nos estudos de Temperatura da Superfície Terrestre..... 15

4 METODOLOGIA..... 16

4.1 Área de Estudo..... 16

4.2 Procedimento metodológico..... 18

4.3 Dados..... 21

5 RESULTADOS..... 22

6 CONCLUSÃO..... 31

REFERÊNCIAS..... 32

APÊNDICE A – Código no GEE para exportar bandas do Landsat 8..... 36

1 INTRODUÇÃO

Os espaços urbanos podem modificar o clima local devido às atividades antrópicas praticadas nas áreas urbanizadas, essas alterações são resultantes das relações da sociedade no espaço geográfico ao longo do tempo e sua mudança pode ser ligada com a heterogeneidade dos inúmeros usos do solo.

As cidades, principalmente as capitais, apresentam os maiores índices populacionais, logo existem modificações no consumo e demandas de novos serviços prestados. O aumento populacional cria a necessidade de expansão das cidades, como a criação de moradias, comércios, indústrias e pólos tecnológicos. Essa amplificação motiva a diminuição da cobertura vegetal, poluição do ar, os tipos de materiais de construção civil, o relevo e a localização geográfica são capazes de interferir no clima urbano.

Nos estudos realizados na climatologia brasileira, e em nível global, tem se analisado que assim como nas cidades grandes, médias e pequenas, também houveram fortes transformações na paisagem natural, materializadas por diferentes formas de poluição do ar, água, solo e subsolo, além de alterações na geomorfologia e estrutura do espaço urbano. Os rios e córregos são canalizados ou têm seu percurso modificado, logo a morfologia urbana é transformada por técnicas de aterros e construções, gerando a remoção da vegetação nativa ou secundária do local. Ademais, a relação entre atividades urbanas e a forma de ocupação da terra causa a mudança das dinâmicas da atmosfera, consequentemente, nos elementos do clima (AMORIM, 2017).

Segundo Oke (2003), é de grande importância a análise da temperatura da superfície para o campo da climatologia urbana. A superfície molda a temperatura do ar das camadas mais baixas da atmosfera urbana, para o balanço de energia da superfície, e ajuda a determinar os climas internos das moradias e afeta a sensação térmica que gera conforto ou desconforto térmico aos moradores da cidade. Essa alteração da urbanização pode criar um clima térmico que é mais quente que os arredores de áreas não urbanizadas, especialmente pela noite.

O desenvolvimento de novas técnicas de análise, inserindo modelos mais realistas de clima urbano e a disseminação das pesquisas em diversos portes de

cidades são características da fase moderna da climatologia urbana. Possibilitando uma nova visão acerca da superfície urbana e do seu contraste com a zona rural.

A utilização de geotecnologias, principalmente geoprocessamento e sensoriamento remoto, tem sido muito eficaz nas metodologias de identificação de áreas de risco, planejamento urbano, estudos geológicos e geomorfológicos e no estudo do conforto térmico relacionado ao clima urbano. Nesse sentido, é provável encontrar estudos que usam imagens termais de diversos satélites para o estudo do clima urbano: LIU (2006), JENSEN (2009), NASCIMENTO (2011), MOREIRA (2021) dentre outros. A abordagem desses autores que situam no campo da climatologia urbana esclarece sobre ilhas de calor urbanas e conforto térmico, assim como gerar informações sobre a temperatura da superfície de distintos materiais.

A partir disso, é relevante o uso dessas ferramentas das geotecnologias para o entendimento da dinâmica climática da cidade. O município de Jaboatão dos Guararapes faz parte da região metropolitana do Recife possuindo uma mancha urbana densa, contínua e interligada ao pólo metropolitano, inclui-se de espaços com menos densidade que, na contemporaneidade, caracteriza-se como zona de transição submetida a velocidade da pressão urbana sobre espaços rurais ou de interesse ambiental, podendo ser um espaço central e dos grandes empreendimentos relacionados ao Porto de Suape (SILVA, 2010).

A cidade de Jaboatão se configura como um município de dinâmica periurbana de bastante intensidade, e possibilita a criação de outros estudos dedicados a esta temática. A partir disso, o município obteve avanços pelo Plano Diretor e macrozoneamento, o poder público de planejamento possui a oportunidade de alterar um retrospecto de políticas do planejamento urbano que são pouco elogiáveis (GALVINCIO, 2010)

Desse modo, a relevância e carência de estudos que relacionam atividades antrópicas na mudança da cobertura da superfície e a variabilidade da temperatura da superfície terrestre, se faz necessário um trabalho que aborde essas questões para o município de Jaboatão dos Guararapes. Utilizando-se do auxílio das ferramentas de geoprocessamento para classificação da superfície e a análise da temperatura superficial.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo investigar a temperatura da superfície terrestre como suporte para os estudos do clima urbano e projetos de planejamento urbano que visam à melhoria do conforto térmico da população no município de Jaboatão dos Guararapes. São utilizadas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para analisar a relação da temperatura superficial e os elementos da superfície, identificando áreas prioritárias para intervenção urbana.

2.2 Objetivos Específicos

1. Classificar os tipos de cobertura da superfície do município de Jaboatão dos Guararapes a partir dos valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).
2. Calcular a temperatura da superfície (TST) por meio de imagem termal.
3. Analisar a variabilidade espacial da TST em relação à cobertura vegetal no meio urbano.
4. Produzir mapas temáticos de cobertura da superfície, temperatura da superfície terrestre e estatísticas zonais da TST no nível do setor censitário.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O Clima Urbano

As características climáticas locais das cidades são modificadas consideravelmente pelo processo de urbanização. Nesse sentido, o clima acaba recebendo particularidades próprias. Segundo Ayoade (1996) “o clima e as variações climáticas exercem grande influência sobre a sociedade”, essas influências são cedidas pelas variáveis como a alteração da vegetação e a própria dinâmica da sociedade.

Os elementos climáticos representam os valores relativos a cada tipo de clima, como a temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica e a precipitação, são condicionados e determinados por fatores climáticos, divididos em fatores globais (radiação solar, altitude, latitude e ventos), dando origem ao clima na macro escala e os fatores locais motivados pela vegetação, geomorfologia e a superfície do solo, dando a gênese ao microclima, ou seja, o clima que possui restrições de escala, tais como a cidade, o bairro e rua (ROMERO, 2000).

Baseado numa linha de pesquisa da climatologia, o estudo do clima urbano é responsável pelo entendimento do clima da cidade, em escala de análise local (clima local) que abrange a níveis regionais (clima regional) e globais (clima zonal ou global), salientando, em cada escala, a influência urbana (COLTRI, 2006).

O termo clima urbano é usado como uma abreviação da frase “Meteorologia e Climatologias Urbanas”, pois insere o estudo dos processos meteorológicos, dos fenômenos atmosféricos e da junção desses dois apresentados a longo prazo, como o do desenvolvimento humano (OKE, 2006).

Segundo Gartland (2010), as superfícies urbanas tendem absorver calor do que as áreas rurais, pois são majoritariamente compostas por materiais escuros e suas estruturas provocam a criação de cânions urbanos onde a energia reflete o calor. A autora esclarece que existe outro fator para que a superfície terrestre seja mais quente, que os materiais de construção civil nas cidades são mais resistentes a água, sendo assim há um crescimento das superfícies impermeáveis que gera a diminuição da vegetação, por consequência, a redução da evaporação da água da chuva que passa pelas canalização, assim aumentando a reserva de calor.

