



Utilização de dados de sensoriamento remoto na análise do uso da terra e temperatura da superfície na cidade de Manacapuru-AM

Using remote sensing data in the analysis of land use and surface temperature in the city of Manacapuru-AM

Uso de datos de teledetección en el análisis del uso del suelo y la temperatura de la superficie en la ciudad de Manacapuru-AM

Edinaldo Inocêncio Ferreira Junior

Mestre em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental, ITEGAM, Brasil
edinaldoferreira.adv@gmail.com

Eduardo Arival Lindoso

Graduado em Segurança Pública, Estácio, Brasil
eduardoarival@gmail.com

Matheus Bertulino Pereira

Graduado em Geografia, UFAM, Brasil
matheus.bertu51@gmail.com



RESUMO

Nas últimas décadas o clima vem sendo objeto de estudos em várias regiões do mundo, sobretudo o clima urbano. O aumento de áreas construídas somado a diminuição da vegetação, cada vez mais intensa, contribuem para a formação de um clima com características distintas se comparado com zonas rurais. Portanto, o objetivo geral deste estudo foi analisar a partir de dados de sensoriamento remoto, a relação entre o uso e cobertura da terra e sua influência na temperatura da superfície e no NDVI da cidade de Manacapuru, localizada na região metropolitana de Manaus. Os dados foram analisados através de sistemas de informação geográfica, utilizando nos procedimentos metodológicos, o software QGIS 3.16 Hannover, dados de uso e cobertura da terra do Mapbiomas coleção 6 de 2020, e imagens de sensoriamento remoto do satélite Landsat 8 bandas 10 TIRS, para a temperatura da superfície, e as bandas 4 e 5 OLI, para o NDVI. Obteve-se como resultado, predominância de áreas urbanizadas, temperatura superficial mínima de 24,6 °C, média de 28,8 °C e máxima de 33,1 °C, com amplitude de 8,5 °C. O NDVI ficou entre -0.05 a 0.53, respectivamente áreas com ausência, pouca, média e densa vegetação. Por fim, a arborização, tem um papel importante para amenizar a temperatura das cidades, pois ela intercepta grande parte da radiação emitida pelo sol impedindo que o calor chegue até a superfície, proporcionando conforto térmico, e por outro lado, a retirada da vegetação e a intensificação de áreas urbanizadas aumenta a configuração de ilhas de calor.

PALAVRAS-CHAVE: Clima Urbano. Landsat. SIG.

SUMMARY

In the last decades, the climate has been the subject of studies in various regions of the world, especially urban climate. The increase in built-up areas combined with the decrease in vegetation, increasingly intense, contribute to the formation of a climate with distinct characteristics compared to rural areas. Therefore, the general objective of this study was to analyze, based on remote sensing data, the relationship between land use and land cover and its influence on surface temperature and NDVI of the city of Manacapuru, located in the metropolitan region of Manaus. The data were analyzed through geographic information systems, using the QGIS 3.16 Hannover software, land use and land cover data from the Mapbiomas collection 6 of 2020, and remote sensing images from the Landsat 8 satellite bands 10 TIRS, for surface temperature, and bands 4 and 5 OLI, for NDVI. The result was a predominance of urbanized areas, with a minimum surface temperature of 24.6°C, an average of 28.8°C, and a maximum of 33.1°C, with a range of 8.5°C. The NDVI ranged from -0.05 to 0.53, respectively indicating areas with absence, little, moderate, and dense vegetation. Finally, tree planting plays an important role in mitigating city temperatures, as it intercepts much of the radiation emitted by the sun, preventing heat from reaching the surface, providing thermal comfort, and on the other hand, the removal of vegetation and the intensification of urban areas increase the configuration of heat islands.

KEYWORDS: Landsat. SIG. Urban Climate.

