




SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO ESTUDO DA EVOLUÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANA DE SUPERFÍCIE NA CIDADE DO CRATO - CE


REMOTE SENSING APPLIED TO THE STUDY OF THE EVOLUTION OF SURFACE HEAT ISLANDS IN THE CITY OF CRATO - CE

 Juliana Maria Oliveira Silva ^A

 Vinicius Ferreira Luna ^B

 Joyce Ferreira Gomes ^C

 Marcelo de Oliveira Moura ^D

 José Lidemberg de Sousa Lopes ^E

^A Universidade Regional do Cariri (URCA), Pimenta Crato, CE, Brasil

^B Universidade Estadual do Ceará (UECE), Fortaleza, CE, Brasil

^C Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brasil

^D Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, Brasil

^E Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL), Maceió, AL, Brasil

Recebido em: 08/06/2023 | 10/06/2024 DOI: 10.12957/tamoios.2024.76870

Correspondência para: Juliana Maria Oliveira Silva (juliana.oliveira@urca.br)

Resumo

O artigo teve por objetivo identificar as Ilhas de Calor de Superfície na cidade do Crato/CE em uma perspectiva espaço-temporal (1995-2019). Para isso utilizou-se imagens de satélite LANDSAT 5 e 8 para estimar a temperatura de superfície. As mudanças observadas na série histórica evidenciaram que a temperatura de superfície se alterou ao longo do tempo estando associada às construções urbanas e retirada da cobertura vegetal. O mapeamento efetuado demonstrou ser capaz de identificar as áreas com as maiores transformações na cidade, possibilitando compreender a relação entre vegetação e a temperatura, sendo útil para projetos de planejamento.

Palavras-chave: Temperatura de Superfície. Ilhas de Calor. Ocupação

Abstract

This article aimed to identify the Surface Heat Island Superfície in the city of Crato-CE in a space-time perspective (1995-2019). For that it was used images from the LANDSAT 5 and 8 satellite to estimate the surface temperature. The changes observed in the historical series has showed that the surface cover changed over time, being associated with urban construction and vegetation cover removal. The mapping carried out proved to be able to identify transformations in the city, making it possible to understand the relationship between vegetation and temperature, being useful for planning projects.

Keywords: Surface Temperature. heat islands. Occupation.

INTRODUÇÃO

As ilhas de calor urbano (I.C.U) constituem alterações evidenciadas na atmosfera urbana causada pelo fenômeno da urbanização nas cidades. O aparecimento das I.C.U são condicionados por alguns fatores, um deles, os materiais de construção encontrados nas cidades, pois apresentam a propriedade de absorverem o calor mais rapidamente e liberarem lentamente, diferentemente do que ocorre nas zonas rurais (GARTLAND, 2010).

Amorim (2017) definiu as Ilhas de Calor como sendo ‘bolsões de ar quente’ que se





encontram nas áreas urbanas, resultado da forma como os materiais da superfície nas cidades armazenam e dissipam a energia solar, e soma-se a isso, a produção do calor antropogênico. Oke (1976) propôs uma divisão quanto à camada da atmosfera urbana para a investigação das ilhas: A Camada do Dossel Urbano (UCL), regulada por processos de microescala, estendendo-se do nível do solo até os telhados, e a Camada Limite Urbana (UBL), localizada acima da UCL e se estendendo para a atmosfera livre, com processos relativos à meso-escala. Desta forma as I.C.U podem ser divididas em dois tipos: a Ilha de Calor Atmosférica e Ilha de Calor de Superfície e Subsuperfície (OKE, 1995).

Com o desenvolvimento do sensoriamento remoto e consequentemente o aprimoramento dos satélites em termos de resoluções espacial, temporal e radiométrica foi possível diagnosticar as Ilhas de Calor Urbana de Superfície (VOOGT e OKE, 2003). Desde 2005 verifica-se uma tendência de aumento nas pesquisas sobre as ilhas de calor utilizando-se as imagens termais, com destaque para Rao, um dos pioneiros nos estudos (ZHOU et al, 2019).

A consistência nos métodos de aquisição de dados e a disponibilidade destes em alta resolução e sem custos, para vários locais ao redor do mundo, são as vantagens únicas que os dados de sensoriamento remoto oferecem e, portanto, são mais comumente utilizados em estudos das SUHI (TETALI, et al (2022). A série do satélite Landsat é uma das mais utilizadas para os estudos da temperatura de superfície, e apesar desses dados corresponderem ao período diurno; mas à sua gratuidade, a resolução espacial e por se constituírem um dos programas mais antigos de observação da terra, é que se permitiu uma maior utilização por parte das pesquisas (ZHOU, et al 2019).

No Brasil, uma literatura considerável cresceu em torno do tema do sensoriamento remoto no estudo do clima urbano, favorecendo a utilização desta técnica como suporte para a identificação de ilhas de calor, sejam em cidades de grande, médio ou pequeno porte (LOMBARDO, 1985; MENDONÇA, 1993; TEJAS, 2017; AMORIM, 2019; TEIXEIRA e AMORIM, 2018).

A base teórica-metodológica que sustenta os trabalhos do Clima Urbano brasileiro é investigado sob a perspectiva do Sistema Clima Urbano (S.C.U) estruturado por Monteiro (1976), dividido em três subsistemas: Termodinâmico, Físico-Químico e Hidrometeorológico. Essa proposta é composta por 10 enunciados básicos, sendo o primeiro responsável por definir o clima urbano como o “clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização” (MONTEIRO, 1976, p.96). O trabalho foi desenvolvido abordando o Subsistema I – Termodinâmico, compreendendo as condições para a formação das ilhas de calor.

No entanto, a diversidade paisagística aliada às diferentes formas de uso e ocupação no país, torna-se evidente uma compreensão sistemática de como a temperatura de superfície e a ocorrência da Ilha de Calor Urbana de Superfície se comporta em cidades inseridas em outros contextos ambientais e urbanos. Nesse caso, o semiárido nordestino, onde por determinadas características naturais como a baixa latitude, já apresenta temperaturas elevadas.

Há evidências de que a variabilidade da precipitação, altas taxas de evaporação, fisionomias e sazonalidade da vegetação encontrada no semiárido, como a caatinga, desempenham um papel crucial nos valores de temperatura de superfície. Além desses condicionantes naturais, soma-se a isso a ocupação ascendente em cidades médias, e que podem favorecer o surgimento das ilhas de calor.

No domínio das “Depressões Interplanálticas do Nordeste”, classificado por Ab’Saber (2003), onde se insere o semiárido nordestino, encontram-se também áreas denominadas de ‘exceção’, que por suas características geoambientais acabam por se diferenciar no contexto da paisagem circundante.



Dentro dessas exceções, pode-se citar o ambiente que envolve o relevo do Planalto Sedimentar do Araripe, localizado ao sul do Estado do Ceará. A disposição das camadas litoestratigráficas para o Ceará, e o topo do relevo com alta permeabilidade e porosidade provenientes dos arenitos da Formação Exu, acumulam bastante água, o que vai ressurgir através de fontes na encosta do planalto voltado para o lado cearense.

A área de estudo abrange a zona urbana da cidade do Crato, com suas diferentes morfologias e a expansão da ocupação nos últimos anos em bairros mais afastados da sua área central, como por exemplo, na saída da cidade com destino a Juazeiro do Norte. Diante dessas alterações é que se verificou a necessidade de se quantificar o comportamento das temperaturas de superfícies. No Nordeste verificam-se também trabalhos na perspectiva do clima urbano considerando as Ilhas de Calor como Moura, (2008), mensurando as Ilhas de calor na cidade de Fortaleza, Silva, et al (2020), Saraiva (2014) e Estevão (2016), discutiram sobre as Ilhas em ambientes semiáridos, assim como trabalhos de Nóbrega, et al (2016) desenvolvidos na cidade de Recife.