Stewart (2019) sinaliza sobre a relevância de conhecer o histórico das pesquisas que abordam o clima urbano para a formação de uma base consolidada no intuito de avançar novas abordagens. A partir disso, esse autor esclarece duas fases diversas dos estudos: a fase dos estudos clássicos (de 1833 até 1980) e a fase das pesquisas modernas (do ano 200 até a atualidade). A fase clássica foi subdividida em 3 tempos: 1) descobrimento do campo de estudo (séc. XIX até o começo do séc. XX); 2) aperfeiçoamento na metodologia (1920 a 1940); 3) progresso do experimentalismo (1950 a 1980).

A cidade pode gerar um clima próprio, o clima urbano, resultado de alterações dos fatores que se processam nos espaços urbanos e agem no sentido de modificar em escala local o clima (MONTEIRO, 2003). Os efeitos são mais diretos e percebidos pela população através de ocorrências ligadas a qualidade do ar, conforto térmico, aos impactos pluviais e outras aparições que possibilitem a desorganização da cidade e prejudiquem a qualidade de vida dos habitantes que ali vivem.

Em escala local, as condições de temperatura são motivadas principalmente pela morfologia urbana. O desconforto térmico, para as pessoas, é favorecido pelo fato de partes da superfície armazenarem e irradiarem muito calor, também podendo formar as ilhas de calor urbana (GARTLAND, 2010). Gartland também afirmava que, “árvores e vegetação trazem muitos benefícios às comunidades, inclusive a melhoria do conforto, redução de consumo de energia, retirada de dióxido de carbono (CO2) do ar, redução da poluição do ar e redução de enchentes.” (GARTLAND, 2010, p.136).

Atualmente, a partir da crescente influência da cidade na produção do meio rural, revela-se a diversidade das paisagens entre e nas cidades. Afirmar-se que a paisagem pode ser definida como o crescimento em micro escala de terra possuindo características físicas e/ou culturais que foi alterada por produtores físicos e/ou culturais, sendo a principal classe a ser analisada nos estudos do clima urbano (STEWART e OKE, 2012, p. 1880).

Um importante parâmetro nos estudos termais nos espaços urbanos e suas dinâmicas é a temperatura da superfície terrestre (WENG, 2009). A mudança e o equilíbrio da energia superficial é definida como relação da radiação com a cobertura da terra que pode influenciar o clima urbano, a qualidade de planejamento urbano e o bem estar da população.

3.2 O Geoprocessamento como apoio nos estudos de Temperatura da Superfície Terrestre

As possibilidades criadas pelas geotecnologias, por meio de suas ferramentas e técnicas, que questões relevantes para o conhecimento da realidade do espaço geográfico sejam abordados em forma de mapas, sendo esses a delimitação do mapeamento do clima urbano, áreas de risco a deslizamentos e inundações, usos do solo, infraestrutura, cadastros das áreas urbanas e rurais e outras temáticas que precisam ser consideradas para o planejamento do espaço urbano e rural. De acordo com BARBOSA (2009) o uso do sensoriamento remoto nos estudos do clima urbano tem crescido nas últimas décadas, essencialmente na análise de anomalias térmicas como as ilhas de calor.

As geotecnologias, como o geoprocessamento e sensoriamento remoto, estão cada vez mais relevantes para os estudos do clima urbano, tanto pela possibilidade de processamento de grande base de dados georreferenciados de variáveis atmosféricas, de longa série histórica, quanto pela sobreposição das múltiplas camadas da superfície, criando a possibilidade de otimização das análises espaciais por meio de técnicas estatísticas e de sistema de informação geográfica.

O Geoprocessamento demonstra a disciplina do conhecimento que usa as técnicas computacionais e matemáticas para o tratamento da informação geográfica, que vem influenciando o aumento de sua utilização nas áreas de cartografia, transportes e planejamento urbano e regional (CÂMARA, 2001). A partir do Sistema de Informação Geográfica (SIG), as ferramentas de geoprocessamento permitem realizar análises complexas, ao sintetizar dados geográficos de várias fontes e criar base de dados georreferenciados.

A temperatura superficial é entregue em função do albedo, da emissividade, estrutura da cobertura urbana e propriedade termal dos materiais usados nas construções nas cidades (NASCIMENTO, 1981). Segundo Amorim et al (2009), é possível compreender com imagens termais de satélite a distribuição das fontes de calor, em espaços urbanos, que formam ilhas de calor urbanas.

Dessa forma, ressalta-se que a temperatura da superfície é registrada dentro do espectro da radiação infravermelha térmica ou de onda longa por sensoriamento remoto. O balanço energético das superfícies depende de orientação de superfície e

abertura ao sol, céu e vento, sendo capaz de refletir e emitir infravermelho, tendo a disponibilidade de umidade na superfície para evaporar e sua capacidade de conduzir o calor (GOWARD, 1981).

Além disso, outra variável importante para o estudo de clima urbano é a cobertura da superfície. Ela caracteriza-se pelas propriedades físicas dos seus materiais superficiais e a capacidade deles de alterar o albedo, a umidade e o aquecimento e resfriamento do solo (OKE et al., 2017). Pode-se classificar como cobertura da superfície a vegetação, os corpos hídricos e as superfícies impermeáveis.

Nesse sentido, podemos relacionar dados de temperatura da superfície terrestre com os índices de vegetação. Lima e Amorim (2011) afirma que a temperatura da superfície pode ser confirmada utilizando técnicas de mapeamento da vegetação, usando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para representar a vegetação como relevante na dinâmica do clima urbano, conforto térmico e qualidade ambiental. O mapeamento da Temperatura da superfície terrestre (TST) e do NDVI se mostra como um recurso importante para identificar e monitorar o quanto as duas variáveis influenciam ou interferem em outra variável.

Diante disso, esse trabalho foca na abordagem de uma das principais técnicas no estudo de clima urbano para investigar as relações dos padrões térmicos urbanos e as características da superfície urbana utilizando o sensoriamento remoto. (ALMEIDA et al, 2015) o sensoriamento remoto se torna extremamente útil para a compreensão destes processos, a partir da análise espaço-temporal na mudança do uso e cobertura do solo em relação à temperatura e emissividade na superfície.

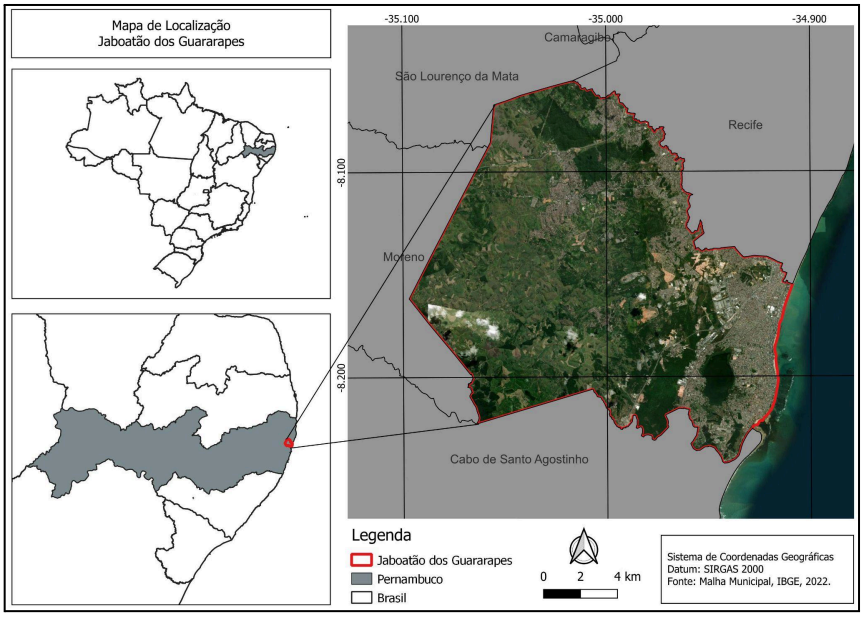
4 METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

A área de estudo definida é o município do Jaboatão dos Guararapes, localizado no sul da mesorregião do estado de Pernambuco Região Metropolitana do Recife (figura 1). A abordagem em escala municipal torna-se necessário o entendimento da ocupação dos aspectos físicos e demográficos em Jaboatão dos Guararapes. De acordo com o último Censo Demográfico do IBGE (2022), o município representa a segunda maior população do estado, possuindo 644,037 mil pessoas residentes, ficando atrás apenas do Recife (1.488.920).

