

TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE E NDVI DOS BAIRROS DA ÁREA URBANA DE ARAPIRACA – AL: UMA ANÁLISE A PARTIR DAS ESTATÍSTICAS ZONAIS

João Pedro Luiz Santos da Silva

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Maceió, AL, Brasil.
joaopedro.luiiz@gmail.com

Daniela Dantas de Menezes Ribeiro

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Maceió, AL, Brasil
daniela.ribeiro@igdema.ufal.br

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre a cobertura vegetal, dada pelo *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), e a Temperatura Superficial Terrestre (TST) da área urbana do município de Arapiraca, Alagoas, utilizando para isso as estatísticas zonais extraídas dos bairros. Para a execução do trabalho foram utilizadas as bandas 2,3,4,5 e 8 do satélite Landsat8 para composição de imagens do terreno e mapeamento do NDVI, e a banda 10 para o mapeamento da TST da área de estudo. Com base nas estatísticas zonais observa-se uma correlação negativa entre os valores de NDVI e TST, ou seja, os bairros que apresentam valores altos de NDVI, em geral, mostram valores baixos de TST, e aqueles que apresentam valores baixos de NDVI, indicam altos valores de TST, o que sugere maiores concentrações de áreas com vegetação em bairros com menores valores de TST. Nesse contexto, as técnicas de processamento de imagens aplicadas aos dados de satélite podem ser utilizadas nas ações de monitoramento e planejamento ambiental urbano, detectando alterações na vegetação e mudanças na temperatura da superfície do terreno relacionadas às atividades antrópicas.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Imagens de Satélite. NDVI. Temperatura.

LAND SURFACE TEMPERATURE AND NDVI OF ARAPIRACA URBAN AREA DISTRICTS – AL: AN ANALYSIS FROM ZONAL STATISTICS

ABSTRACT

This article aims to carry out a comparative analysis between the vegetation cover, given by the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and the Terrestrial Surface Temperature (TST) of the urban area of the municipality of Arapiraca, Alagoas, using the zonal statistics extracted of the districts. In order to execute of the research, bands 2,3,4,5 and 8 of the Landsat8 satellite were used to compose terrain images and NDVI mapping, and band 10 to map the TST of the study area. Based on the zonal statistics, a negative correlation is observed between the values of NDVI and TST, the districts that present high values of NDVI, in general, show low values of TST, and those that present low values of NDVI, indicate high TST values, which suggests higher concentrations of areas with vegetation in the districts with lower TST values. In this context, image processing techniques applied to satellite data can be used in monitoring and urban environmental planning actions, detecting changes in vegetation and changes in the temperature of the land related to anthropic activities surface.

Keywords: Remote Sensing. Satellite Images. NDVI. Temperature.

INTRODUÇÃO

No Brasil e também no mundo, a maior parte da população habita nas cidades, principalmente nos grandes centros urbanos. Estima-se que 84,72% dos brasileiros vivem em áreas urbanas (IBGE, 2021) e a perspectiva é de que esse número aumente com o tempo. A grande concentração de habitantes nas cidades, quando ocorre de maneira intensa e desorganizada, pode ocasionar prejuízos ao meio ambiente.

O ser humano pode contribuir para as alterações climáticas, e no caso das cidades pode influenciar no microclima urbano, através da verticalização urbana, remoção da vegetação, industrialização, entre outras atividades. Nesse contexto, as cidades quando comparadas às áreas ao redor, passam a apresentar alterações nos valores registrados de temperatura, umidade, ventos, precipitação e áreas verdes (SANTOS, 2011; BEZERRA e AVILA, 2017).

Uma das principais razões para isso encontra-se nas mudanças do uso e cobertura do solo das cidades. Essas tendem a apresentar solos impermeáveis, menor área de cobertura vegetal e rugosidades de terreno acentuadas, o que leva a uma má circulação dos ventos dentro no perímetro urbano.

As alterações no microclima urbano, sobretudo aquelas referentes à temperatura, associadas com a retirada da vegetação, indicam que quanto menor a cobertura vegetal em determinada área urbana, maior também será a temperatura da mesma (NASCIMENTO e BARROS, 2009; SANTOS, 2011). Dessa forma, a vegetação possui um papel fundamental no que diz respeito ao controle da temperatura dos centros urbanos, sobretudo no que diz respeito ao conforto térmico dos indivíduos.

Schiffer e Frota (1999) afirmam que situações de desconforto, quando o sistema regulador de temperatura do corpo humano está funcionando em excesso, podem ocasionar fadiga termohidrométrica e, entre outras coisas, diminuir o rendimento do trabalhador. Além disso, as autoras citam que para o trabalho físico, o aumento na temperatura do ambiente de 20°C para 24°C já é o suficiente para diminuir o rendimento de um indivíduo em cerca de 15%. Logo, entender de que forma se dão as alterações no clima urbano das cidades é de vital importância para o conforto ambiental da população e gerenciamento do uso e ocupação do solo em áreas urbanas.

Nesse contexto, as imagens de satélite e o sensoriamento remoto surgem como ferramentas para análise do campo térmico (PARANHOS FILHO et al., 2021). Isso porque, permitem uma melhor análise da distribuição da temperatura num determinado território (MONTEIRO e SILVEIRA, 2013), especialmente quando comparado ao método padrão de análise da temperatura em cidades, através da coleta local de dados de temperatura do ar em abrigos termométricos ou com transectos móveis e posterior representação da temperatura do ar em isolinhas, ainda que os registros de temperatura obtidos pelo último sejam mais precisos (AMORIM; SANT'ANNA NETO; DUBREUIL, 2009; LUCENA, 2019).

No que diz respeito ao *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), tem sido amplamente utilizado para o monitoramento e avaliação da vegetação, uma vez que torna possível caracterizar os seus parâmetros biofísicos, apresentando valores normalizados que variam de -1 a 1 (PARANHOS FILHO et al., 2021). Assim, os valores negativos representam locais com pouca ou nenhuma vegetação e valores positivos em áreas de vegetação densa ou arbórea, calculados através da operação entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo.

Diante das reflexões apresentadas, esse trabalho tem o objetivo de caracterizar a distribuição da cobertura vegetal na área urbana de Arapiraca, através do NDVI, como também fazer uma análise comparativa com a Temperatura Superficial Terrestre (TST) e a forma com que essa se encontra distribuída na área de estudo.