RESUMEN

En las últimas décadas, el clima ha sido objeto de estudios en varias regiones del mundo, especialmente el clima urbano. El aumento de áreas construidas combinado con la disminución de la vegetación, cada vez más intensa, contribuyen a la formación de un clima con características distintas en comparación con las zonas rurales. Por lo tanto, el objetivo general de este estudio fue analizar, a partir de datos de teledetección, la relación entre el uso y la cobertura del suelo y su influencia en la temperatura de la superficie y el NDVI de la ciudad de Manacapuru, ubicada en la región metropolitana de Manaus. Los datos fueron analizados a través de sistemas de información geográfica, utilizando el software QGIS 3.16 Hannover, datos de uso y cobertura del suelo de la colección 6 de Mapbiomas de 2020, e imágenes de teledetección del satélite Landsat 8 bandas 10 TIRS, para la temperatura de la superficie, y las bandas 4 y 5 OLI, para el NDVI. El resultado fue una predominancia de áreas urbanizadas, con una temperatura superficial mínima de 24,6 °C, un promedio de 28,8 °C y un máximo de 33,1 °C, con un rango de 8,5 °C. El NDVI varió de -0.05 a 0.53, respectivamente indicando áreas con ausencia, poca, moderada y densa vegetación. Finalmente, la plantación de árboles juega un papel importante en la mitigación de las temperaturas de la ciudad, ya que intercepta gran parte de la radiación emitida por el sol, evitando que el calor llegue a la superficie, proporcionando confort térmico, y por otro lado, la eliminación de vegetación y la intensificación de áreas urbanas aumentan la configuración de islas de calor.

PALABRAS CLAVE: Clima Urbano. Landsat. SIG.



1 INTRODUÇÃO

O clima influencia o homem de diversas maneiras, e o homem também influencia o clima através de suas atividades antrópicas. Uma vez alterado, o clima afeta os processos geomorfológicos, de formação dos solos, crescimento e desenvolvimento das plantas, com isso, a água, o ar, o alimento e o abrigo, são fortemente dependentes do clima, tornando-o assim elemento base para a vida da humanidade no planeta terra (AYOADE, 1996).

Nos últimos anos o clima vem sendo objeto de estudos em diversas regiões do mundo, sobretudo o clima urbano, o que torna este assunto de extrema relevância a ser abordado, sobretudo com o atual enfoque das mudanças climáticas e as elevadas taxas de crescimento populacional. O reflexo do referido crescimento resulta em uma nova implicação no uso da terra, proporcionando progressiva deterioração dos ambientes urbanos e periurbanos, refletindo na substituição de áreas verdes por áreas artificiais (JUNIOR & NASCIMENTO, 2023). O aumento de áreas construídas somado com a diminuição da vegetação, cada vez mais intensa, contribuem para a formação de um clima com características distintas se comparado com zonas rurais (MOREIRA, 2014).

É notável que os problemas relacionados ao clima urbano, tais como a geração das ilhas de calor e poluição atmosférica são mais visíveis e percebidos pela população nas grandes aglomerações urbanas. Entretanto, nos diversos estudos realizados na climatologia brasileira e no mundo, tem se verificado que assim como nos grandes centros urbanos, as cidades de médio e de pequeno porte, também passaram por fortes transformações na paisagem natural, materializadas através de diferentes formas, dentre elas a retirada da vegetação (JÚNIOR et al., 2023). A associação de atividades urbanas com a atual forma de uso e ocupação da terra provoca alterações nos processos dinâmicos da atmosfera e, conseqüentemente, nos elementos climáticos (AMORIM, 2017, 2019).

No Estado do Amazonas, a grande parte das pesquisas científicas sobre clima urbano estão restringidas apenas para a capital Manaus, sendo que as cidades do interior do estado carecem de estudos voltados para esse tema. Dessa forma, mostra-se a importância da realização deste trabalho levando em consideração essa pouca quantidade de trabalhos desenvolvidos para essas regiões, além do mais, o estudo do clima urbano consiste em proporcionar subsídios de informações reais e necessárias ao poder público e órgãos governamentais para promover ações que venham amenizar os impactos ambientais e alterações climáticas intraurbanas, a fim de proporcionar melhores condições de vida aos cidadãos.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi analisar a partir de dados de Sensoriamento Remoto, a relação entre o Uso e Cobertura da Terra e sua influência na Temperatura da Superfície e no NDVI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada) da cidade de Manacapuru, localizada na região metropolitana de Manaus/AM