O limite territorial de Jaboatão é de aproximadamente 259 km², sendo subdividido em 27 bairros, constituindo 97,75% de área urbana e de área rural apenas 2,25%. O município representa a densidade demográfica de 2.489,28 hab/km², sendo uma área predominantemente urbana (IBGE, 2022).

Figura 1. Localização do Município do Jaboatão dos Guararapes - PE



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Segundo a classificação de Koppen-Geiger, o clima do município é tipo AMS' (clima tropical úmido), possuindo a temperatura do ar média anual em torno de 26ºC, e as temperaturas anuais mínimas e máximas ficam entre 18 ºC e 32ºC respectivamente (CPRM, 1997). O período das chuvas ocorre entre os meses de março a agosto, com a variação da precipitação entre 29 mm a 311 mm mensais,

sendo a média anual de 1.754,84 mm, num período de registros dos dados pluviométricos de 18 anos. No município de Jaboatão, a precipitação máxima mensal geralmente ocorre no inverno, ao longo do mês de junho, podendo chegar, em eventos chuvosos críticos, valores acima da média máxima da precipitação.

4.2 Procedimento metodológico

No procedimento desta pesquisa, foi realizado buscas de trabalhos acadêmicos que abordam conceitos e processos na qual utilizam imagens de satélite para as análises dos estudos climáticos urbanos. Diante disso, buscou-se referências bibliográficas, como artigos, dissertações, monografias e revistas científicas que tratam estudos sobre temperatura superficial, conforto térmico, cobertura vegetal e ilhas de calor a partir de processamento dos dados gerados por sensoriamento remoto.

A primeira etapa do trabalho consistiu em obter as imagens das bandas do satélite, os shapes do limite do município e os setores censitários. Devido a quantidade expressiva de nuvens identificadas nas bandas, foram criadas condições na “calculadora raster” para definir os valores de nuvem com valor nulo. Após isso, foi utilizado o limite de Jaboatão para o recorte das imagens com a ferramenta “Recortar raster pela camada de máscara”.

No campo do sensoriamento remoto, os objetos que possuem temperatura acima do zero absoluto emitem energia eletromagnética. Dessa forma, as feições encontradas na paisagem e pessoas emitem energia eletromagnética infravermelha termal. Em uma abordagem geral, durante o dia nota-se temperaturas mais elevadas em áreas comerciais, de serviços, transporte e indústrias. Os menores valores podem ser encontrados em áreas de vegetação densa e corpos d’água. As temperaturas intermediárias resultam em áreas de uso residencial. Pela noite, os espaços mais aquecidos durante o dia se esfriam rapidamente, mas ao amanhecer continuaram mais aquecidas do que as áreas com vegetação e agrícolas (AMORIM et al., 2021).

Foi utilizada a banda 10 da imagem multiespectral do satélite landsat 8, que corresponde a faixa do infravermelho termal (10.6 - 11.19 μm – micrometro), obtida pelo sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor), que foi reamostrada para 30 m de

resolução espacial a partir de uma imagem original de resolução de 100 m (USGS, 2018).

Foi realizado o cálculo da temperatura da superfície terrestre (TST) sem correção atmosférica para o Landsat 8 a partir da equação 1 que converte os níveis de cinza da banda termal em radiância espectral.

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (1)$$

onde:
Lλ = Radiância espectral (W/ m2 ·sr·μm)
ML = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda (3.3420E-04)
Qcal = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN)
AL = Fator aditivo de redimensionamento da banda (0.1000)

Em seguida, foi utilizada a equação 2 que converte a radiância espectral para temperatura em unidade Kelvin. Essa equação fica disponibilizada pelo Serviço Geológico Americano.

$$T = K2/In(K1/L\lambda + 1) \quad (2)$$

Onde:
T: Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K);
K2: Constante de calibração 2 = 1321.08 (K);
K1: Constante de calibração 1 = 774.89 (K);
Lλ: Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts (m² sr μm).

Sintetizando as equações expostas, é necessário subtrair por 273.15 para converter de Kelvin (K) em Celsius (°C), dando a origem da seguinte fórmula 3, inserida na ferramenta “Calculadora raster” para gerar a TST.

$$TC = (1321.08/Ln(774.89/(3.3420E - 04 * "Banda_10.tiff" + 0.10000) + 1)) - 273.1 \quad (3)$$

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) é um índice que busca realçar as variações de densidade da cobertura vegetal utilizando a divisão de bandas de um sensor de satélite (MENESES, 2012). Esse indicador envolve a razão da diferença entre a banda do infravermelho próximo (NIR) e a banda do vermelho (RED) pela soma das mesmas.

É possível diferenciar as áreas urbanas(construções e arruamentos) nos valores mais baixos, e os maiores valores representam as vegetações de maior e menor densidade. Sendo assim, os valores do NDVI variam de -1 a 1, quanto mais próximo de 1, maior é a cobertura vegetal e quanto mais próximo de -1, menor a sua densidade vegetativa ou ausência de vegetação (AMORIM, 2021).

A partir disso, como em Amorim et al. (2015), foram utilizadas 4 classes para a classificação da superfície, como a classe “vegetação densa”, que representa áreas com cobertura vegetal arbórea presentes na área urbana e na área rural. A “vegetação esparsa” considera as pastagens no rural próximo, terrenos sem construção e gramíneas. A classe de “construções” agrupa todas as áreas impermeabilizadas tanto com alta, média e baixa densidade como as vias pavimentadas. Com a existência de corpos hídricos na área de estudo, foi necessária a criação da classe de “corpo d’água” para simbolizar a barragem e a lagoa. Na tabela 1, estão indicadas as 4 classes criadas na pesquisa.

Tabela 1. Intervalo do NDVI das classes da cobertura de superfície

Classe	Intervalo NDVI
Corpo D'água	< 0
Construções	0 a 0.2
Vegetação Rasteira	0.21 a 0.4
Vegetação Densa	0.4 >

Fonte: Elaborado pelo autor

No processo de cálculo foram utilizadas as bandas espectrais do infravermelho próximo (0.85 - 0.88 µm) e a banda do vermelho (0.64 - 0.67 µm),

ambas com resolução de 30 m. A partir da equação 4 foi realizado o cálculo com a “Calculadora raster” do Qgis para a obtenção dos valores do índice de vegetação. Para a classificação da superfície foi executada a ferramenta de reclassificação “r.recode”, do GRASS, para definir os intervalos dos valores do NDVI das classes de cobertura da superfície.

$$NDVI = NIR - Red \,/\, NIR + Red \tag{4}$$

onde:
NDVI é o índice de vegetação;
NIR é a reflectância para banda do infravermelho próximo;
Red é a reflectância para a banda do visível vermelho.