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

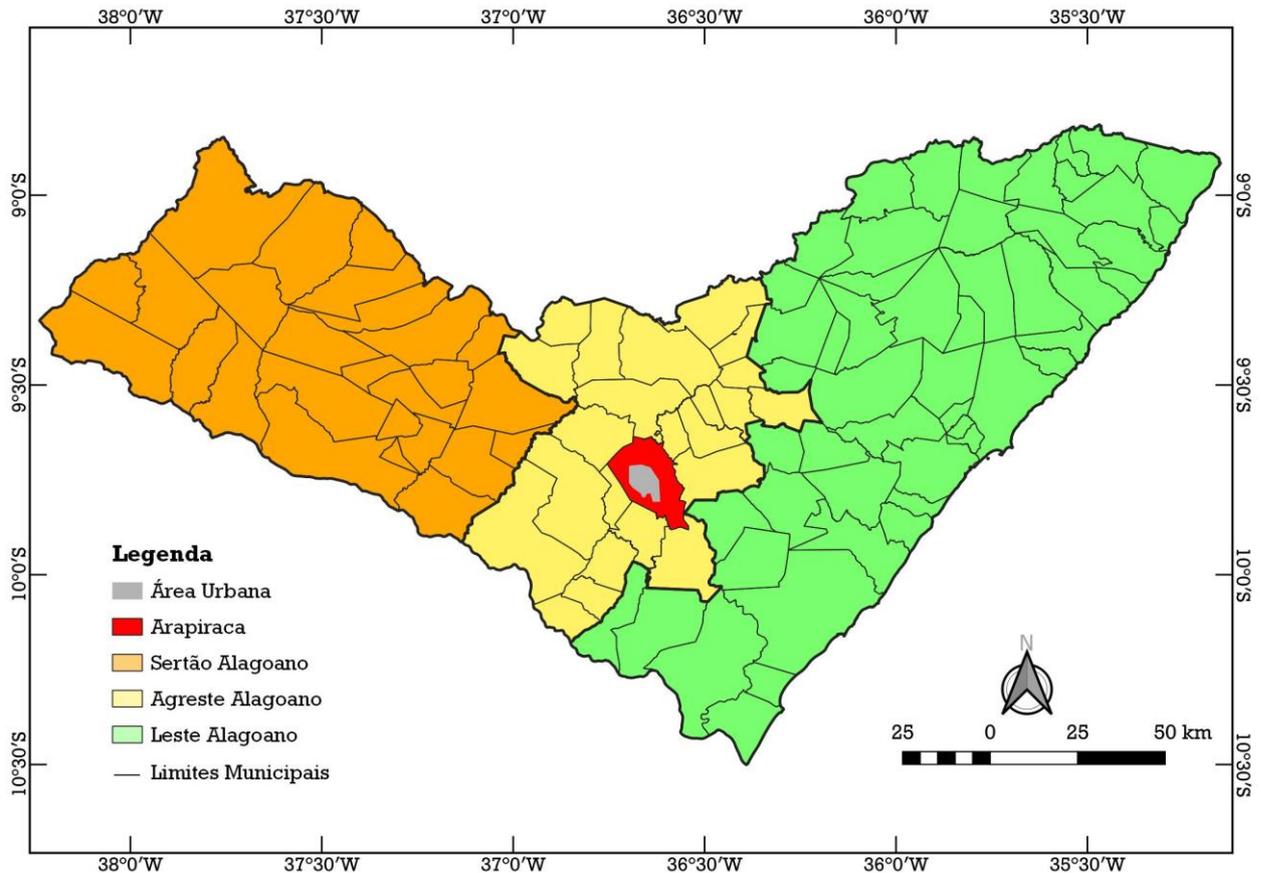
O município de Arapiraca está localizado na porção central do estado de Alagoas, na mesorregião do agreste alagoano (Figura 1); limita-se ao Norte pelos municípios de Craíbas e Igaci, ao Sul por Feira Grande, Lagoa da Canoa e São Sebastião, a Leste por Limoeiro de Anadia, Coité do Noia e Junqueiro, e a Oeste por Lagoa da Canoa (IBGE, 2010a).

No que diz respeito aos aspectos fisiográficos o município de Arapiraca está situado na “região do agreste sub-úmido de clima do tipo As, segundo a classificação climática de Köppen” (LIMA, 1965, apud XAVIER e DORNELLAS, 2012, p. 110). A temperatura média anual é de 25°C, e os totais

anuais de precipitação entre 750 e 1000 mm, sendo que os meses de maio, junho e julho são os mais chuvosos, e geralmente concentram mais de 50% do total anual; os menores valores pluviométricos são registrados na primavera e verão (XAVIER e DORNELLAS, 2012).

O município possui uma área de 345.655 km² e uma população de 214 mil habitantes com densidade demográfica de 600,83 hab./km² (IBGE, 2011). Segundo o Censo de 2010 (IBGE, 2010a), desses 214 mil habitantes, cerca de 171 mil habitam no perímetro urbano do município, o que compreende cerca de 79% da população, dividida em 38 bairros (Figura 2).

Figura 1 - Alagoas: Mesorregiões do estado, localização de Arapiraca e sua área urbana, 2021.