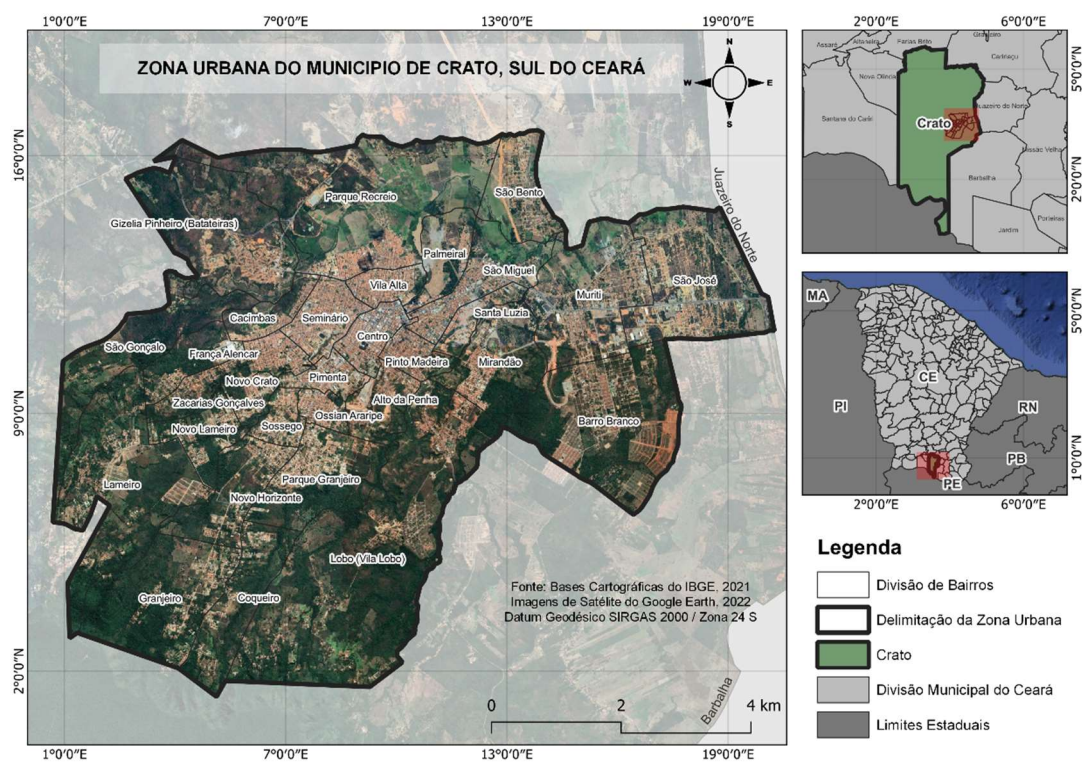
O artigo teve por objetivo analisar a formação das Ilhas de Calor de Superfície na zona urbana do município do Crato, em uma escala espaço-temporal (1995 - 2019), através do sensoriamento remoto, correlacionando estes valores com os diferentes uso e ocupação do solo, e com os elementos naturais da cidade e do seu entorno que influenciam na distribuição da temperatura no sítio urbano.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município do Crato localiza-se ao sul do estado do Ceará integrando a Região Metropolitana do Cariri, instituída em 2009. A população urbana foi aumentando ao longo dos anos, e especialmente a partir da década de 1970, passou a se sobrepor a população rural. A população de 121.462 habitantes (IBGE, 2010) e com estimativa para (2020) de 133.031 habitantes. Apresenta uma taxa de urbanização de 83,11% (IBGE, 2010; IPECE, 2010). A área de estudo e o limite adotado constitui a zona urbana da sede municipal, totalizando 30 bairros (figura 1).



Figura 1 – Localização da área de estudo com destaque para a zona urbana da cidade do Crato.



Fonte: Elaborado pelos autores

Na segunda metade dos anos 1980 e durante os anos 1990 muitos incentivos fiscais foram capitaneados no Ceará e a maioria se concentrou na Região Metropolitana de Fortaleza e nas cidades médias como Crato, Juazeiro do Norte, Sobral e Iguatu, tornando essas cidades mais atrativas e incentivando a migração das pessoas em busca de trabalho (HOLANDA, 2011).

No que concerne ao comércio, o município de uma forma geral contempla as necessidades da população, embora, em alguns casos mais específicos, os moradores afirmam que é preciso recorrer ao centro de Juazeiro do Norte (ABREU, 2017, p.86).

Quanto aos empregos formais, ressalta-se o setor de serviços, comércio, as indústrias e a administração pública (ABREU, 2017, p.88). E sobre as indústrias, Abreu (2017, p.89) destaca que entre as que atuam no município, a maioria são de transformação e, em seguida, à indústria da construção civil.

O município apresenta uma classificação climática do tipo Tropical Quente Semiárido brando e Tropical Quente Sub-úmido (FUNCEME, 2006). O planalto encontra-se a barlavento dos ventos úmidos, o que favorece os índices maiores de pluviosidade em cidades ao seu redor, como é o caso de Crato e Barbalha. As chuvas se distribuem entre os meses de janeiro a maio, após isso, observa-se uma grande diminuição, com média anual em torno de 1090mm.

As temperaturas anuais apresentam uma média entre 24 °C a 26 °C (IPECE, 2017), mas nos meses mais secos do ano a temperatura tende a aumentar e ultrapassar os 32° C no município, especialmente durante a primavera. No mês de julho, encontram-se as menores temperaturas, notadamente na madrugada, os valores podem alcançar os 18 °C. A Zona de Convergência Intertropical é o principal sistema atmosférico atuante na área para a produção



de chuvas, assim como os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que costuma atuar em janeiro de fevereiro (SILVA, 2017).

METODOLOGIA

Seleção e Tratamento das imagens de satélite

As imagens utilizadas foram da série do Landsat 5 e 8 adquiridas no site do Serviço Geológico Americano (USGS): <https://earthexplorer.usgs.gov/>. As imagens de 1995 até 2011 referem-se ao Landsat 5 (banda 6 do canal Termal com resolução de 120m), e as de 2019 do Landsat 8 (banda 10, Termal – resolução de 100 metros reamostrada para 30 metros).

Dado que o estudo envolveu análise espaço-temporal, selecionaram-se imagens do mês de agosto, equivalentes ao mesmo mês e com ausência de nuvens, pois estas interferem nos valores dos pixels de temperatura, portanto, trabalhou-se as imagens de 1995, 2001, 2011 e 2019 (quadro 01).

Quadro 01: Data das imagens do satélite LANDSAT 5 e 8 utilizados na pesquisa

Data	Horário Local
01/08/1995	08:51
01/08/2001	09:27
29/08/2011	09:36
03/08/2019	09:47

Fonte: Autores

As imagens são disponibilizadas em formato ‘*Geotiff*’ com Projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e Datum WGS 84 e projetadas para o Norte. Em vista disso, sendo necessária a reprojeção destas para o Datum Geodésico da América do Sul e adotado pelo Brasil, o Sirgas 2000, e para a área de estudo a zona 24 Sul.

O software livre Qgis 3.4 foi utilizado para essas operações de conversão de projeção, incluindo a correção atmosférica das imagens pelo método DOS 1 (*Dark Object Subtraction 1*) e a transformação para temperatura de superfície em graus celsius, através do plugin disponível (SCP – *Semi Automatic Classification*) com as fórmulas correspondentes para a geração da imagem termal. As estatísticas das cenas raster como média, máximo e mínimo utilizou-se dos algoritmos disponíveis no próprio Qgis.

As cenas foram trabalhadas na sua totalidade, e posteriormente, realizou-se o recorte para a área de estudo tendo como limite os ‘*shapes*’ da zona urbana da cidade do Crato disponibilizados no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística do ano de 2018 (www.ibge.gov.br).