Para análise e confecção de mapas das estatísticas por zonas, a ferramenta “Estatísticas Zonais” do QGIS foi utilizada para o cálculo de estatísticas descritivas das áreas. Esse algoritmo calcula a média, moda, máxima e mínima das áreas dos setores censitários de Jaboatão dos Guararapes.

4.3 Dados

As imagens do satélite Landsat 8 foram adquiridas pela plataforma Google Earth Engine (GEE), com data de passagem no dia 29 de novembro de 2023, com o horário central 12:29 (UTC), na órbita 214, ponto 66. O script desenvolvido realiza a busca da imagem com menor percentual de nuvem na área definida, exibe os metadados da raster e exporta as bandas selecionadas para a nuvem do Google Drive. As bandas 4 (vermelho), 5 (infravermelho próximo) e 10 (termal) são selecionadas e exportadas em formato GeoTiff para serem visualizadas e processadas no ambiente do Qgis. Também foi realizado o download do arquivo da malha municipal de Jaboatão dos Guararapes e de seus setores censitários no site do IBGE no formato shapefile.

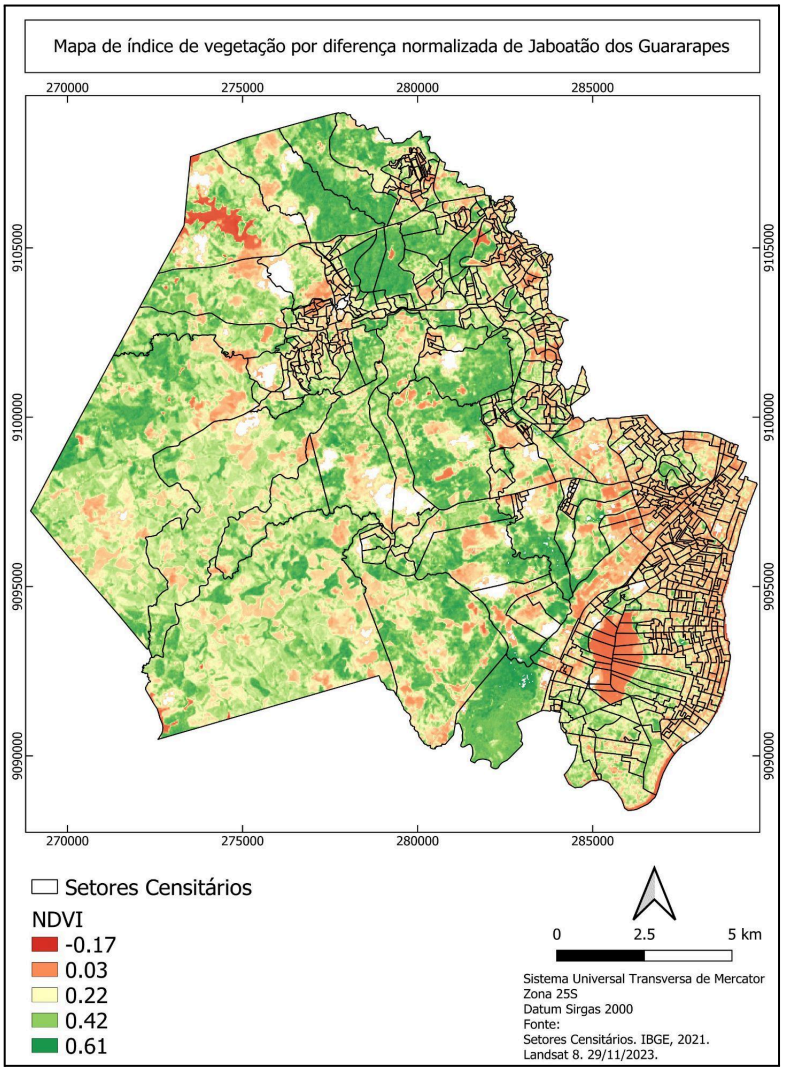
5 RESULTADOS

No município de Jaboatão dos Guararapes, nota-se que os espaços mais urbanizados possuem os maiores valores de temperatura da superfície a leste da cidade. O material utilizado nas construções causa alterações no balanço de radiação, interferindo as características do sítio urbano local, provocando efeitos climáticos desconfortáveis a população residente. Os resultados mostram que os solos recobertos por cobertura vegetal representam as mínimas e menores médias das temperaturas do que as áreas construídas ou de solo exposto, pois a vegetação refresca áreas adjacentes, onde a evaporação converte a energia solar em vapor de água ao invés de calor, promovendo temperaturas do solo e do ar mais baixas, a partir de sombras para a superfície, protegendo a superfície de radiação direta, reduzindo o calor armazenado (MASHIKI e CAMPOS, 2013).

De acordo com Lillesand, Kiefer e Chipman (2015), os maiores valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) são resultados de combinação da alta reflectância do infravermelho próximo e a baixa reflectância na banda do vermelho, e as áreas sem vegetação, solo exposto e materiais de construção apresentam os valores mais baixos.

Os valores obtidos do índice de vegetação por diferença normalizada da área de estudo apresentaram entre -0.17 a 0.61. Analisando o mapa do NDVI observa-se que a maior quantidade de cobertura vegetal fica mais afastada da densidade urbana e a menor reflectância caracteriza os espaços urbanos e corpos hídricos. As áreas de corpos hídricos representam os valores negativos do NDVI, os valores intermediários de 0.03 e 0.22 configuram os espaços impermeabilizados de alta a baixa densidade de construções, e os valores mais altos de 0.23 a 0.61 retratam as vegetações de menor e maior densidade no município (figura 2).

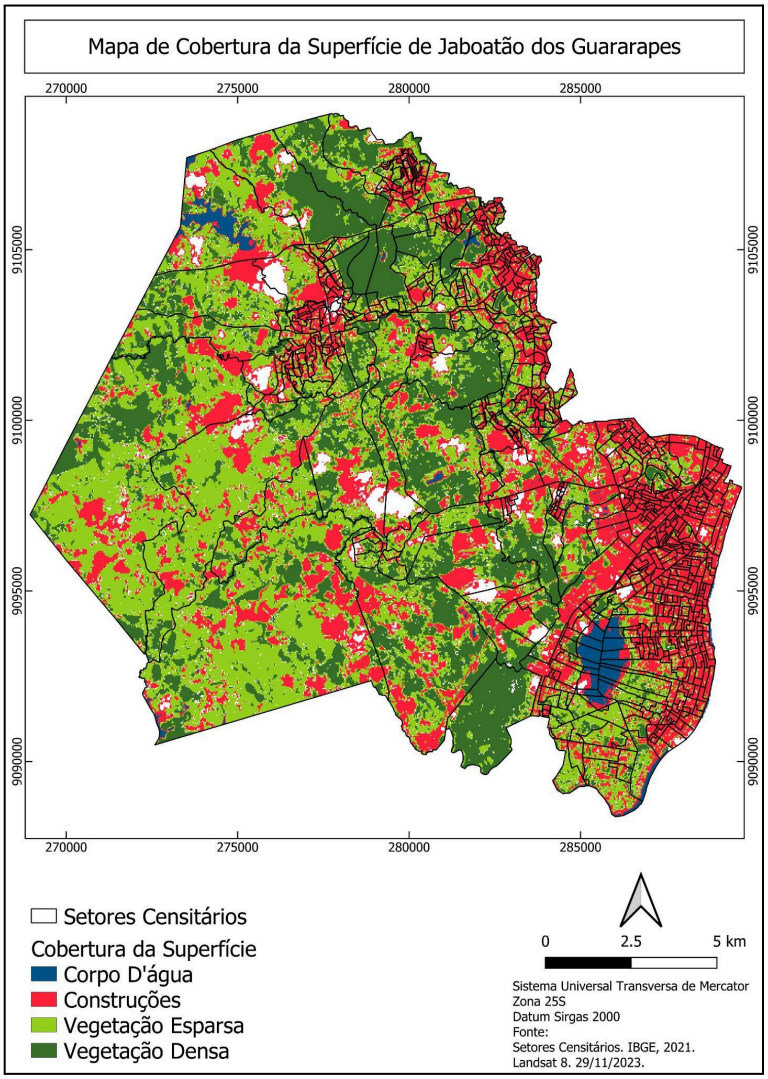
Figura 2. Mapa de índice de vegetação por diferença normalizada