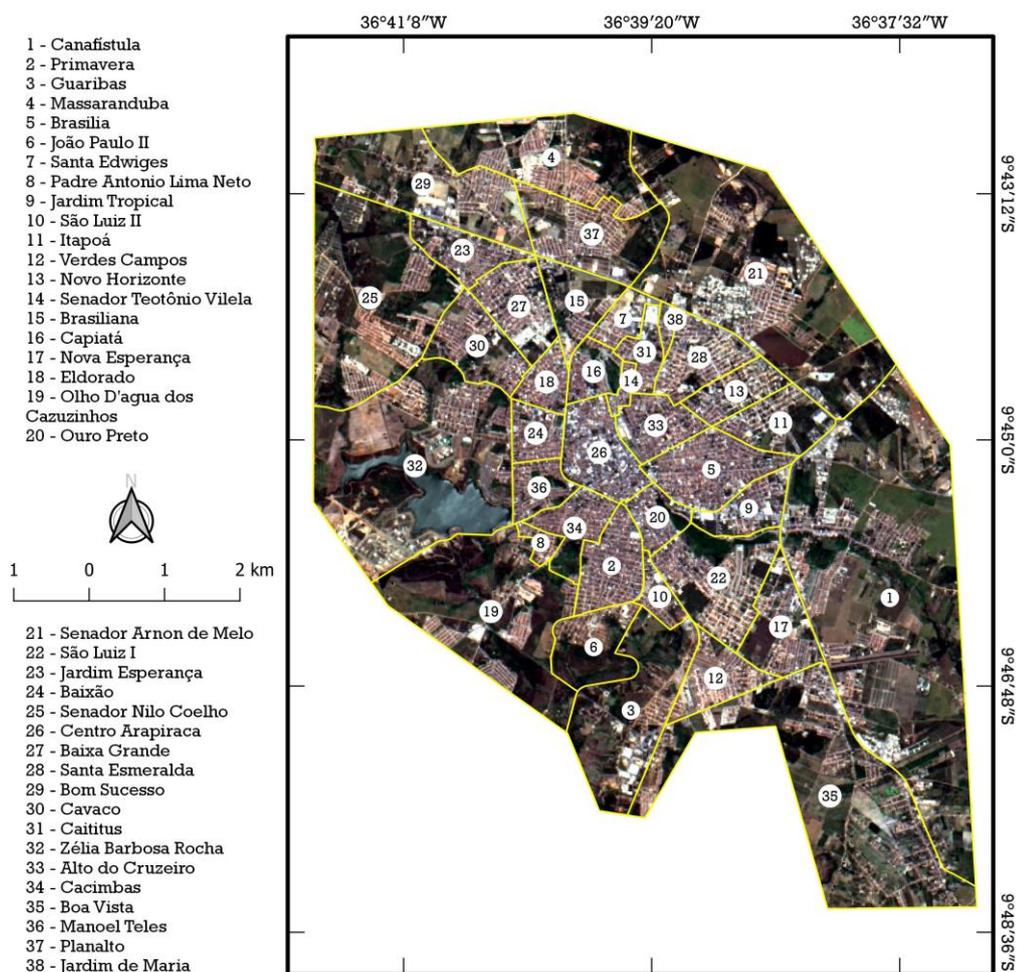
Fonte - IBGE, 2010a. Elaboração – Os autores, 2021.

Outro aspecto importante trata-se das Regiões de Influência das Cidades (REGIC), pesquisa desenvolvida pelo IBGE (2018), que define a hierarquia dos centros urbanos com base nos equipamentos e serviços específicos oferecidos por esses e que atraem as populações de outras cidades. Nesse estudo, as capitais regionais são definidas como “centros urbanos com alta concentração de atividades de gestão”, e no caso de Arapiraca, encontra-se inserida na região de influência do arranjo populacional de Maceió (capital regional A), sendo classificada como capital regional C (entre as classes A, B e C, sendo a maior na hierarquia a classe “A”).

Nesse contexto, Arapiraca se destaca como centro urbano, e apresenta “74.4% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização, e 12.2% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio)” (IBGE, 2010b). Para a definição do percentual de arborização dos domicílios urbanos, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) identificou a existência em cada face e/ou na sua face confrontante, a presença de árvores ao longo do passeio/calçada e/ou em canteiro que divide pistas de um mesmo logradouro, mesmo que apenas em parte. Considera-se como tendo arborização mesmo quando existente em logradouros sem pavimentação e/ou sem calçada (IBGE, 2016).

Ademais, no estudo desenvolvido por Pereira e Barbosa (2019) sobre a influência das áreas verdes urbanas no rigor térmico, os bairros Capiatá, Alto do Cruzeiro, Zélia Barbosa Rocha, Olho D'Água dos Cazuzinhos e Centro apresentam as maiores áreas verdes do município. Essas áreas apresentam um importante papel na qualidade de vida no ambiente urbano, já que contribuem para “minimizar as sensações do rigor térmico, aumentar a umidade relativa do ar, auxiliar o escoamento e absorção de águas pluviais” (PEREIRA e BARBOSA, 2019, p. 20).

Figura 2 - Arapiraca (AL): Bairros, 2021



Fonte - USGS, 2020. Elaboração – Os autores, 2021.

Procedimentos Metodológicos

Para a execução do mapeamento foi aplicado o NDVI. Desenvolvido inicialmente por Rouse et al (1974), esse índice permite o monitoramento de mudanças sazonais e interanuais de desenvolvimento da vegetação (JENSEN, 2014). Além disso, a Temperatura Superficial Terrestre (TST) foi determinada com base na banda 10, infravermelho termal, do sensor OLI (*Operational Land Imager*) do Landsat 8.

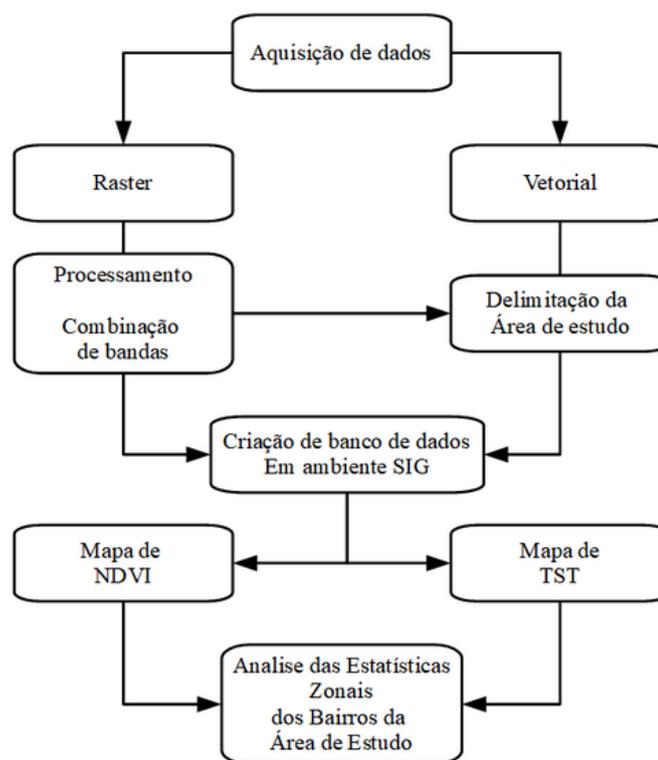
Segundo Li et al (2013), a TST é um dos parâmetros mais importantes nos processos físicos de energia superficial, uma vez que funciona como a força motriz direta na troca de radiação de ondas longas e fluxos de calor turbulentos na interface superfície-atmosfera. Nesse contexto, a temperatura da superfície terrestre pode ser utilizada em diferentes estudos, como: ciclo hidrológico, evapotranspiração, monitoramento da vegetação, clima urbano, entre outros.