O mapa de Uso e Ocupação foi produzido com as imagens de cada ano trabalhado e com o mesmo plugin SCP para a correção atmosférica e criação das bandas em RGB, necessária para a criação das classes de uso para o mapeamento da ocupação. As classes adotadas foram de Vegetação densa, representando um tipo de vegetação que predominantemente ocupa a encosta da Chapada (Mata Úmida), Vegetação menos densa (do tipo Subcaducifólia), Mata ciliar (ao longo das planície fluviais, quando possível identificar pelos pixels), Solo exposto: categoria mapeada para as áreas que não apresentavam vegetação ou nenhum tipo de ocupação, Ocupação urbana: Referem-se a todos os tipos sejam eles: residencial, comercial, serviços, industrial e áreas de lazer, Loteamentos: destinados à novas construções.

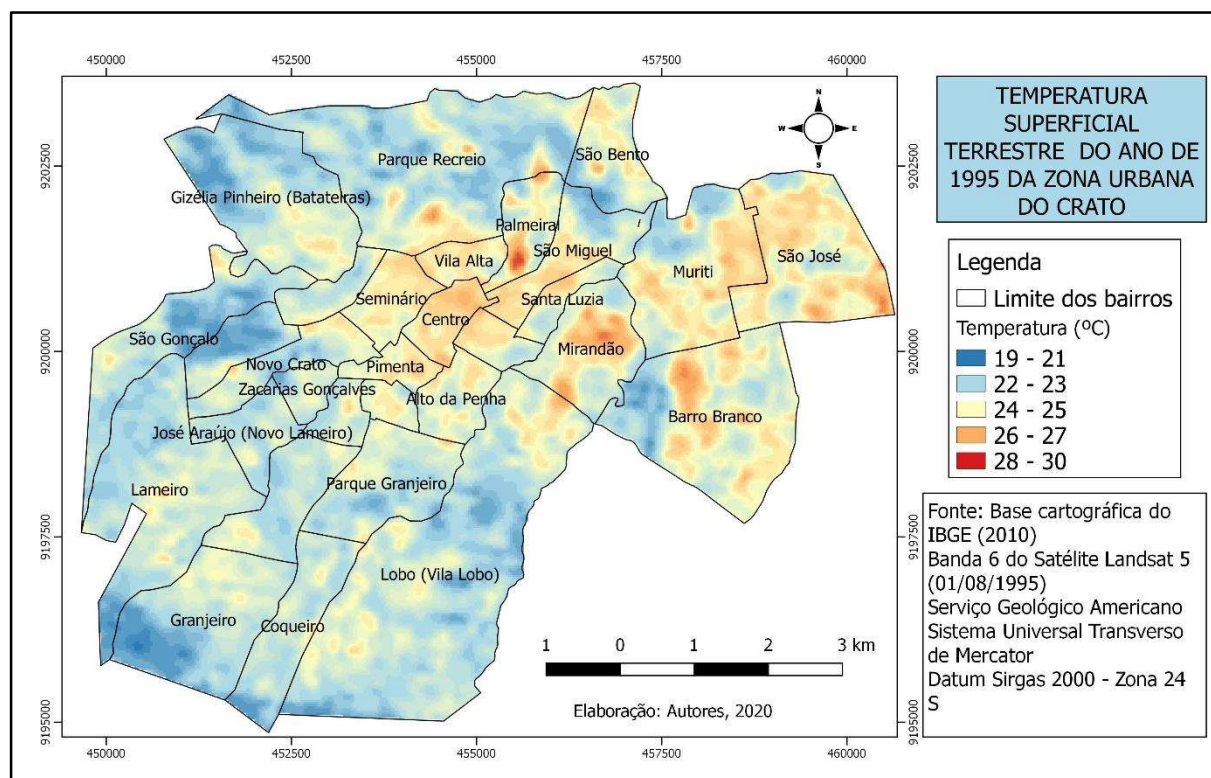


RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evolução da Temperatura de Superfície Terrestre entre 1995 - 2019

As temperaturas encontradas variaram de acordo com condicionantes relacionados à ocupação urbana, vegetação, corpos hídricos e solo exposto. Os tons de azuis mais escuros para o ano de 1995 (figura 3), apresentam temperatura entre 19,2°C a 21°C, bem amenas e caracterizando as áreas com presença maior de vegetação em relação ao porte e densidade, e corpos d'água. Os locais com temperaturas mais elevadas em tons do laranja, indicam áreas com baixa cobertura vegetal (figura 04), e uma presença maior de ocupação, ou o solo com vegetação espaçada ou sem vegetação.

Figura 03 - Espacialização da temperatura de superfície para o ano de 1995 na zona urbana do Crato



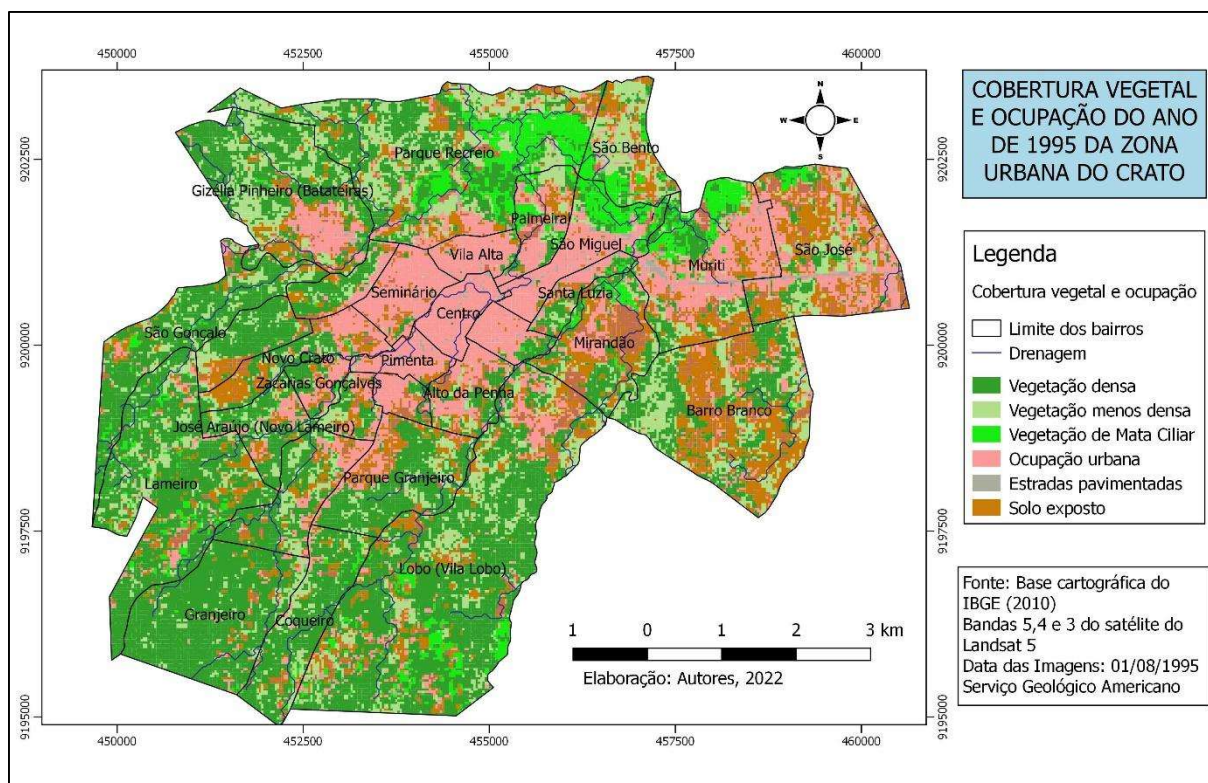
Fonte: Os autores

No mapa de 1995 (figura 04) observa-se uma maior ocupação urbana nos bairros da parte central da cidade como o Centro, Seminário, Pimenta que são bairros mais antigos. Uma ocupação mais espalhada nos bairros do Lameiro e Granjeiro. O Mirandão que no mapa de 2019 aparece mais ocupado, em 1995 apresenta uma baixa de ocupação. No Parque Recreio é



possível observar uma presença maior de cobertura vegetal, especialmente da mata ciliar, próxima ao rio da Batateiras. Os bairros Muriti e São José (na saída do Crato em direção a Juzeiro do Norte) também apresentam maiores ocupações na sua área. O solo exposto tem ampla distribuição na área. Com o passar do tempo, algumas dessas áreas foram sendo ocupadas pela expansão urbana. Percebe-se que há ocupação próxima a encosta relacionadas a sítios e atividades agrícolas.