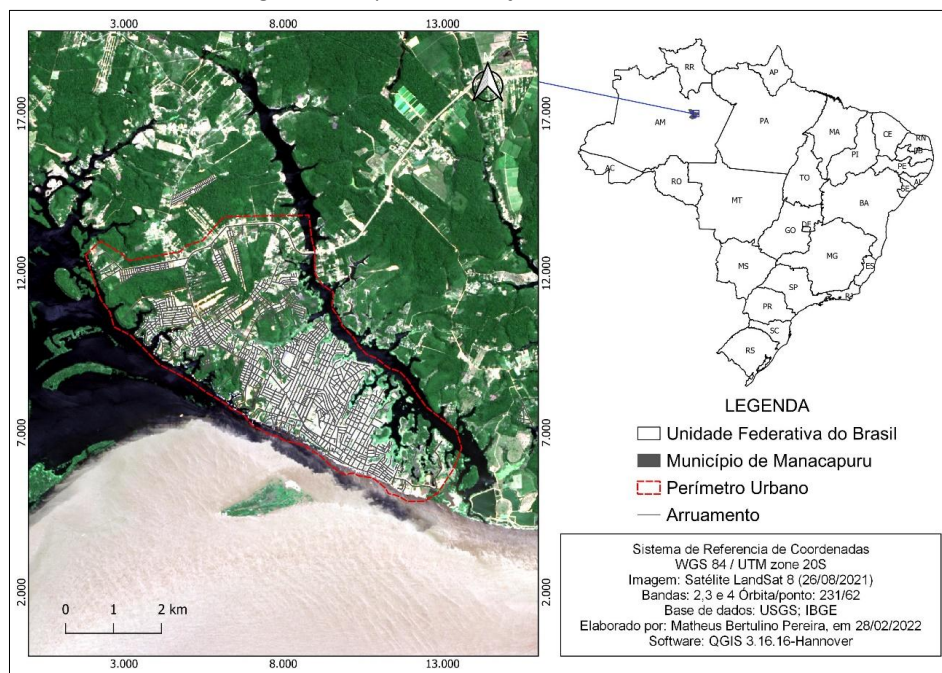
Os objetivos específicos foram:

- Caracterizar e mapear os diferentes tipos de uso da terra;
- Mapear a temperatura da superfície e NDVI;
- Analisar a influência do uso da terra na temperatura da superfície e no Índice de vegetação (NDVI) da área urbana de Manacapuru-AM.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Manacapuru localiza-se no Estado do Amazonas, Região Norte do Brasil (figura 1), pertence a mesorregião centro amazonense e microrregião de Manaus. Segundo o último censo do IBGE (2010) possuía uma população de 85.141 pessoas, na qual 60.178 viviam em sua área urbana, o mesmo estima que em 2021 sua população total subiu para 99.613. O município possui uma área territorial de 7.336,579 km², faz parte da Região Metropolitana de Manaus, é ligada à capital por Hidrovia (Rio Solimões) e a cerca de 84 km pela Rodovia AM-070.

Figura 1 – Mapa de localização da área do estudo



Fonte: FERREIRA et al., 2024.

De acordo com a classificação da rede urbana do estado do Amazonas feita por Schor e Oliveira (2011) Manacapuru classifica-se como cidade média com função de intermediária, ou seja, pela proximidade que tem com a metrópole Manaus principalmente pela ligação rodoviária, ela exerce função de intermédio entre as demais cidades da rede urbana com Manaus, abastece e é abastecida pela capital.

Manacapuru possui uma intensa dinâmica comercial, é produtora de cerâmicas, de frutas e verduras, além de ser um importante entreposto para municípios vizinhos, articulando



a relação com Manaus. No porto da cidade ainda se encontram frigoríficos de peixes que exportam seus produtos para todo o Brasil (SOUSA, 2015).