O software QGIS, versão 3.16 *Hannover* foi utilizado no processamento de imagens e elaboração de mapas temáticos. A Figura 3 apresenta o fluxograma metodológico dos processamentos realizados no QGIS, como: a aquisição de dados; delimitação da área de estudo; combinação de bandas; desenvolvimento do banco de dados; geração dos mapas de NDVI e TST; análise das estatísticas zonais. As imagens do satélite Landsat 8 foram obtidas gratuitamente no site do *United States Geological Survey* (USGS) e utilizadas as bandas 2, 3, 4, 5 e 8, do sensor OLI, que correspondem respectivamente às bandas do azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e pancromática; e a banda 10, infravermelho termal, do sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). As imagens correspondem à passagem do satélite que aconteceu no dia 16 de outubro de 2020, por volta das 12 horas (meio dia).

As bandas 2, 3 e 4 (azul, verde e vermelho) possuem uma resolução de 30 metros e foram utilizadas para elaborar uma composição RGB e, posteriormente, fundida à banda pancromática, de resolução espacial de 15 metros, de modo a permitir uma melhor visualização da área de estudo no momento da passagem do satélite.

Além disso, foram utilizados dados vetoriais, disponibilizados pelo IBGE, e referentes ao estado de Alagoas, suas mesorregiões e também o perímetro urbano de Arapiraca, sendo utilizados para compor o mapa de localização e também recortar as imagens de satélite e os produtos gerados, limitando os mesmos apenas à área de estudo.

Figura 3 - Fluxograma Metodológico, 2021.



Elaboração - Os autores, 2021.

Para a composição do NDVI, a primeira etapa consistiu no recorte dos arquivos *raster* das bandas 4 e 5 (banda do vermelho e do infravermelho próximo) para a área do estudo, seguido da conversão das bandas, seus *Digital Numbers* (DN), em seus respectivos valores de reflectância. Para isso foi utilizada a calculadora *raster* do programa QGIS, juntamente com as fórmulas disponibilizadas pelo USGS (2019), descritas abaixo (equação 1):

$$\rho\lambda' = (M\rho * Qcal + A\rho) \quad (1)$$

Em que:

$\rho\lambda'$ = Reflectância planetária, sem a correção do ângulo solar; $M\rho$ = Fator de Multiplicação da banda; $Qcal$ = Os DN dos pixels da banda; $A\rho$ = Fator aditivo de redimensionamento;

Posteriormente, foi feita a correção da imagem levando em conta a inclinação solar (equação 2):

$$\rho\lambda = \rho\lambda' / \sin(\theta SE) \quad (2)$$

Em que:

$\rho\lambda$ = Reflectância planetária, com a correção do ângulo solar; $\rho\lambda'$ = Reflectância planetária, sem a correção do ângulo solar; $\sin(\theta SE)$ = Seno da elevação solar.

Então, com o resultado das conversões, utilizou-se a calculadora *raster* para realizar a operação entre bandas (equação 3), compondo assim uma imagem do NDVI da área de estudo, expressa pela equação 3:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (3)$$

Em que:

NIR = Banda 5 (infravermelho próximo); Red = Banda 4 (vermelho);

Para a composição da imagem da Temperatura Superficial Terrestre, o mesmo procedimento foi seguido, entretanto utilizando a imagem da banda 10 do satélite Landsat8 que corresponde ao Infravermelho Termal, inicialmente convertendo os DN da banda 10 em seus respectivos valores de radiância (equação 4):

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (4)$$

Em que:

$L\lambda$ = Radiância espectral; ML = Fator de multiplicação da banda; $Qcal$ = O DN dos pixels da banda; AL = Fator de aditivo de reescalonamento da banda.

Em seguida, converteu-se a radiância em temperatura de brilho através da equação 5:

$$T = K2 / \ln((K1 / L\lambda) + 1) \quad (5)$$

Em que:

T = A temperatura expressa em Kelvin; $K2$ = Constante termal de conversão específica da banda; $K1$ = Constante termal de conversão específica da banda; $L\lambda$ = Radiância espectral.

O Resultado das fórmulas é a temperatura da superfície terrestre expressa em Kelvin. Posteriormente, esse resultado foi convertido para a temperatura em Celsius (°C) utilizando a calculadora *raster*, subtraindo 273,15 do *raster* gerado.

Estatísticas Zonais

Para a análise e confecção de mapas temáticos, de forma a exibir os valores médios de TST e NDVI de cada um dos bairros de Arapiraca, foi utilizada a ferramenta “Estatísticas Zonais” do programa QGIS, algoritmo que calcula as estatísticas de uma camada *raster* para a área de uma camada vetorial sobreposta. Assim, foram calculados os valores médios, máximos, mínimos, variância e desvio padrão dos dados de NDVI e TST.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os elevados valores do NDVI são resultado da combinação da alta reflectância no infravermelho-próximo e baixa reflectância na banda do vermelho. De acordo com Lillesand, Kiefer e Chipman