Figura 04: Mapa de Cobertura Vegetal e Ocupação na zona urbana do Crato em 1995



Fonte: Os autores

Em 1995 os maiores valores de temperatura de superfície encontravam-se nas áreas mais urbanizadas, especialmente nos bairros do Centro, Seminário e Pimenta (figuras 03 e 04), com valores entre 26 e 27°C. Os bairros localizados em direção à encosta do Planalto como Granjeiro, Novo Horizonte e Coqueiro, as temperaturas são significativamente menores, devido ao porte da vegetação ser mais densa e a ocupação mais dispersa e com menores construções. Na área da encosta em que ocorre a exposição das rochas, ocorre o efeito contrário, a temperatura tende a ser maior por causa da ausência de superfície resfriativa, como é o caso da vegetação.

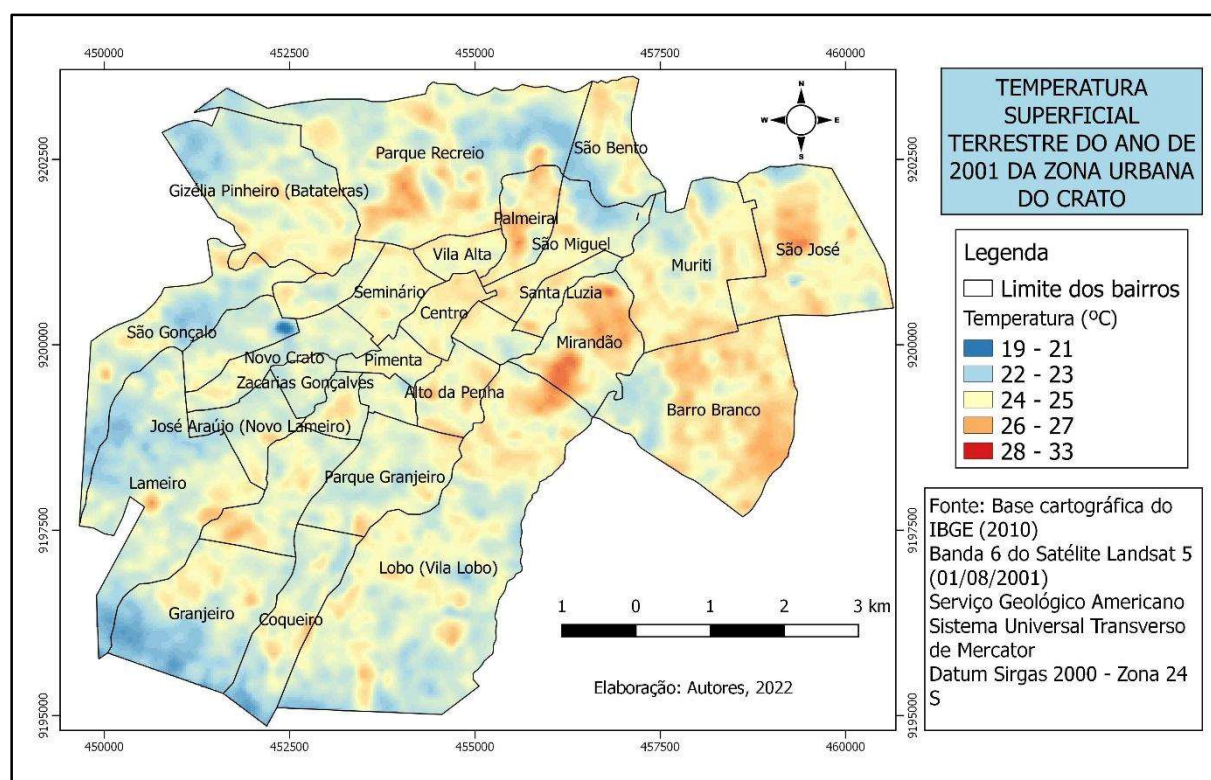
As áreas correspondentes entre 24°C e 25°C prevalecem setores com ocupação mais baixa, mas também áreas com vegetação do tipo gramíneas e mais espaçada em locais afastados da parte central da cidade. Em 1995, a ocupação se dá mais na área central do município, tanto que os valores de temperatura maiores se concentram também nessas áreas.

Os intervalos equivalentes entre 28°C e 30°C encontram-se distribuídas em pequenos setores da área urbana, e se referem ao solo desnudo, menor percentual vegetação, os quais exercem relação direta com os valores de temperatura mostrados no mapa.



As temperaturas com valores entre 26°C e ultrapassando os 30°C passou a ser mais expandida na cidade em 2001 (figura 5). Ao longo da planície do rio Batateiras e Granjeiro (bairros Gizélia Pinheiro e Parque Recreio) setores com 28°C a 33°C, associado ao solo sem vegetação ou com partes de gramíneas, assim como no bairro Mirandão, Barro Branco e São José. Esta mesma situação foi encontrada em 2011, mas com temperaturas acima de 35°C, adentrando também outros bairros.

Figura 05 - Espacialização da temperatura de superfície para o ano de 2001 na zona urbana do Crato



Fonte: os autores

As temperaturas mais amenas representada pelos tons de azul-escuro e claro coincidem com áreas de vegetação mais conservada e sem ocupação no mapa de 2001 (figura 6). Observa-se no Parque Recreio um aumento das temperaturas em torno de 30°C, e uma diminuição das temperaturas de 20°C, se compararmos com o ano de 1995. Essa área com um tempo foi desmatada para dar lugar a novas ocupações, ou a atividades agrícolas temporárias ou permanentes.