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente estudo, baseou-se teoricamente em livros, artigos, teses e dissertações, para definição de alguns conceitos e a fim de seguir algumas metodologias que já foram usadas por alguns desses trabalhos. É importante destacar que muitos dos livros e estudos realizados estão em bases de difícil acesso, ou são cobrados; por isso, a revisão desta pesquisa não abrange um referencial de amplo conhecimento, usou-se apenas trabalhos de livre acesso publicados em bases de acesso livre e gratuito, além de acervos de instituições públicas de pesquisa e ensino, sendo esses trabalhos de relevância na temática, que auxiliaram no entendimento da pesquisa.

A seguir, alguns conceitos importantes e trabalhos que foram usados como base:

4.1 Tempo e Clima

O estudo do tempo e clima ocupa um lugar relevante nos estudos ambientais, sobretudo na ciência geográfica. Vale ressaltar que há uma diferença conceitual entre esses dois termos. O autor AYOADE (1996) diz que:

Por tempo (Weather) nós entendemos o estado médio da atmosfera numa dada porção de tempo e em determinado lugar. Por outro lado, clima é a síntese do tempo num dado lugar durante um período de aproximadamente 30-35 anos. O clima, portanto, refere-se às características da atmosfera, inferidas de observações contínuas durante um longo período. O clima abrange um maior número de dados do que as condições médias do tempo numa determinada área. Ele inclui considerações dos desvios em relação às médias (isto é, variabilidade), condições extremas, e as probabilidades de frequência de ocorrência de determinadas condições de tempo. Dessa forma, o clima apresenta uma generalização, enquanto o tempo lida com eventos específicos. (AYOADE, 1996, p. 2).

Desse modo, Amorim (2000), considerou que o clima urbano está condicionado aos fatores determinantes na geração de um clima das cidades, que pode ser definido pela rugosidade do espaço urbano, retirada de vegetação arbórea, densidade de construções e edificações e a geometria do traçado urbano. Esses fatores influenciam de modo direto as trocas padrões de energia entre a superfície e a atmosfera, comprometendo assim, as dinâmicas do funcionamento dos componentes climáticos.

4.2 Geotecnologias

As geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. As geotecnologias caracterizam-se pela fusão entre hardwares, softwares e peoplewares que juntos constituem poderosas ferramentas para tomada de decisões. Dentre as geotecnologias podemos destacar o Sistema de Informação Geográfica e o Sensoriamento Remoto (ROSA, 2005).



As geotecnologias, refere-se ao conjunto de tecnologias computacionais destinadas a informações espaciais, que vai desde a aquisição de dados até ao produto final, o mapa, utilizando técnicas matemáticas e tem como ferramentas computacionais os SIG's (DIAS, 2008).

4.3 Sistemas de Informação Geográfica

O Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é uma tradução do termo em inglês Geographical Information Systems (GIS). Fitz (2008) define SIG como:

Um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido. (FITZ, 2008, p.19).

Câmara et al. (1996) consideram que um SIG tem os seguintes elementos: interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados.

4.4 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento Remoto é uma tecnologia que permite a obtenção de imagens e outros dados da superfície terrestre, captada por um sensor, a exemplo dos satélites, que registra as energias que são refletidas ou emitidas pela superfície. "O termo Sensoriamento refere-se à obtenção dos dados, e o remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância [...]" (FLORENZANO, 2002, p.9).

Segundo Meneses e Almeida (2012) o conceito clássico e mais conhecido de sensoriamento remoto, define-o como uma técnica de obtenção de imagens de objetos superficiais da terra sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e a superfície terrestre.

Dentre os principais produtos de Sensoriamento Remoto podemos destacar as imagens de satélites, que constituem informações multiespectrais, a partir da energia refletida dos alvos na superfície terrestre, possibilitando a análise de objetos em diferentes escalas, resoluções e regiões do espectro eletromagnético. Pode-se destacar as imagens de satélite da série Landsat, como uma das mais difundidas no meio científicos que trabalha com os dados de Sensoriamento Remoto.

A presente pesquisa utilizou produtos de Sensoriamento remoto no mapeamento do uso e cobertura da terra da área urbana da cidade de Manacapuru. Segundo o IBGE (2013), o uso e cobertura da terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre. O levantamento sobre a Cobertura e o Uso da Terra compreendem uma série de análises e mapeamentos e é de grande utilidade para o conhecimento atualizado das formas de uso e de ocupação do espaço geográfico, elegendo importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão.