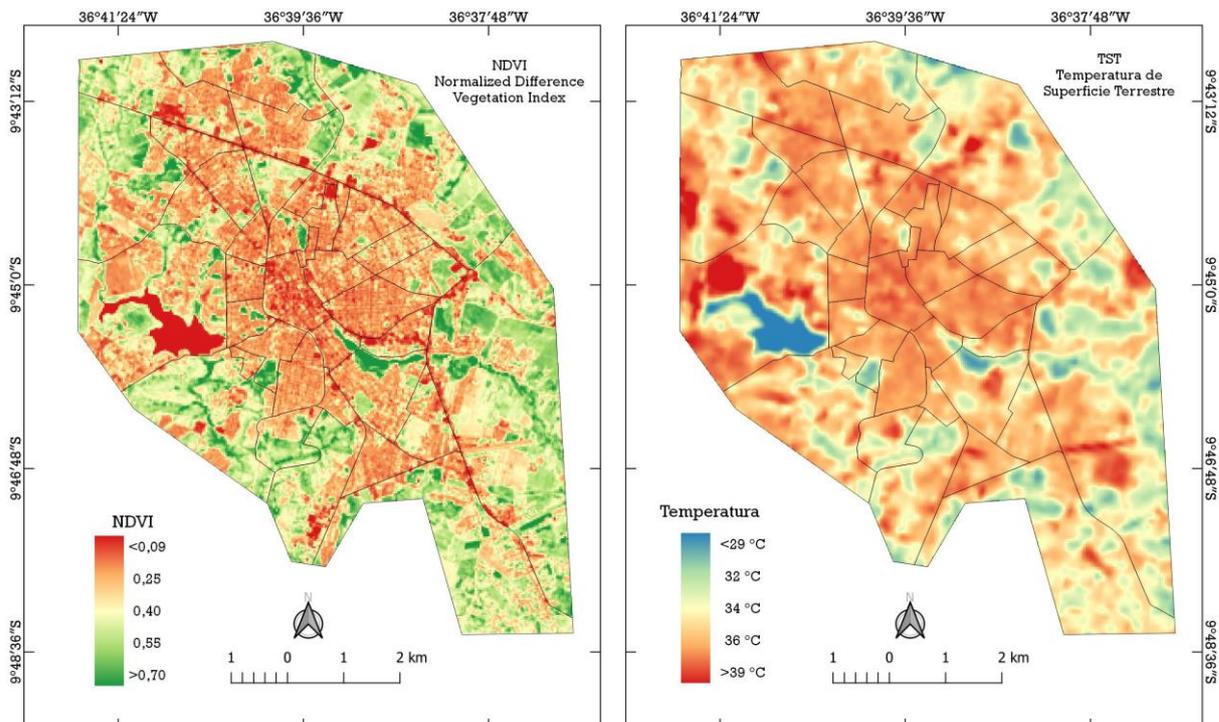
(2015), essa combinação é típica da assinatura espectral da vegetação. Enquanto isso, áreas sem vegetação, incluindo solo exposto e materiais de construção, apresentam valores baixos do NDVI.

Segundo Anbazhagan e Paramasivam (2016, p. 339), geralmente a vegetação saudável absorve a maior parte da luz visível incidente, e reflete a maior parte da região do infravermelho próximo. Em contraste, de acordo com Lillesand, Kiefer e Chipman (2015) as nuvens, a água e a neve apresentam reflectâncias maiores na banda do visível do que no infravermelho-próximo. Logo, esses elementos geram valores de NDVI negativos. Ainda conforme esses autores, as rochas e as áreas com solo exposto apresentam reflectâncias semelhantes nas duas bandas, o que resulta em valores do índice próximos de zero.

Na Figura 4 observa-se que as áreas com menores valores de NDVI se concentram na porção central da área de estudo, local que compreende bairros como Alto do Cruzeiro, Capiatá, Senador Teotônio Vilela e também o Centro de Arapiraca. Já os bairros mais afastados do centro da área de estudo apresentam uma maior quantidade de áreas com NDVI positivo e acima de 0,4, indicando uma maior cobertura de vegetação.

No que diz respeito à temperatura superficial as áreas dos bairros mais centrais concentram os maiores valores de temperatura, enquanto os bairros mais periféricos os menores. Nessa perspectiva, as áreas com maior adensamento urbano apresentam-se mais aquecidas, o que pode ser explicado 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).

Figura 4 - Arapiraca (AL): NDVI e a TST da área urbana, 2021.



Fonte - USGS, 2020. Elaboração – Os autores, 2021.

O bairro Zélia Barbosa Rocha se destaca, pois nesse se encontra o lago do Perucaba, resultado do represamento das águas do rio Perucaba, um grande corpo hídrico que, em função das características espectrais da água, acaba exercendo uma grande influência ao se registrarem as estatísticas zonais do bairro. Logo, é na área do lago que se observam os menores valores de NDVI (-0,277) e Temperatura Superficial (26,52°) de toda a área de estudo. Anbzhagan e Paramasivam (2016) destacam que o NDVI negativo pode ser associado à ausência ou redução da cobertura vegetal. Os mesmos autores relacionam o fenômeno ao fato dos índices de vegetação não serem apenas baseados na emissividade da vegetação, mas que também dependem da chuva e das circunstâncias da estação climática. Ademais, a presença de vegetação e corpos hídricos reduz a temperatura superficial (GUHA et al, 2018).

Quanto ao NDVI, o valor mínimo observado é de -0,10 (Tabela 1) no bairro Bom Sucesso, e máximo de 0,84 no bairro Ouro Preto, resultando numa variação de 0,94 nos valores do índice para a área do município. Essa diferença indica que existem elementos com padrões espectrais muito divergentes na área de estudo e que, por sua vez, passíveis de serem investigados. Uma área com baixa variação de valores de NDVI sugere que seus os elementos mapeados possuem padrões espectrais semelhantes. Consequentemente, uma área com alta variação indica padrões espectrais diferentes, e possibilidade de ocorrências de áreas desmatadas, urbanizadas, ou com corpos hídricos quando apresentados baixos valores de NDVI, e áreas com vegetação, quando são observados valores altos do índice.

Observando ambos os mapas é possível verificar a influência das áreas vegetadas, aquelas com os maiores valores de NDVI, no que diz respeito à temperatura de superfície. Os bairros com uma maior quantidade de área vegetada, com NDVI positivo, apresentam áreas de temperaturas mais amenas e, ao analisar as estatísticas zonais dos bairros de Arapiraca, observa-se o mesmo padrão. A temperatura média registrada na área de estudo foi de 35,64°C, com o bairro Centro apresentando a maior temperatura média, 1,38°C acima da média de todos os bairros em conjunto, e o de menor temperatura, bairro Boa Vista 1,23°C abaixo da referida média.

Já o valor médio de NDVI registrado na área de estudo foi de 0,30, e o bairro que registrou seu maior valor médio, João Paulo II, apresentou um índice médio de 0,44, enquanto o bairro Centro registrou o menor valor médio de NDVI, de 0,20.

Tabela 1 - Valores mínimos, máximos, médias, e desvios padrões dos valores de: (1)- TST (mínimo); (2)- TST (máximo); (3)- TST (média); (4)- TST (desvio padrão); (5)- NDVI (mínimo); (6)- NDVI (máximo); (7)- NDVI (média); (8)- NDVI (desvio padrão).