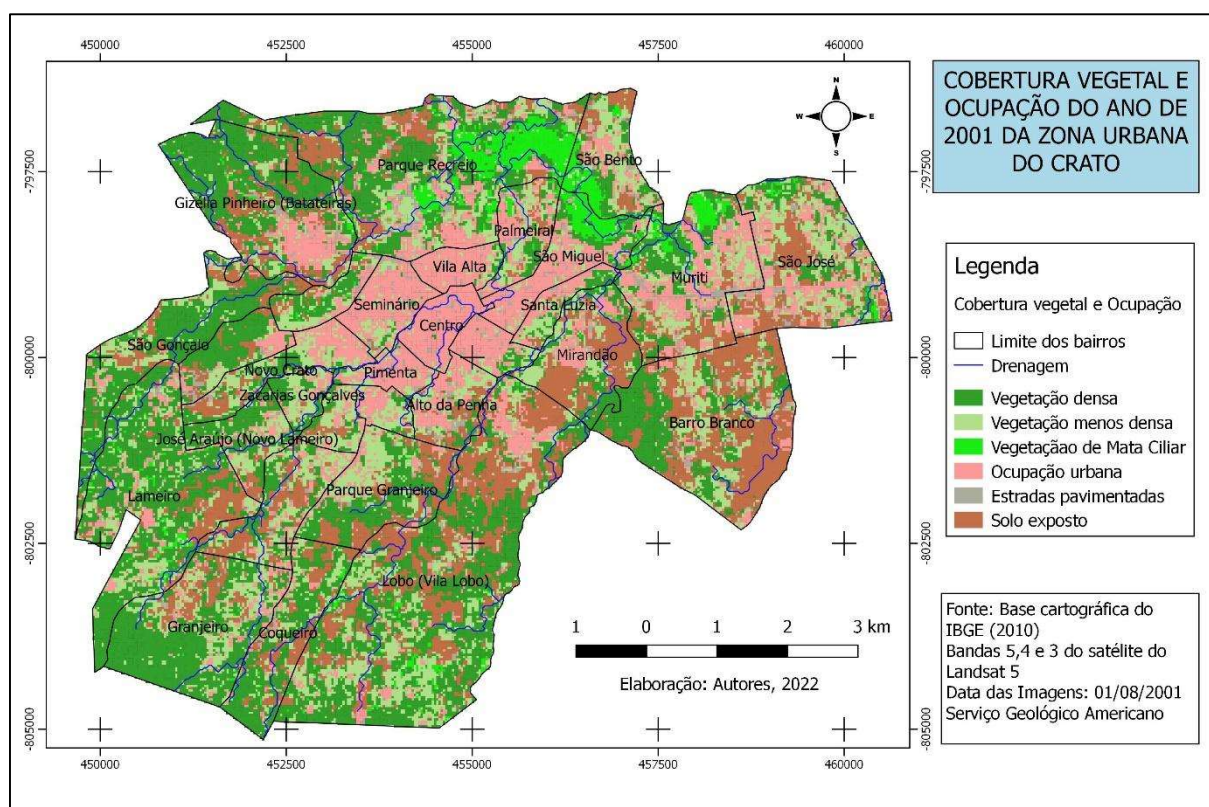
Em 2001 (figura 06) a ocupação se espalha mais na cidade. A parte central já densamente ocupada. Os bairros em direção a Juazeiro do Norte como Muriti, São José e Barro Branco também com uma ocupação maior. A presença de ocupações em bairros em direção a encosta como Granjeiro e Novo Horizonte. No Parque Recreio ocupações próximas a mata ciliar do rio. O solo exposto ainda com ampla distribuição.

No Mirandão, apesar de a ocupação não ser tão expressiva no ano de 2001, as áreas com solo exposto fizeram com que a temperatura de superfície apresentasse números mais altos,



ultrapassando os 30°C. As altas temperaturas relacionadas ao solo exposto podem estar associadas às próprias propriedades do solo, além da disponibilidade de água, por exemplo, em solos arenosos a baixa retenção de água e inércia térmica favorecem valores de temperatura superficial mais elevadas (ABULIBDEH, 2021).

Figura 06: Mapa de Cobertura Vegetal e Ocupação na zona urbana do Crato em 2001

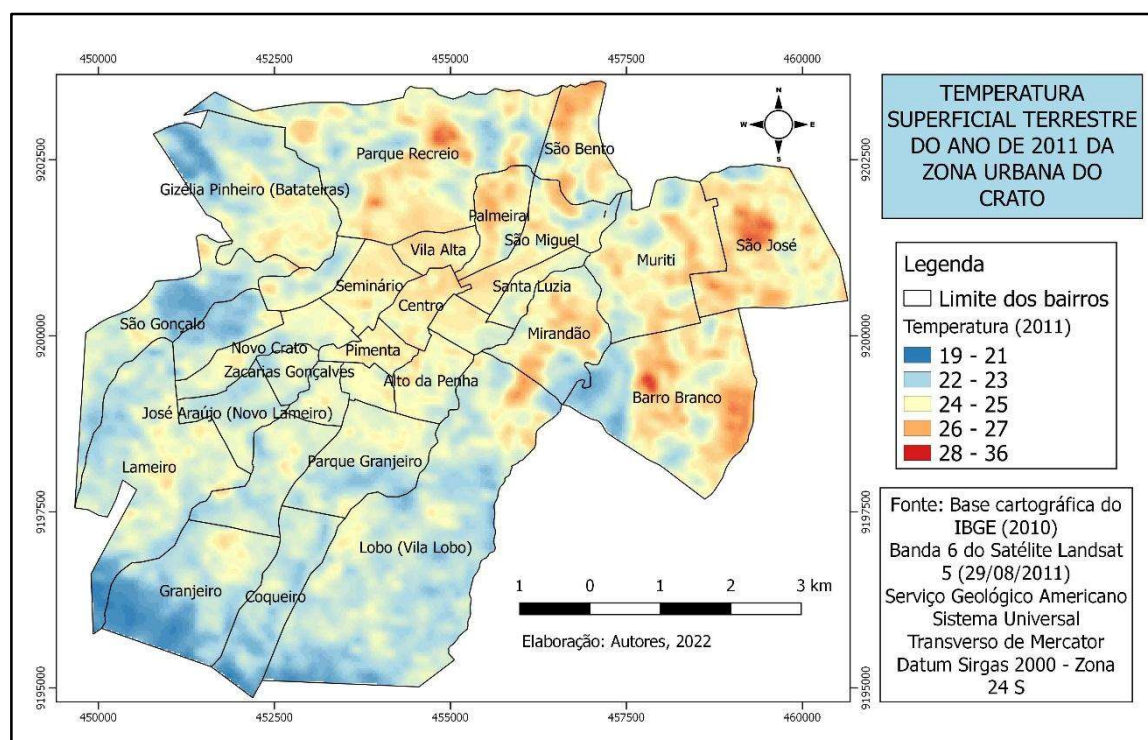


Fonte: os autores

Observa-se um crescimento da temperatura na área central da cidade, e em bairros como Grangeiro e Parque Grangeiro, e nas imediações próximas às áreas de planície fluviais, perto do bairro Parque Recreio. Segundo Ribeiro (2004), na década de 1970, grande parte da encosta, nas margens da Avenida Pedro Felício Cavalcante que leva ao Clube Recreativo Grangeiro, foi loteada. Hoje é possível observar um número maior de residências adjacentes à avenida.

As menores temperaturas identificadas em 2011 (figura 7) seguem as mesmas características dos mapas anteriores, associada a vegetação mais densa do tipo Mata Úmida na encosta do Planalto, e em setores preservados de vegetação Subcaducifólia e Ciliar (figura 07). As áreas com maior concentração de massa edificada apresentam temperaturas acima de 30°C. As manchas com as intensidades em vermelho referem-se a temperatura de 36°C e com solo sem cobertura vegetal.

Figura 07 - Espacialização da temperatura de superfície para o ano de 2011 na zona urbana do Crato