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Diante disso, é classificada a cobertura da superfície a partir dos valores do NDVI de Jaboatão, como corpo d'água para os menores registros da temperatura superficial, as construções e o solo exposto para as medidas intermediárias e a vegetação densa e rasteira para os maiores registros (figura 3).

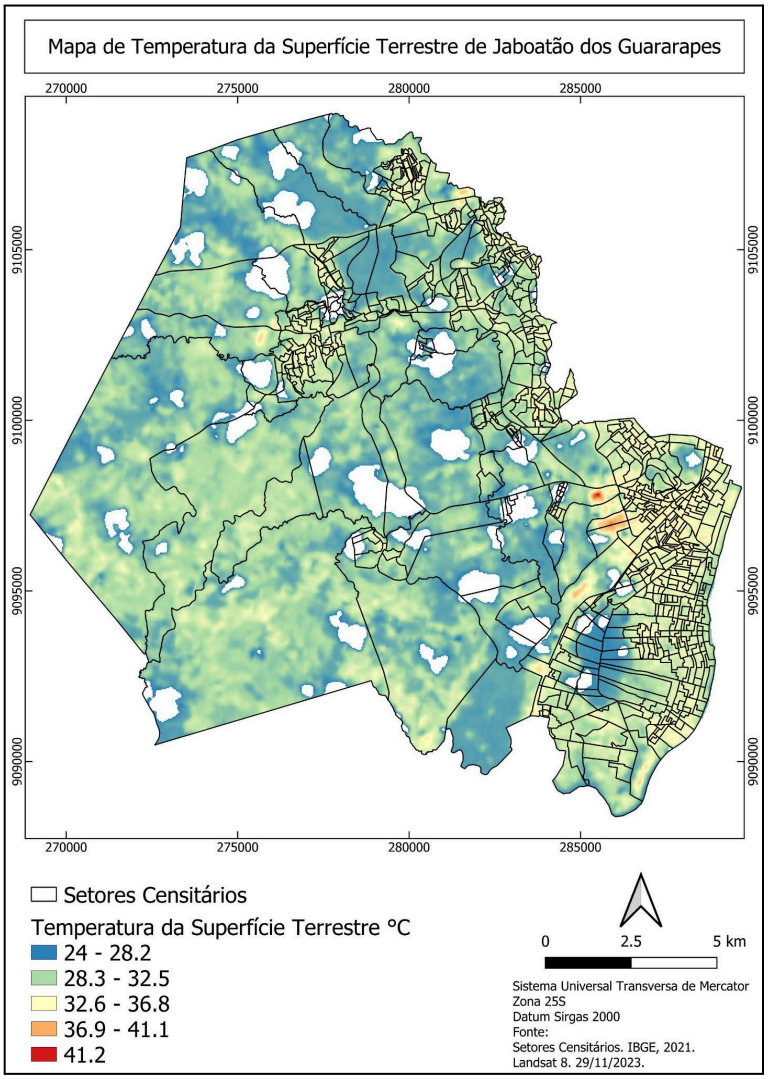
Figura 3. Mapa da Cobertura da Superfície do Município de Jaboatão dos Guararapes



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Na figura 4, nota-se que os valores classificados mais baixos da TST estão entre 24°C a 28.2°C. Esses valores são representados pelos corpos hídricos e pela vegetação mais fechada nas porções noroeste e sul do município. A classe de vegetação esparsa, que se caracteriza por arbustos, mudas de árvores e outras plantas que se desenvolvem abaixo dos dosséis de grandes árvores, simboliza temperaturas de 28°C a 32°C. Já a classe de construções registram os maiores valores da temperatura da superfície, que caracterizam solo exposto, vias pavimentadas, áreas residenciais, comerciais e industriais, ficando entre 32.6°C a 41.2 °C. Segundo Moreira e Amorim (2015), os valores que correspondem a áreas de solo exposto e elevada urbanização, com alta densidade de edificações e superfícies impermeáveis contribui para a formação de ilhas de calor urbanas.

Figura 4. Mapa de Temperatura da Superfície Terrestre



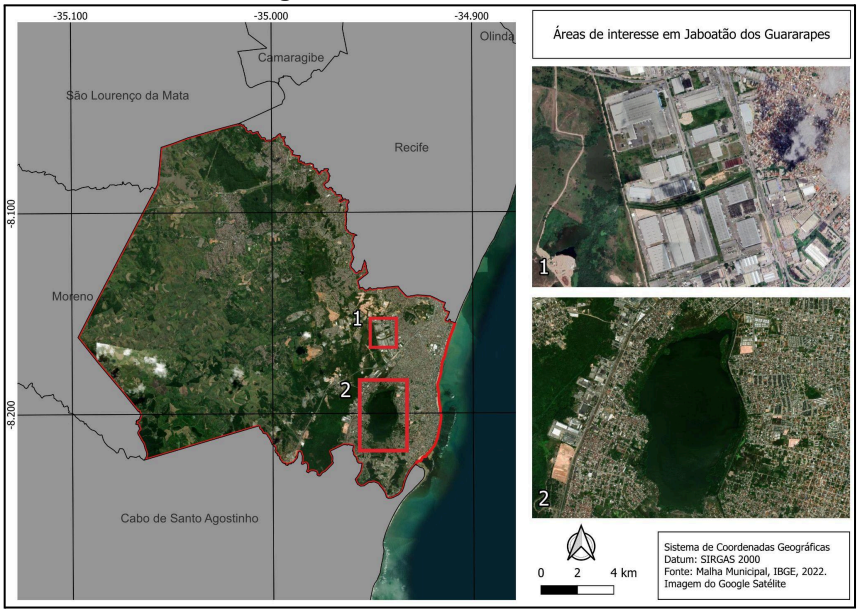
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Sobre a temperatura superficial, as áreas mais densamente urbanizadas, localizadas a leste, concentram os maiores e intermediários valores de temperatura. Enquanto os setores mais afastados em direção a oeste, por estabelecer maior cobertura vegetal, possuem os menores valores da TST. Observa-se uma grande variabilidade de temperatura das áreas mais quentes e frias, chegando a variar 17°C de amplitude. Nesse sentido, essa variação pode ser explicada pela “substituição de elementos naturais como a vegetação por materiais utilizados nas construções, como asfalto e concreto, que armazenam maior quantidade de energia, tendo assim, albedo mais baixo” (CAMACHO e MOSCHINI, 2021, p. 126).