Bairros	TST ⁽¹⁾	TST ⁽²⁾	TST ⁽³⁾	TST ⁽⁴⁾	NDVI ⁽⁵⁾	NDVI ⁽⁶⁾	NDVI ⁽⁷⁾	NDVI ⁽⁸⁾
Alto do Cruzeiro	35,45	37,86	36,56	0,47	0,08	0,54	0,25	0,07
Baixa Grande	34,77	37,47	35,9	0,68	0,03	0,69	0,27	0,1
Baixão	33,39	37,45	36,45	0,43	0,00	0,65	0,25	0,08
Boa Vista	30,04	38,36	34,41	1,2	0,01	0,78	0,42	0,13
Bom Sucesso	32,21	39,11	35,73	1,16	-0,10	0,72	0,35	0,14
Brasília	34,50	37,75	36,58	0,45	0,06	0,64	0,23	0,06
Brasília	33,15	38,31	35,77	1,03	0,07	0,75	0,36	0,13
Cacimbas	30,66	37,28	35,09	1,78	0,10	0,78	0,33	0,17
Caititus	35,28	37,45	36,33	0,51	0,00	0,57	0,24	0,09
Canafístula	29,73	39,23	34,44	1,64	0,04	0,82	0,43	0,14
Capiatá	32,01	37,67	35,7	1,25	0,07	0,76	0,33	0,16
Cavaco	32,49	38,28	35,75	1,06	0,08	0,73	0,32	0,12
Centro	35,94	38,11	37,02	0,41	0,03	0,59	0,2	0,07
Eldorado	34,57	37,24	36,26	0,45	0,05	0,55	0,23	0,07
Guaribas	31,30	38,14	34,63	1,35	-0,01	0,77	0,41	0,14
Itapoá	31,70	37,51	35,2	1,14	0,01	0,65	0,34	0,14
Jardim de Maria	35,75	37,22	36,59	0,39	0,05	0,45	0,24	0,07
Jardim Esperança	33,51	37,76	36,34	0,68	0,06	0,58	0,27	0,1
Jardim Tropical	32,06	37,44	35,99	1,09	0,01	0,65	0,25	0,12
João Paulo II	31,78	38,40	34,74	1,42	0,05	0,78	0,44	0,14

Manoel Teles	33,17	37,38	35,7	0,85	0,06	0,79	0,3	0,15
Massaranduba	30,78	38,53	34,76	1,39	0,09	0,80	0,4	0,16
Nova Esperança	32,23	37,38	35,29	0,77	0,03	0,66	0,32	0,11
Novo Horizonte	33,95	37,51	35,36	0,7	0,11	0,67	0,29	0,09
Olho D'água dos Cazuzinhos	31,38	38,27	35,02	1,19	0,05	0,82	0,44	0,13
Ouro Preto	31,41	37,60	35,68	1,38	0,06	0,84	0,3	0,18
Padre Antonio Lima Neto	33,82	36,29	35,15	0,58	0,09	0,64	0,29	0,09
Planalto	31,31	38,80	35,48	1,37	-0,01	0,72	0,33	0,14
Primavera	33,21	36,94	36,26	0,45	0,06	0,69	0,24	0,06
Santa Edwiges	29,59	38,28	36,83	0,52	0,05	0,83	0,23	0,07
Santa Esmeralda	32,93	36,48	35,7	0,64	0,00	0,54	0,26	0,08
São Luiz I	35,39	37,98	34,73	1,71	0,05	0,49	0,36	0,17
São Luiz II	33,53	37,21	35,45	0,71	0,06	0,62	0,26	0,09
Senador Arnon de Melo	29,76	42,04	34,56	1,53	0,01	0,79	0,41	0,14
Senador Nilo Coelho	30,29	40,40	35,32	1,66	0,11	0,83	0,42	0,14
Senador Teotônio Vilela	34,91	37,33	36,5	0,59	0,09	0,36	0,21	0,04
Verdes Campos	33,79	38,73	36,11	0,8	0,11	0,59	0,25	0,06
Zélia Barbosa Rocha	26,53	40,61	34,8	3,33	-0,28	0,80	0,3	0,19

Elaboração - Os autores, 2021.

Entre os 10 bairros que registraram as maiores médias nos valores de temperatura, oito estão entre os que registraram os menores valores médios de NDVI. Juntamente a isso, o valor do desvio padrão das amostras de *pixels* desses bairros, para temperatura e NDVI, estão entre os mais baixos de todos, indicando uma maior homogeneidade de valores.

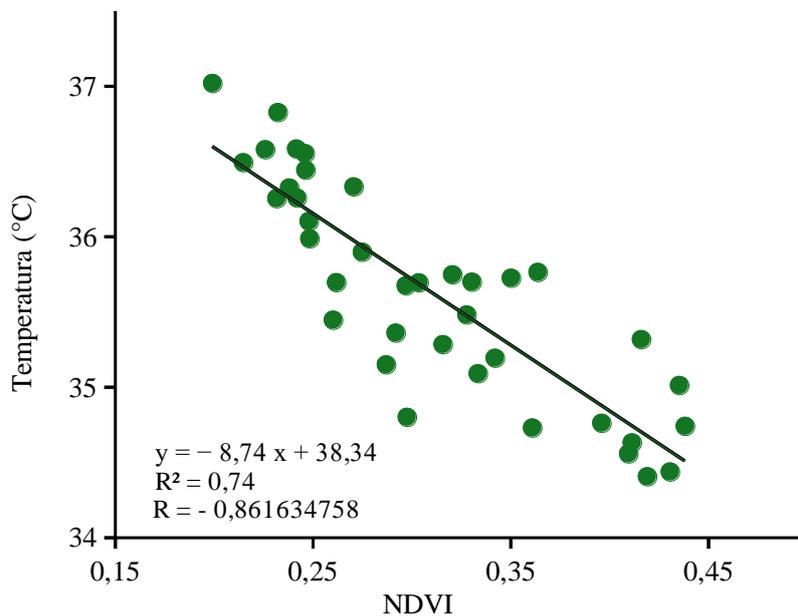
Algo similar ocorre quando se analisa os bairros com as menores médias nos valores de temperatura de superfície do terreno. Entre os 10 bairros com os menores valores, oito também se encontram em 10 bairros com maior valor médio de NDVI. No que diz respeito aos desvios padrões, entre os menores valores de TST e os maiores de NDVI, esses são maiores devido à forma de organização desses territórios e o comportamento espectral das superfícies que os compõem. Esses bairros, mais periféricos, apresentam uma maior quantidade de cobertura vegetal, com maior valor de NDVI, juntamente com presença de estruturas artificiais, de menor valor de NDVI, algo que também ocorre com a temperatura.