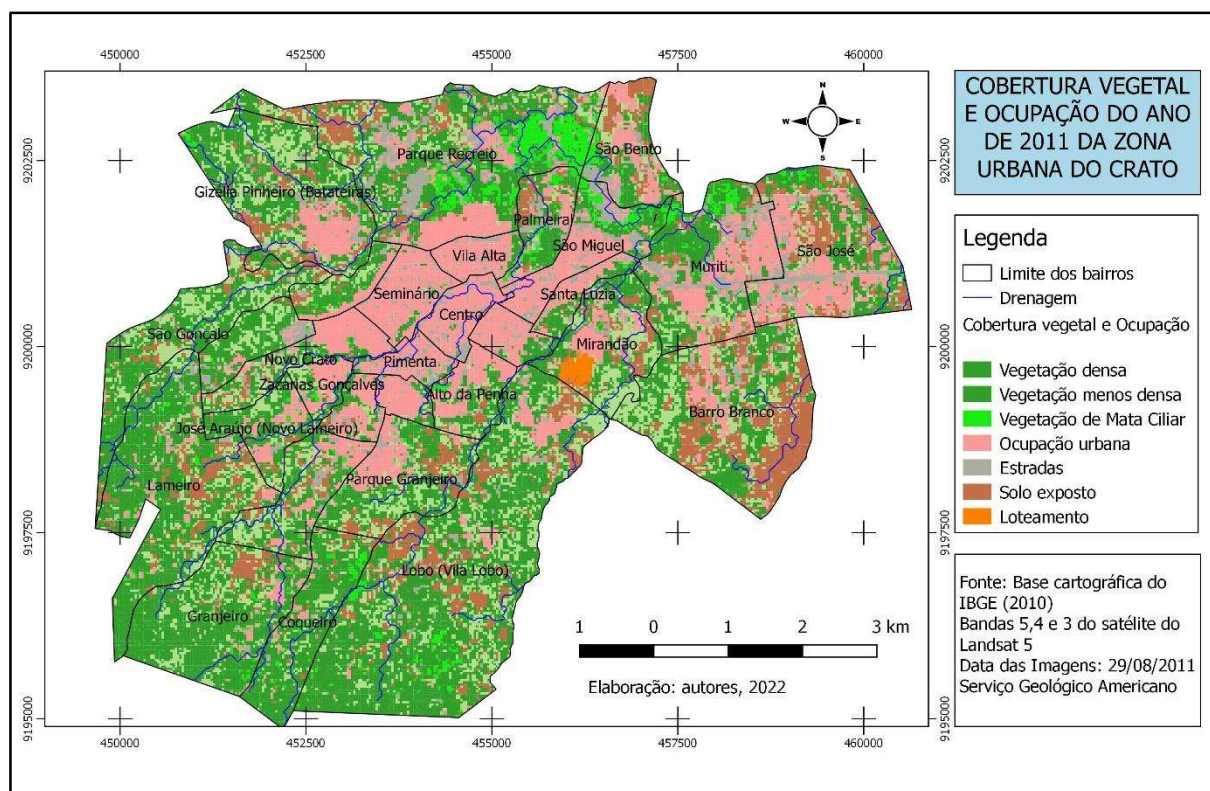


Fonte: os autores

O ano de 2011 apresenta crescimento na cidade em relação às novas construções associadas a programas de financiamento de crédito imobiliário, identificando-se loteamentos destinados para tais empreendimentos (figura 08). Os bairros Granjeiro, Parque Granjeiro e Mirandão são exemplos.

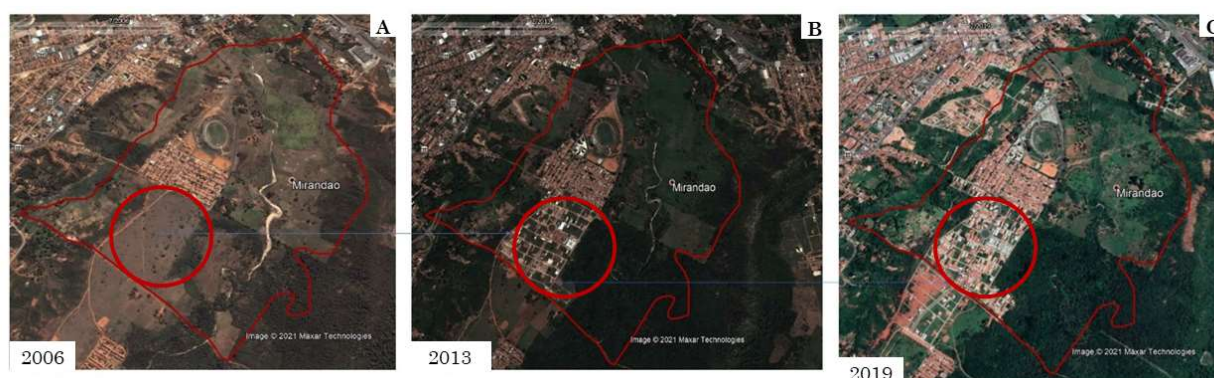
É perceptível o crescimento de loteamentos no bairro Mirandão de 2006 a 2019 (figura 9). O que é de se esperar que nesse bairro as temperaturas de superfície tiveram seus valores e intensidades associados com as áreas de solo exposto, as quais posteriormente foram destinadas para as novas construções. Observa-se na imagem o crescimento adjacente ao bairro ultrapassando seus limites.

Figura 08: Mapa de Cobertura Vegetal e Ocupação na zona urbana do Crato em 2011



Fonte: os autores

Figura 9 – Expansão das ocupações no bairro Mirandão ao longo dos anos de 2006, 2013 e 2019.



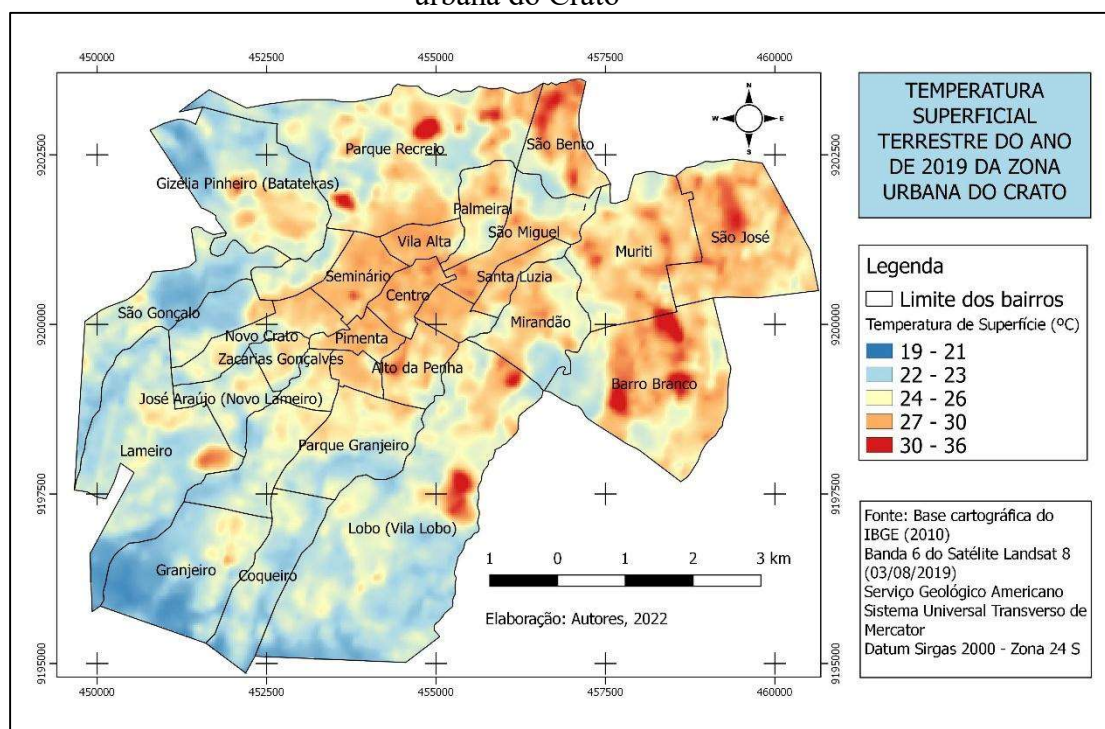
Fonte: autores, 2023. Imagens do Google Earth, 2019.

O ano de 2019 (figura 10) as temperaturas entre 19°C e 21°C encontram-se em pequenos setores da área, associada à Mata Úmida na encosta ou vegetação Subcaducifolia mais conservada. A classe com manchas de tons em vermelho entre 30°C e 36°C, sendo os valores de 36°C ou até mesmo pequenos pixels de 38°C, estão associados à categoria de solos sem vegetação, ou vegetação mais espaçada e com folhagem mais seca. Nas áreas urbanas,



especialmente a mais central, a temperatura de superfície variou de 27 a 30°C, e em localidades de residências mais dispersas, 24°C a 27°C.