Foi identificado áreas de interesse possuindo os maiores e menores valores de temperatura terrestre. O maior registro da temperatura foi localizado no complexo industrial ao leste da cidade, indicado pelo número 1 no mapa (figura 5). Dentro

desse complexo no bairro de Prazeres, existe um leque de empresas como o Mercado Livre, Fedex, Carrefour, Iquine dentre outros. Foi identificado que o centro de Distribuição Grupo Carrefour representa o maior valor de temperatura superficial de 41.2 ºC. Foi possível observar que as áreas de superfícies mais frias da cidade, em torno de 24 a 25°C, correspondem ao corpo d'água, como a lagoa do olho d'água, localizado entre os bairros de Candeias e Jardim Prazeres ao sudeste do município de Jaboatão, indicado pelo número 2 (figura 5).

Figura 5. Áreas de Interesse



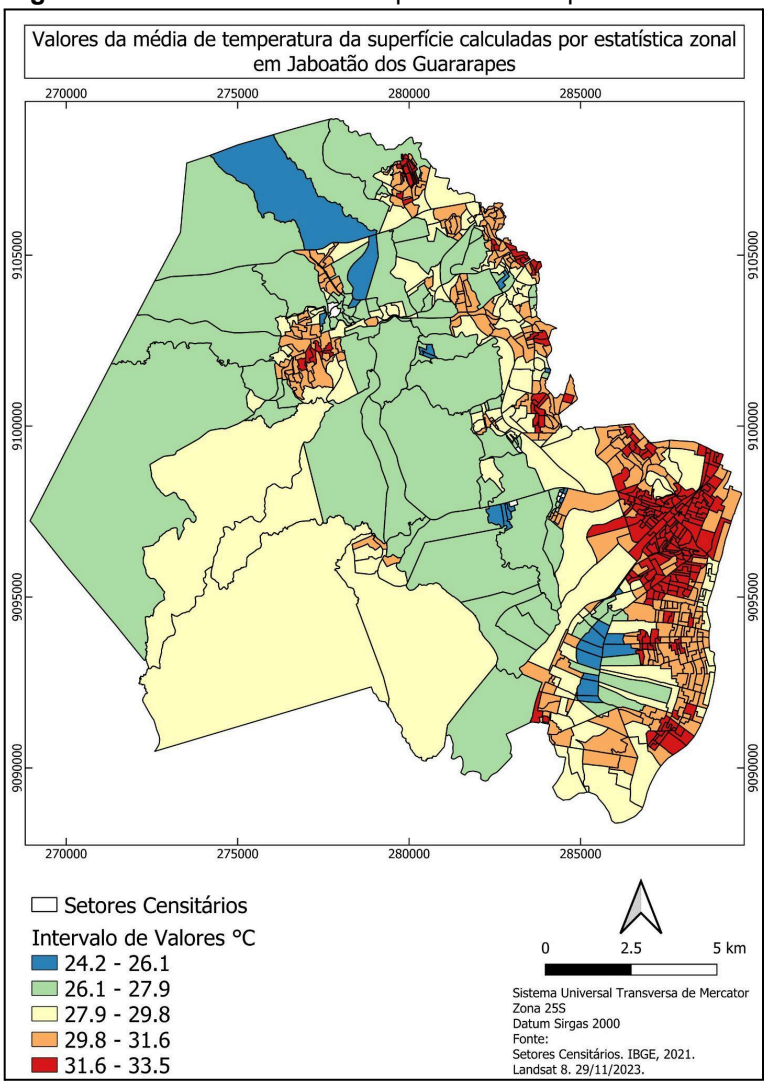
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

É possível identificar as áreas que corroboram com a influência das classes da cobertura de superfície, no que diz respeito à temperatura da superfície. As estatísticas com os maiores registros de temperatura correspondem as áreas mais urbanizadas, onde encontra-se a maior presença de casas, prédios, comércios e indústrias. De acordo com Souza et al. (2015), o principal fator na elevação da temperatura média da superfície é o crescimento urbano em grandes cidades.

Analisando os mapas de estatísticas zonais, a interpretação dos valores da média já indicam uma forte concentração de alta temperatura de 31ºC a 36ºC na área leste e nordeste da cidade, sabendo que há uma grande ausência de vegetação nativa nessas áreas centrais. Em contrapartida, a representação dos menores valores do intervalo da média (24.2°C a 26.1°C) apontam os lugares mais afastados do adensamento residencial e comercial, onde encontram-se menos urbanização, e maior presença da vegetação mais densa, também, dentro da malha

urbana a leste, encontra se a lagoa do olho d'água registrando o menor valor de temperatura (Figura 6).

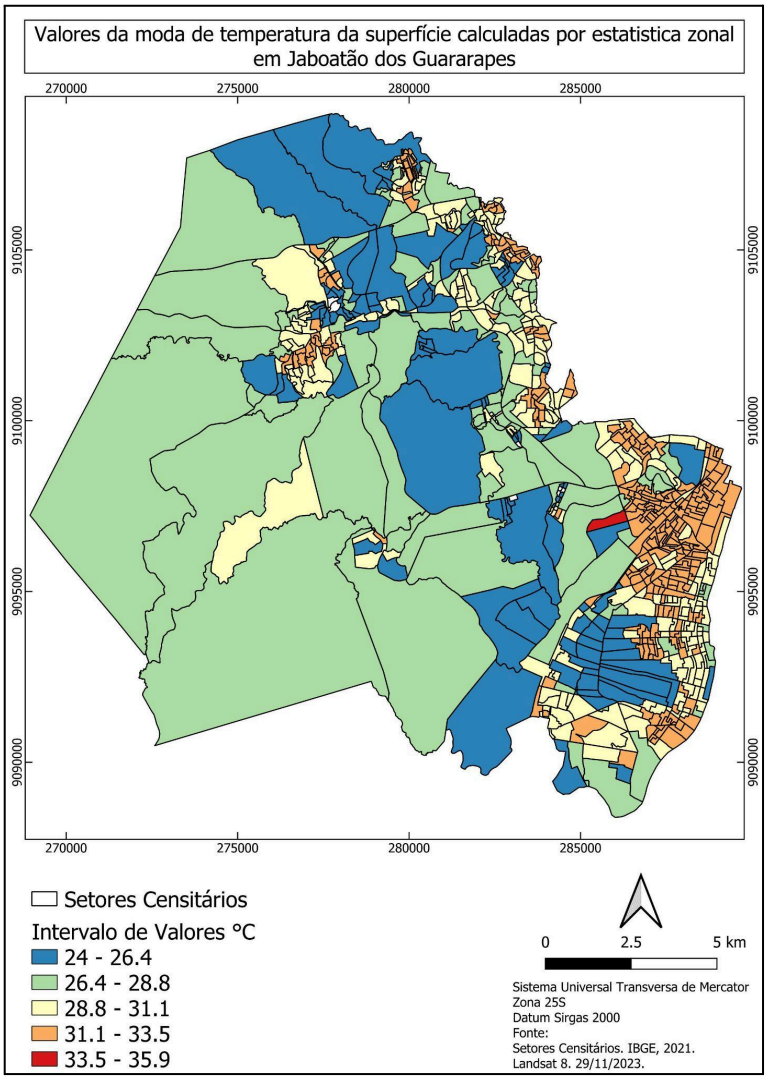
Figura 6. Valores médios da temperatura da superfície terrestre



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No mapa dos valores da moda (figura 7), as maiores frequências das menores temperaturas da superfície, 24°C a 26.4°C, devem ser associadas às áreas mais afastadas de espaços mais edificados, onde há maior extensão de vegetação do município. A presença de corpos d'água podem moldar a temperatura da superfície em áreas urbanas próximas, proporcionando resfriamento pelo fator da evaporação. As áreas com maior extensão de construções civis concentram as maiores repetições dos valores no intervalo de 31.1 a 33.5 graus celsius.