O principal exemplo é o do bairro Zélia Barbosa Rocha, a sudoeste da área de estudo. Dentro de seus limites se encontra o Lago do Perucaba, que por ser um corpo hídrico, tem padrões espectrais e de temperatura característicos. O NDVI do referido bairro apresenta valores extremamente baixos em grande parte da sua área, como também manchas de áreas com vegetação, apresentando elevados valores do índice. O mesmo também ocorre com a temperatura de superfície, a área do lago apresenta o ponto de menor temperatura em toda a área de estudo, com 26,53°C, e toda sua extensão conserva temperaturas similares. O bairro também registra algumas das maiores temperaturas de superfície na área de estudo, em um ponto, num polígono de solo exposto, nas proximidades da lagoa que registrou 40,6°C. Isso resulta em um desvio padrão muito mais elevado, o maior entre todas as amostras.

Em geral, os altos valores no desvio padrão do NDVI estão relacionados aos bairros periféricos, o que pode ser associado às extensões maiores e heterogeneidades de suas áreas (áreas com cobertura de vegetação e áreas urbanizadas). Enquanto os bairros próximos ao centro da cidade apresentam, em geral, desvios padrões menores, o que sugere uma concentração maior de áreas urbanizadas, com extensões menores.

Com base nas estatísticas zonais dos bairros de Arapiraca observa-se uma forte correlação negativa (-0,86). Assim, verifica-se que com a diminuição dos valores de NDVI ocorre um aumento da temperatura de superfície (Figura 5).

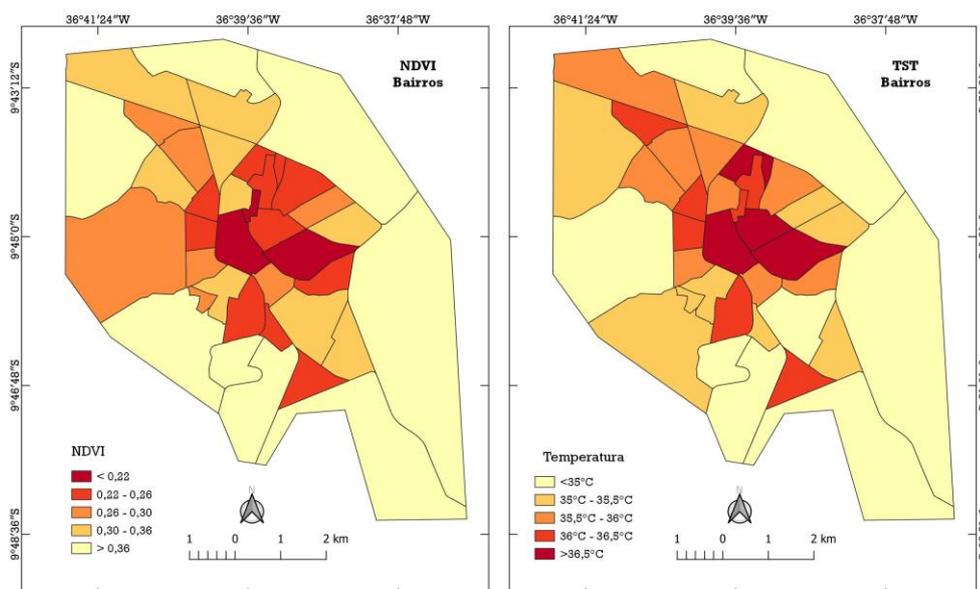
Figura 5 - Arapiraca (AL): Correlação entre NDVI e Temperatura de Superfície dos bairros, 2021.



Elaboração - Os autores, 2021.

Isso pode ser associado às áreas edificadas, que se relacionam de forma positiva com as temperaturas, ou seja, quanto maior o percentual de área com edificações e seu grau de impermeabilização, maior a temperatura (CAMACHO e MOSCHINI, 2021). A Figura 6 apresenta os mapas de NDVI e Temperatura de Superfície, gerados a partir das estatísticas zonais da área analisada. Nesses mapas é possível observar os valores médios de NDVI e TST de cada um dos bairros.

Figura 6 - Arapiraca (AL): NDVI e Temperatura de Superfície dos bairros de Arapiraca, 2021.



Fonte - USGS, 2020. Elaboração – Os autores, 2021.

Nos mapas da Figura 6 destaca-se a região central da área de estudo que apresenta bairros com os menores valores de NDVI e maiores TST. Quando comparados os bairros dos dois mapas, em geral, observa-se que os mesmos apresentam valores em intervalos de classe que permitem a combinação da cor das zonas mapeadas. As zonas em que isso não ocorre, acontecem em função do valor médio de NDVI e TST, que correspondem a um intervalo superior ou inferior. O único bairro que não segue esse padrão é o Zelia Barbosa Rocha, o que pode ser associado à presença do Lago do Perucaba e a sua influência no momento de registro das estatísticas zonais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas de processamento de imagens orbitais utilizadas no estudo permitiram determinar o NDVI da vegetação e a Temperatura Superficial Terrestre (TST) da cidade de Arapiraca no estado de Alagoas. Com essas técnicas foi possível identificar as áreas com maiores e menores índices de vegetação e temperatura de superfície terrestre, o que pode contribuir para o desenvolvimento de ações de planejamento ambiente urbano do município, no que diz respeito ao conforto ambiental e ocupação de áreas urbanas.

Os resultados obtidos mostram que a área urbana de Arapiraca apresenta temperatura superficial com amplitude térmica de 15,71°C, em que a menor temperatura registrada é de 26,53°C e a de maior 42,04°C. Além disso, observa-se uma diferença de 0,94 em seus valores de NDVI, em que o menor valor registrado foi de - 0,10 e o maior 0,84, indicando a existência de elementos com padrões espectrais divergentes na área de estudo. Isso porque, os bairros da porção central da área de estudo encontram-se em estágio avançado de urbanização, enquanto aqueles afastados do centro apresentam uma maior concentração de áreas não-urbanizadas.