Outra variável importante, influenciada pelo uso da terra é o NDVI que consiste no produto cartográfico produzido a partir de uma técnica para se estabelecer os níveis de reflectância da vegetação sadia, permitindo a análise de áreas de vegetação densa, como as



áreas de floresta e dispersa como áreas de pastagem, desmatamento, agricultura e expansão urbana (ALEIXO e SILVA NETO, 2019).

4.5 Pesquisas utilizadas como referencias

Além desses conceitos citados anteriormente, que é de fundamental importância para o entendimento deste trabalho, a presente monografia baseou-se em alguns trabalhos voltados para o estudo do clima urbano de cidades brasileiras, incluindo Manaus e cidades do interior do Amazonas, que utilizaram Geotecnologias, sobretudo o Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas, em suas metodologias.

Coelho e Correa (2013), estudaram a temperatura da superfície em uma área urbana da cidade de Vitória-ES, utilizando imagens termais do satélite Landsat 8. Constataram que, as áreas com intensa existência termal como prédios, pavimentos, telhados e outras superfícies típicas da paisagem urbana, apresentaram temperaturas da superfície com amplitudes elevadas superiores a 12°C, configurando-se ilhas de calor. Constatou-se, também, a influência e a importância da cobertura vegetal na amenização da temperatura.

Moreira (2014) analisou a influência da superfície urbana nos componentes do balanço de energia e evapotranspiração na cidade do Recife PE, utilizando imagens de satélite Landsat. O autor constatou alterações relevantes nas trocas dos fluxos de energia entre a malha urbana e atmosfera com predominância de altos valores de radiação, contribuindo para o aquecimento do ar próximo à superfície e na formação de zonas de calor. As áreas verdes e corpos hídricos, com menor representação espacial, apresentaram resfriamento evapotranspirativo, proporcionando o esfriamento da temperatura do ar e contribuindo com a formação de ilhas de frescor em escala local.

Aleixo et al. (2021) estudaram o campo térmico e higrométrico na cidade de Uarini. Os autores coletaram dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar (U.R.) e velocidade do vento, temperatura da superfície e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Concluíram que a umidade relativa apresentou na maior parte dos pontos valores inferiores a 60% no período da manhã e a velocidade dos ventos foi superior nas áreas com maior densidade de vegetação arbórea.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos do presente estudo dividiram-se em quatro principais etapas. A primeira etapa consistiu no levantamento da literatura em livros, teses, artigos, dissertações, entre outros, que abordam a temática, para o embasamento do trabalho. Em seguida, a aquisição dos dados vetoriais para a delimitação da malha urbana da área de estudo, obtidas no site do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. A segunda etapa consistiu na obtenção dos dados de uso e cobertura da terra para área de estudo no site do Mapbiomas, disponíveis no endereço eletrônico < <https://mapbiomas.org/download>>.

O Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas), é uma rede colaborativa, formada por ONGs, universidades, pesquisadores e startups de tecnologia, que revela as transformações do território brasileiro, por meio da ciência, tornando



acessível o conhecimento sobre o uso da terra, a fim de buscar a conservação e combater as mudanças climáticas. Utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine e produz mapeamentos de uso e cobertura da terra abrangendo todos os biomas brasileiros, desde o ano de 1985, nos permite o entendimento da dinâmica do uso do solo com uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo, com infinitas possibilidades para geração de mapas variados.

A terceira etapa, consistiu em buscar informações sobre as condições do tempo da área de estudo na data de passagem do satélite, através do Banco de Dados Meteorológicos do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

Na quarta etapa, realizou-se o mapeamento do uso e cobertura da terra da área de estudo com os dados do Mapbiomas, e o processamento das imagens de satélite para a quantificação da Temperatura da Superfície e NDVI.

O software de SIG utilizado para análise do uso e cobertura da terra e o processamento digital das imagens de satélite, foi o QGIS 3.16-Hannover. Através dele, foi possível fazer o recorte das imagens para área de estudo, com base nos arquivos vetoriais shapefile de delimitação da área urbana da cidade.