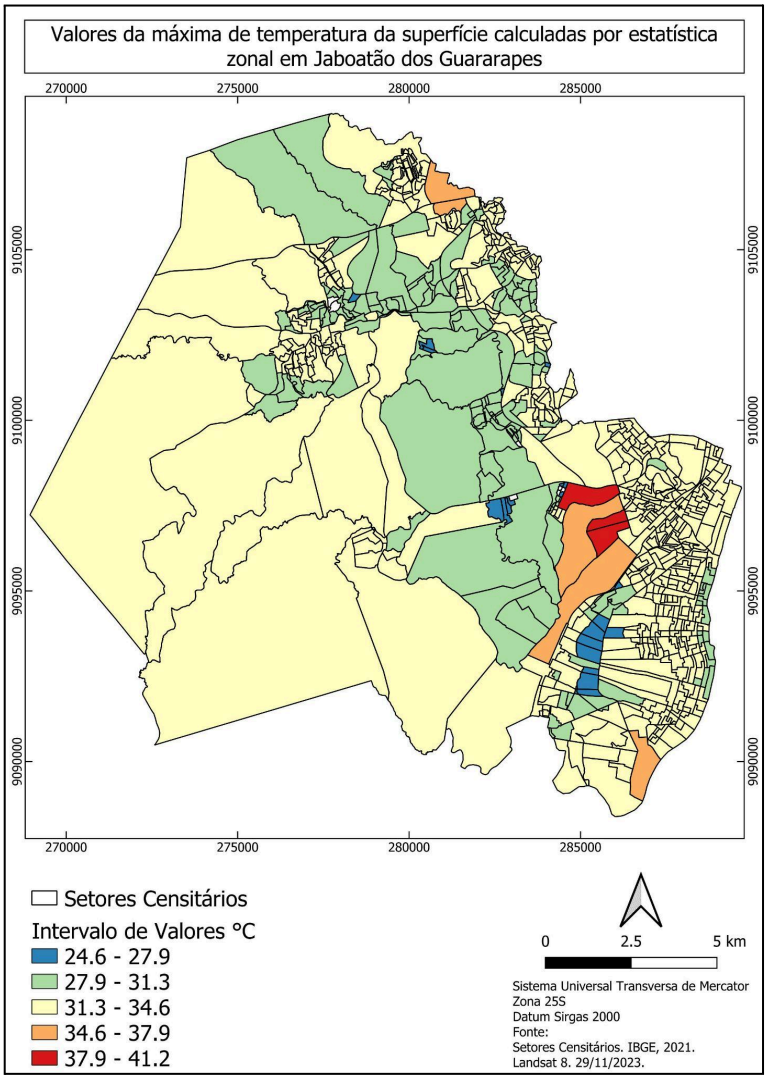
Figura 7. Valores da moda da temperatura da superfície terrestre



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Interpretando o mapa dos valores máximos (figura 8), a área com atividades industriais e comerciais representa a máxima temperatura registrada. Representadas pela cor vermelha, o intervalo dos maiores registros ficam aproximadamente 38°C a 41.2°C. Também, pode-se afirmar que áreas com vegetação mais esparsa e edificadas ficam no intervalo intermediário das máximas identificadas de 31.1°C a 34.6°C. Confirmando o indício que a área de interesse do complexo industrial é o ponto mais crítico do município e deve ser priorizada pelos agentes públicos e privados para a melhoria do conforto térmico.

Figura 8. Valores máximos da temperatura da superfície terrestre

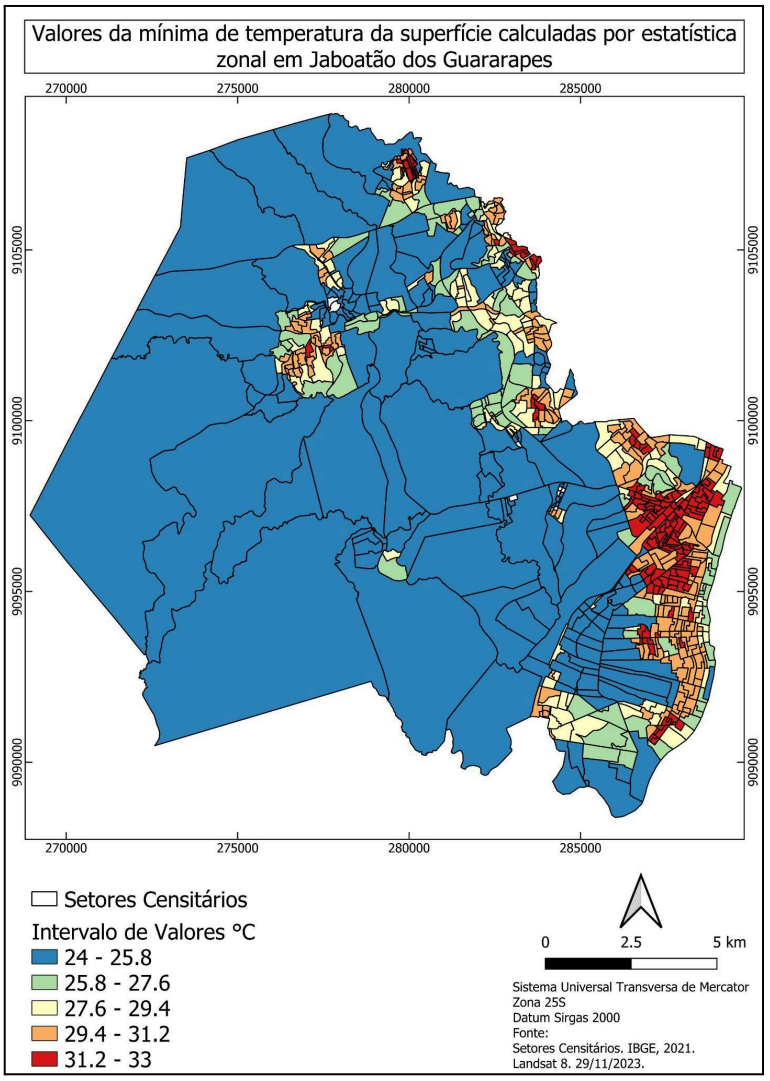


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Na figura 9 nota-se que a menor temperatura registrada de 24°C é encontrada em um corpo d'água (lagoa do olho d'água) da cidade. Os valores mínimos também indicam que na malha urbana ao sul que, no entorno da lagoa, os setores possuem os menores valores da TST, comprovando a relação da capacidade de redução da temperatura por parte de corpos hídricos, assim a superfície da água, consegue reduzir a capacidade de reflectância e, portanto apresentam menores temperaturas de superfície. Nas porções a oeste, como as áreas periféricas e rurais, é possível notar a espacialidade do menor intervalo encontrado de 24°C a 25.8°C, pois nesses espaços possuem a maior extensão de cobertura vegetal de baixa a alta densidade do município. No entanto, o intervalo dos maiores valores da mínima (31.2°C a 33°C) apontam, pela cor vermelha, também, a concentração de densidade da malha urbana a leste, corroborando com

as outras estatísticas a representação dos maiores valores de temperatura da superfície.