Figura 10 - Espacialização da temperatura de superfície para o ano de 2019 na zona urbana do Crato



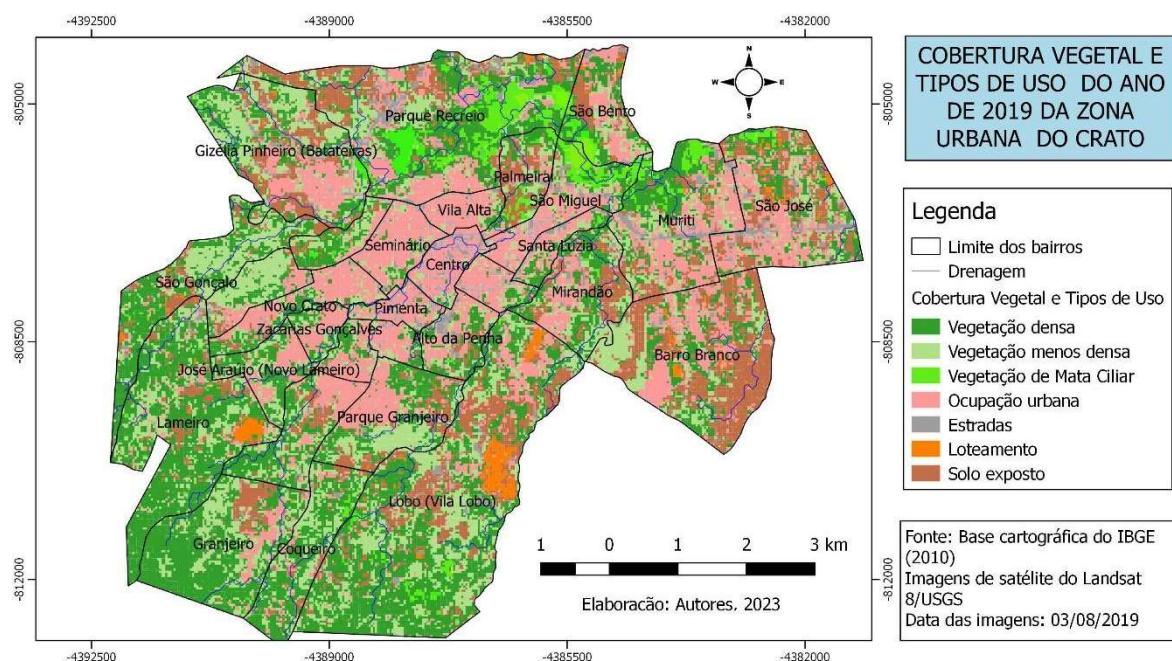
Fonte: os autores

No mapa de 2019 (figura 11) nota-se setores do bairro Granjeiro e Lameiro com ocupação maior, mas também se tem comunidades e sítios desde a década de 1980. O bairro Lameiro já foi distrito do Crato, e posteriormente passou a categoria de bairro, e verifica-se nas imediações do chamado Sítio Rosto, populações mais antiga da área. O bairro também faz limite com o distrito do Belmonte, que também conta com ocupações. Segundo Magalhães (2006), a ocupação no bairro Granjeiro se deu, efetivamente, a partir da instalação do Clube Recreativo Granjeiro, construído nos patamares da Chapada do Araripe, que valorizou os terrenos vizinhos transformados posteriormente em loteamentos, vivendas, chácaras etc.

Nota-se também uma ocupação no limite do município do Crato com Juazeiro do Norte ao longo da Avenida Padre Cícero, nos bairros Parque Recreio, Batateiras e São Bento perto da planície fluvial do rio da Batateiras, a mata ciliar, está boa parte degradada, sendo ocupada por atividades agrícolas e/ou construções (LUNA, et al 2024). Os bairros Barro Branco, Mirandão e Muriti apresentam ainda solo exposto com terrenos loteados para futuras instalações (figura 12). No bairro Sossego também se verificam lotes que podem ser para construções futuras.



Figura 11 - Espacialização da temperatura de superfície para o ano de 2019 na zona urbana do Crato



Fonte: autores

Figura 12: Área para construções no bairro Mirandão



Fonte: autores

Esses resultados sugerem que o aumento da temperatura de superfície na cidade deu-se em locais em que ocorreu a expansão urbana, onde a cobertura vegetal foi retirada para dar lugar às novas construções.

Outra explicação possível para essas alterações da temperatura de superfície, é que, não apenas as construções urbanas interferiram, mas a categoria de 'Solo exposto' associado a



agricultura estacional, ou sem uso identificado, assim como a cobertura vegetal do tipo 'Caatinga', e a sazonalidade do período analisado também influenciaram nos valores encontrados, corroborando que outras variáveis além da ocupação, também influenciam no aumento da temperatura superficial terrestre (HAN, et al 2023; LAZZARINI, et al 2015).

A cobertura vegetal e o grau de ocupação influenciaram no comportamento das temperaturas. A ocorrência tanto das ilhas de calor de superfície como atmosférica são associadas a expansão urbana e atividades humanas, mas outros fatores como climáticos, estações do ano, horários diurno e noturno, e localização podem controlar a intensidade e gerar situações distintas das ilhas (HAASHEMI et al, 2016; LAZZARINI, et al 2015).

Alguns fatores podem interferir nos valores da temperatura na evolução espaço-temporal, como por exemplo, a resolução das imagens do Landsat 5 e 8. As imagens do Landsat 8 apresentam uma maior resolução espacial e radiométrica, influenciando no detalhamento das temperaturas.

Na época da coleta das imagens observa-se uma ausência quase que total de chuvas, os solos estão mais ressecados e a cobertura vegetal com a folhagem mais seca em determinados pontos, contribuindo para a elevação da temperatura de superfície. Esse aumento confirma a associação entre solo exposto e temperatura de superfície, apoiado ainda mais na ideia de Ugeda-Júnior (2013, p. 295), que em estudos dessa temática afirma "*o solo exposto e seco tem seu albedo reduzido, ou seja, retém mais calor, refletindo menos, além de ter sua capacidade térmica diminuída*".

Diante dos levantamentos realizados e da análise dos dados verificou-se que distintos valores e alterações das temperaturas de superfície estão relacionadas à mudança da ocupação urbana na cidade que aumentou com o tempo e no espaço, o que antes estava restrito mais à área central, agora se encontra mais espalhada na cidade. Além disso, a redução da vegetação em áreas da cidade tanto para novas construções como para outros tipos de uso, favoreceu os contrastes encontrados na temperatura intraurbana.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Sensoriamento Remoto mostrou-se uma das geotecnologias eficaz para o mapeamento das ilhas de calor, pois não demanda de um grande aparato instrumental como a metodologia dos pontos fixos e transectos. Desta forma constitui uma possibilidade para futuras pesquisas que não possuem infraestrutura para a coleta de dados no campo, e podem se utilizar dos produtos disponibilizados por satélites em diferentes escalas espaciais e temporais.

O Landsat por constituir um dos que possuem longa base de dados acessíveis, acaba por ser bastante adotado nas pesquisas. O Landsat costuma passar durante o dia, então as temperaturas de superfície geralmente são maiores. Quando se trabalha com ilhas de calor é interessante avaliar o fenômeno logo após o pôr-do-sol, que é quando as superfícies começam a devolver o calor armazenado durante o dia, posto que as áreas mais urbanizadas são mais quentes após o entardecer. No entanto, as bandas termais noturnas são disponíveis nos sensores MODIS dos satélites Terra e Aqua, mas com resolução espacial mais baixa (1km), mas com boa resolução temporal (1 dia), sendo mais adequada para estudos em escala regional. Outra possibilidade é o sensor Aster que possui uma melhor resolução espacial, porém, com uma disponibilidade de série histórica menor para análises.

Diante dos levantamentos realizados e da análise dos dados verificou-se que as temperaturas de superfície entre 1995 e 2019, foi se alterando, apresentando uma variabilidade no tempo e espaço. A temperatura de superfície pode se modificar conforme o grau de



vegetação e massa edificada, indicando bairros com uma maior concentração urbana, e outros com uma presença mais acentuada da vegetação. Isso poderá guiar futuros projetos na área no tocante à arborização, devido ao resfriamento proporcionado pela vegetação. Como sugestão pode-se efetuar uma comparação da sazonalidade dos períodos chuvosos e secos, e averiguar de quanto seria as diferenças das ilhas de calor de acordo com a sazonalidade da área de estudo.