Observa-se na área de estudo uma discrepância no que diz respeito à temperatura de superfície na área do Centro de Arapiraca e bairros adjacentes que, em valores médios, registram temperaturas de superfície superiores a 36,5°C, e os bairros mais periféricos da área de estudo, que registram temperaturas médias inferiores a 35°C. Isso pode ser explicado pelo forte adensamento urbano nas áreas centrais do município, que se apresentam mais aquecidas devido ao grau de impermeabilização (objetos artificiais como asfalto e concreto) dessa parte da malha urbana.

A correlação negativa (-0,86) entre a temperatura superficial e a vegetação, essa última expressa pelo NDVI, indica que quanto menor os valores de NDVI dos bairros, maior é o valor da temperatura de superfície. Assim, os bairros com maiores concentrações de áreas verdes apresentam menores valores de temperatura superficial terrestre, e os bairros que apresentam as maiores temperaturas apresentam um menor percentual de áreas com vegetação.

Finalmente, a representação cartográfica, por meio de mapas de dados zonais de NDVI e TST, facilitam o entendimento da relação entre a vegetação e a temperatura superficial. Os resultados mostraram que os valores desses parâmetros revelam a condição da cobertura do solo da região, e quando comparados, apresentam resultados importantes para o planejamento e monitoramento ambiental urbano.

No que diz respeito às limitações do estudo quando comparados com pesquisas em diferentes escalas, deve-se considerar as generalizações produzidas pelas imagens do Landsat 8. Uma vez que as imagens apresentam resoluções espaciais de 30 e 15 metros, escalas (aproximadas) entre 1:150.000 e 1:75.000, respectivamente. Logo, sugere-se o desenvolvimento de pesquisas com imagens com maiores resoluções e trabalhos de campo, para fins de comparação de dados e procedimentos metodológicos.

Para estudos futuros sugere-se uma análise temporal dos índices de NDVI e TST, de modo a observar o comportamento dos mesmos ao longo do tempo. Uma outra proposta seria aplicar metodologias capazes de eliminar ou minimizar a influência de elementos, como grandes corpos d'água, que podem alterar o valor das estatísticas presentes na área de estudo.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. de C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; DUBREUIL, V. Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 em cidade tropical. **Revista de Geografia Norte Grande**, n. 43, p. 65-80, 2009. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022009000200004>

- ANBAZHAGAN, S.; PARAMASIVAM, C. R. Statistical correlation between land surface temperature (LST) and vegetation index (NDVI) using multi-temporal landsat TM data. **International Journal of Advanced Earth Science and Engineering**, v. 5, n. 1, p. 333-346, 2016. <https://doi.org/10.23953/cloud.ijaese.204>
- BEZERRA, L. M.; AVILA, A. M. Identificação de ilhas de calor por meio de imagens de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície: estudo de caso de eventos extremos no verão atípico 2013/2014 em Campinas-SP. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (Org.) **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. Campinas: Instituto de Geociências, Unicamp, v. 1, p. 2530-2534, 2017. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2457>
- 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. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2021v10i2.p116-131>
- GUHA, S. et al. Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. **European Journal of Remote Sensing**, v. 51, n. 1, p. 667-678, 2018. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama**. 2010a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/arapiraca/panorama>. Acesso em: 26 nov. 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Arborização de vias públicas: IBGE, Censo Demográfico 2010**. 2010b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 01 dez. 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010: Área territorial brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Metodologia do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95987.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Regiões de influência das cidades**. 2018. Coordenação de Geografia Rio de Janeiro IBGE, 2018. 192 p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Conheça o Brasil: população Rural e urbana**. IBGEeduca. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>. Acesso em: 26 nov. 2021.
- JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment An Earth Resource Perspective**. Harlow, Essex: Pearson Education Limited, 2014.
- LILLESAND, T.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, 2015.
- LI, Z.L; TANG, B.H; WU, H; REN, H; YAN, G; WAN, Z; TRIGO, I.F; SOBRINO, J.A.. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. **Remote sensing of environment**, v. 131, p. 14-37, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>
- LIMA, I. F. **Geografia de Alagoas**. São Paulo: Editora do Brasil S/A, Coleção didática do Brasil, vol. 14, 1965.
- LUCENA, A. Uma análise de técnicas nos estudos de clima urbano para a região metropolitana do Rio de Janeiro. **Geo UERJ**, n. 34, p. 40954, 2019. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2019.40954>
- MONTEIRO, F. F.; SILVEIRA, A. L. R. C. da. Uso de dados de Sensoriamento Remoto para identificação de ilhas de calor em Teresina-PI. **Paranoá** n. 7, p. 43-50, 2013. <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n7.2012.12312>
- NASCIMENTO D. T. F.; BARROS, J. R. Identificação de ilhas de calor por meio de sensoriamento remoto: estudo de caso no município de Goiânia-GO/2001. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 29, n. 1, p. 119-134, 2009. <https://doi.org/10.5216/bgg.v29i1.7112>
- PARANHOS FILHO, A. C. et al. **Geotecnologias para aplicações Ambientais**. 1.ed. Maringá, PR: Uniedusul, 2021. <https://doi.org/10.29327/527680>
- PEREIRA, J. D. S; BARBOSA, R. V. R. **Diagnóstico da influência de áreas verdes urbanas na redução do rigor térmico em cidade de clima semiárido**. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL (ENANPUR) , 18., 2019, Natal. **Anais...** Natal, 2019. p. 1-22. Disponível em: <http://anpur.org.br/xviiienanpur/anais>. Acesso em: 03 dez. 2021. <https://doi.org/10.18540/jcecvl7iss1pp12019-01-09e>

QGIS. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.16.11 Disponível em
<<http://qgis.osgeo.org>> Acesso em: 15 out. 2021.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. 1974, **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS**. EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM. 3., **Proceedings** ... Greenbelt: NASA SP-351, 3010–3017.

SANTOS, T. O de. **Identificação de Ilhas de Calor em Recife-PE por meio de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície**. 2011. 54 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SCHIFFER, S. R.; FROTA, A. B. **Manual de Conforto Térmico**. 5.ed. São Paulo: Studio Nobel, 1999.

USGS – United State Geological Survey. **Landsat 8 databook Users**. 5.ed. Sioux Falls, South Dakota: USGS, 2019. 114 p.

XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. da C. Caracterização ambiental do município de Arapiraca, Região Agreste de Alagoas. **Revista Ambientale**, 3(3), 108-121, 2012.

Recebido em: 31/12/2021

Aceito para publicação em: 03/06/2022