Figura 9. Valores Mínimos da temperatura da superfície terrestre



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para análises que contribuam na compreensão da variabilidade da temperatura superficial a partir da relação com a cobertura da superfície no município de Jaboatão dos Guararapes, colaborando para as perspectivas teóricas e metodológicas futuras. A cidade de Jaboatão foi escolhida de modo que contextualize os estudos sobre clima urbano em relação às alterações nos espaços urbanos, fornecendo alternativas para pesquisas posteriores e projetos urbanos e ambientais, como o plano diretor.

Com base nos dados e análises realizadas, esta pesquisa gerou resultados indicando que as temperaturas elevadas ou amenas correlacionam diretamente entres os elementos da temperatura da superfície terrestre, como a vegetação e urbanização no município de Jaboatão dos Guararapes. As temperaturas mais elevadas chegam a 41°C, as temperaturas médias ficam entre 31°C a 33°C e são registradas nos espaços urbanos com maior concentração de construções. Em contrapartida, as temperaturas mais amenas são mais encontradas nas coberturas vegetais de maior densidade e em corpos hídricos, registrando a mínima de 24°C.

Um dos impasses apresentados foi que a maior parte dos estudos da climatologia urbana são focados na cidade vizinha e capital de Pernambuco, Recife, possuindo a contribuição limitada de trabalhos acadêmicos nas pesquisas sobre a temperatura da superfície terrestre no município de Jaboatão. A maioria das pesquisas abordam a questão dos impactos de eventos de chuva extrema e as áreas de risco a deslizamentos de terra e inundações. A partir disso, surgiram desafios para abordar essa temática na cidade de Jaboatão, destaca-se a falta de aplicação no planejamento, as restrições metodológicas e poucas referências teóricas da temática de clima urbano de cidades tropicais.

É necessário ressaltar a importância do uso de ferramentas das geotecnologias, pois através desses instrumentos é possível criar metodologias que analisem, identifiquem, acompanhem o comportamento climático na extensão territorial de Jaboatão dos Guararapes. Procura-se relacionar os dados termais com outras variáveis da superfície para o entendimento do comportamento climático nas

cidades, sendo possível comprovar que a temperatura, a cobertura vegetal e o uso da terra estão intrinsecamente relacionados.

Diante disso, é relevante incentivar mais trabalhos acadêmicos no campo da climatologia urbana no município de Jaboatão dos Guararapes para o melhor entendimento da temática, e assim, planejar e monitorar a preservação dos espaços naturais, organizar de forma planejada os espaços urbanos e criar meios sustentáveis possíveis de aplicar nas residências e comércios, como telhado verde, usando a vegetação para ajudar a absorver calor e melhorar a sensação térmica. Assim, podendo gerar soluções a fim de mitigar as consequências das mudanças climáticas e problemas climáticos locais para melhorar o conforto térmico da população da cidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. J. P. *et al*. **Relação entre o índice de vegetação e a temperatura da superfície na estimada e identificação das ilhas de calor na cidade de Maceió-AL**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 17, 2015, p. 2047-2054.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. **Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) Brasil**. Rev. Brasileira de Climatologia, v. 16, p. 29-45, 2015.

AMORIM, M. C. C. T. **Teoria e método para estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. 2017. 178f. (Tese de Livre docência) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP.

AMORIM, M. C. C. T. (2021).**Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise**. Revista Brasileira De Climatologia, 25.

APAC-Agência Pernambucana de Águas e Clima.Monitoramento Pluviométrico. 2022.
Disponível em:http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php. Acesso em:30 jan.2024.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. A. S. E**studos de Ilha de Calor Urbana por meio de Imagens do Landsat 7 Etm+: Estudo de Caso em São Carlos (SP)**. Revista Minerva – Pesquisa e Tecnologia, v. 6, n. 3, set./dez. 2009.

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.** Environmental Science, v. 10, n. 2, 2021.

CÂMARA, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. (2001). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE.

COLTRI, Priscila Pereira. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análise de séries históricas, ilha de calor e técnicas de sensoriamento remoto**. 2006. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. (1997). **Atlas do meio físico do município do Jaboatão dos Guararapes - Estado de Pernambuco**. CPRM/FIDEM Recife - PE, 26p.

GALDINO, S, L.; GALVÍNCIO, J. D. **Tipologia das dinâmicas de urbanização na franja ruralurbana em Jaboatão dos Guararapes- Região Metropolitana do Recife**. 2010. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GOWARD, S. N. **Thermal behavior or urban landscapes and the urban heat island**. Phys. Geogr., v. 1, n. 2: 19–33, 1981.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2da Edição traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São Paulo, Parêntese, 2009. 672 p

MASHIKI, M. Y.; CAMPOS, S. **Influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP**. Energ. Agric., Botucatu, v. 28, n.3, p.143-149, jul.-set., 2013.

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

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

MOREIRA, Ayobami Badiru. **A vulnerabilidade socioespacial à ilha de calor urbana na Cidade de Recife – PE, Brasil**. 2021. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

MOREIRA, J. L.; AMORIM, M. C. **O Clima Urbano de Penápolis, São Paulo, Através da Temperatura da Superfície e de Índices Radiométricos**. Geosaberes, Fortaleza, v. 6, n. 3, p. 190-202, jul. 2015.

NASCIMENTO, D. T. F. **Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no**

município de Goiânia-GO (1986/2010). 2010. 98 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2011.

VOOGT, J.A. and OKE, T.R. (2003). **Thermal Remote Sensing of Urban Climates**. Remote Sensing of Environment, 86, 370-384.

Porangaba, G. F. O.; Teixeira, D. C. F.; Amorim, M. C. **Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte**. 2021. *Revista Brasileira De Climatologia*, *21*.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o desenho Urbano**. 2. Ed. São Paulo: Pró-Editores, 2000.

LILLESAND, T.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, 2015.

LIU, William T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Editora Uniderp, Campo Grande – MS, 2006.

SOUZA, D. O.; M. G.; ALVALÁ, R. C. (2016). **Influência do Crescimento Urbano sobre o Microclima de Manaus e Belém: Um Estudo Observacional (The influence of urban growth on the microclimate of Manaus and Belém: A observational study)**. *Revista Brasileira De Geografia Física*, *8*(4), 1109–1124.

QGIS Development Team, 2023. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project.

USGS (United States Geological Survey). **Using the USGS Landsat 8 Product**. Disponível em:https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product

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

APÊNDICE A **– Código no GEE para exportar bandas do Landsat 8**

Exportar Landsat 8 * | Get Link | Save | Run | Reset | Apps

```
Imports (1 entry)
  var geometry: Point (-34.94, -8.22)
Map.centerObject(geometry, 10)

//Selecionar coleção de imagem

var image = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1")
.filterBounds(geometry)
.filterDate('2023-10-01', '2023-12-12')
.sort('CLOUD_COVER')
.first()

//Selecionar banda

var band = image.select(['B10'])

//Metadados

print('Informações:', band.getInfo())

//Visualizar no mapa

Map.addLayer(band,{min:0, max: 40000},'banda 10')

//Exportar raster

Export.image.toDrive({
  image: band,
  description: 'l8_band10_29_11_2023',
  scale : 30,
  fileFormat: 'GeoTiff',
  crs: 'epsg:31985'
})
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).