O clima urbano muitas vezes é negligenciado em planos diretores, não considerando as características da atmosfera urbana, e, podem com o tempo intensificar as Ilhas de Calor, tanto a atmosférica como a de superfície, o que poderá influenciar no conforto térmico.

AGRADECIMENTOS

O trabalho faz parte do projeto de pesquisa “Le Semi-aride du Nordeste brésilien à l’Anthropocène –SANA / JEAI” financiado pelo IRD –INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT através do Programme Jeunes equipes Associees a IRD e FUNCAP (número do processo: IRD-0195-00006.01.00/22 SPU Nº: 07219440/2022) e com participação conjunta de pesquisadores do IRD, URCA e UNEAL.

REFERÊNCIAS

ABREU, R.C. A expansão urbana da cidade do Crato no contexto da região metropolitana do Cariri (RMCariri) no Estado do Ceará. (Dissertação de Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral. 2017. 115f.

ABULIBDEH, A. Analysis of urban heat island characteristics and mitigation strategies for eight arid and semi-arid gulf region cities. *Environmental Earth Science* 80, 259. 2021. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09540-7>.

AB’SÁBER, A.N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003, 159 p.

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. Esp., p. 22-46, 2019. <https://doi.org/10.5380/abclima.v0i0.65136>

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.

CARDOSO, R. DOS S; AMORIM, M. C. de C. T. Características do clima urbano em presidente prudente/sp a partir de dados de temperatura e umidade relativa do ar e técnicas de sensoriamento remoto. *Revista do Departamento De Geografia*, 28, 39-64. 2015. <https://doi.org/10.11606/rdg.v28i0.494>.

ESTEVÃO, G.S. Sensoriamento remoto como contribuição ao estudo das ilhas de calor em Juazeiro do Norte. 2016. 157f. (Dissertação de Mestrado). Fortaleza: Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFC, 2016.

FUNCEME. Zoneamento geoambiental do Estado do Ceará. Parte II - Mesorregião do Sul Cearense. Fortaleza: FUNCEME, 2006.

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

HAN, L; LU, L; FU, P; REN, C; CAI, M; LI, Q. Exploring the seasonality of surface urban heat islands using enhanced land surface temperature in a semi-arid city. *Urban Climate*, Volume 49, 2023, 101455, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101455>.

HOLANDA, V. C. C. Transformações sócioespaciais das cidades médias cearenses. *Revista de Geografia (Recife)*. Recife. v. 28, p. 82-92. 2011.



- IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará). Crato-CE: perfil básico do município. Fortaleza/CE. 2017.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010. Sinopse, 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&cod> Acesso em: 07 julho. 2019.
- LAZZARINI, M., MOLINI, A., MARPU, P. R., OUARDA, T. B., & GHEDIRA, H. Urban climate modifications in hot desert cities: The role of land cover, local climate, and seasonality. *Geophysical Research Letters*, 44(4222), 9980–9989. 2015. <https://doi.org/10.1002/2015gl066534>
- LUNA, V., FERNANDES ALCÂNTARA, A. P., & Oliveira Silva, J. M. (2024). Ilhas de calor e conforto térmico na cidade do Crato - CE. *Revista Contexto Geográfico*, 9(18), 16–29. <https://doi.org/10.28998/contegeo.9i.18.16796>
- LOMBARDO, M. A. Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. Hucitec, São Paulo. 244. p. 1985.
- MENDONÇA, F.A. O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica para o estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. (Tese de Doutorado). São Paulo: FFLCH/USP- Programa de Pós-Graduação em Geografia, 1993, 300p.
- MONTEIRO, C. A. F. Teoria e Clima Urbano. Série Teses e Monografias, nº25. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1976.181p.
- MOURA, M. O; SALES, M. C. L; ZANELLA, M. E. Ilhas Térmicas na cidade de Fortaleza. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 28, p. 33-44, 2008.
- NÓBREGA, R. S., DOS SANTOS, P. F. C., & MOREIRA, E. B. M. Morfologia urbana e ilhas de calor na cidade do Recife/pe: distribuição espacial e intensidade. *Revista De Geografia*, 33(4). 2016.
- OKE, T. R. The heat island of the urban boundary layer: Characteristics, causes and effects. In *Wind Climate in Cities*, ed. J. E. Cermak et al., pp. 81–107. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 1995.
- OKE T.R. The Distinction between Canopy and Boundary-layer Heat Islands, *Atmosphere*, 14, 268–277. 1976.
- SARAIVA, A.L.B.C. O Clima Urbano de Mossoró (RN): o subsistema termodinâmico. 2014. 234f. (Dissertação de Mestrado). Vitória: Programa de Pós- Graduação em Geografia/UFS, 2014.
- SILVA, J.M.O. Utilização de anos-padrão no estudo da variabilidade pluviométrica no município do Crato/Ceará. In: PEREZ-FILHO, A; AMORIM, R.R. (orgs). *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*. Campinas: Instituto de Geociências, UNICAMP, 2017. DOI - 10.20396/sbgfa.v1i2017.2606 - ISBN 978-85-85369-16-3. Páginas 2060-2072.
- SILVA, J. M. O., MOURA, M. DE O., & LUNA, V. F. (2020). Ilhas de calor urbano em cidade do semiárido nordestino. *GeoTextos*, 16(2). <https://doi.org/10.9771/geo.v16i2.35939>
- RIBEIRO, S.C. Susceptibilidade aos Processos Erosivos Superficiais com Base na Dinâmica Geomorfológica na Microbacia do Rio Granjeiro, Crato/CE. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia / UFRJ. Rio de Janeiro. 148p. 2004.
- TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. DE C. T. O estudo da ilha de calor em cidade de pequeno porte: algumas contribuições. *Sociedade & Natureza*. Uberlândia. v. 30, n. 2, p. 186-209. 2018. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-9>.
- TEJAS, G. T; NUNES, DORISVALDER, D; SOUZA, R. M. DA S. DE; CORRÊA, A. C. S; WATANABE, MICHEL. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio do sensoriamento remoto na cidade de Porto Velho/RO (1985-2011). *CONFINS (PARIS)*, v. 32, p. 1-24, 2017.
- TETALI, S.; BAIRD, N.; KLIMA, K. A multicity analysis of daytime Surface Urban Heat Islands in India and the US. *Sustainable Cities and Society*, Volume 77, February 2022, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103568>.



UGEDA JÚNIOR, J. C. Correlação entre a temperatura da superfície e temperatura do ar na cidade de Jales-SP. In: Margarete Cristiane Trindade Amorim, João Lima Sant'Anna Neto e Ana Monteiro. (Org.). Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: Outras Expressões, v.1, 2013. p. 291-316.

VOOGT, J. A., OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment, vol. 86, pp. 370-384. 2003.

ZHOU, D.; XIAO, J.; BONAFONI, S.; BERGER, C.; DEILAMI, K.; ZHOU, Y. FROLKING, S.; YAO, R.; QIAO, Z.; SOBRINO, J.A. Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges and Perspectives. *Sensor remoto*. 2019, 11,48. <https://doi.org/10.3390/rs11010048>

COMO CITAR ESTE TRABALHO

SILVA, Juliana Maria Oliveira. LUNA, Vinicius Ferreira. GOMES, Joyce Ferreira. MOURA, Marcelo de Oliveira. LOPES, José Lidemberg de Sousa. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da evolução das ilhas de calor urbana de superfície na cidade do Crato - CE. *Revista Tamoios*, São Gonçalo, v. 20, n. 2, p. 231-247, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/tamoios.2024.76870>. Acesso em: DD MM. AAAA.