5.1 Uso e Cobertura da Terra

Através da plataforma Google Earth Engine, mecanismo utilizado pelo Mapbiomas para o descarregamento de dados, foi feito o download de Uso e Cobertura da Terra do ano de 2020 (coleção 6 do Mapbiomas), para o recorte do município de Manacapuru. Quando baixado, o dado veio no formato raster, e quando aberto no SIG indicado, foi compatibilizado para o Datum WGS 84 UTM Zona 20 Sul e posteriormente recortado a partir do vetor para a área urbana de Manacapuru, que corresponde a área de estudo dessa monografia.

Após todo esse processo, a reclassificação do raster foi feita usando os parâmetros de Códigos das classes da legenda e paleta de cores utilizadas na Coleção 6 do MapBiomas.

5.2 Caracterização e processamento das imagens Landsat 8

Ao todo, o Landsat 8 possui 11 bandas espectrais e opera sob dois instrumentos imageradores, sendo o primeiro: Operational Land Imager (OLI), com nove bandas mais a banda pancromática, e o sistema imageador Thermal Infrared Sensor (TIRS) com duas bandas de pixel de 100 metros, processadas e disponibilizadas em 30 metros (tabela 1). O OLI é um sensor de varredura com um telescópio de quatro espelhos e quantização de 12 bits, coleta dados para bandas espectrais de infravermelho próximo, visível e infravermelho de ondas curtas, bem como uma banda pancromática (USGS, 2022).

O sensor TIRS recolhe dados de 100 m para duas bandas espectrais mais estreitas na região térmica, anteriormente coberta por uma banda espectral larga nos Landsats 4-7. Esses dados são registrados no OLI para criar produtos de dados de 12 bits com correção radiométrica, geométrica e de terreno (USGS, 2022).



Tabela 1: Características gerais da imagem do Satélite Landsat 8.

Satélite Landsat 8			
Imageador	Bandas	Faixa espectral (μm)	Resolução espacial (metros)
OLI	1 - Visível Ultra-Azul	0.435 - 0.451	30
	2 - Visível Azul	0.452 - 0.512	30
	3 - Visível Verde	0.533 - 0.590	30
	4 - Visível Vermelho	0.636 - 0.673	30
	5 - Infravermelho Próximo	0.851 - 0.879	30
	6 - Infravermelho Médio/SWIR 1	1.566 - 1.651	30
	7 - Infravermelho Médio/SWIR 2	2.107 - 2.294	30
	8 - Pancromática (PAN)	0.503 - 0.676	15
	9 - Cirrus	1.363 - 1.384	30
TIRS	10 - Infravermelho Termal/TIRS 1	10.60 - 11.19	100
	11 - Infravermelho Termal/TIRS 2	11.50 - 12.51	100

Fonte: Adaptado de USGS, 2019.

Partindo desses pressupostos, utilizou-se neste estudo, respectivamente as bandas 2, 3, 4 e 8 (técnica Pansharpering) do sensor OLI na elaboração do mapa de localização; a banda 10 correspondente à faixa do infravermelho termal (10.6 - 11.19 μm - micrômetro) do sensor TIRS para a temperatura da superfície; e as bandas 4 (visível vermelho) e 5 (infravermelho próximo) do sensor OLI para o NDVI, ambas da órbita/ponto 231/62 correspondente a área de estudo, com data de passagem no dia 26/08/2021 e hora local 14:12.

Para a estimativa da temperatura de superfície, seguiu-se os procedimentos propostos pelo USGS (United State Geological Survey) e a metodologia utilizada no trabalho de Coelho e Correa (2013). Iniciou-se com o recorte da imagem infravermelha termal (banda 10) através do software QGIS 3.16 para área desejada, seguido do uso dos parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, depois para temperatura Kelvin, fundamentado nas equações 1 e 2, e especificadas nas Tabelas 2 e 3, também disponibilizadas no Serviço Geológico Americano.

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

Tabela 2: Elementos e valores da fórmula de conversão para radiância da imagem do Landsat-8, banda 10.

$L\lambda$	Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/ ($\text{m}^2 \text{sr } \mu\text{m}$)
ML	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04
$Qcal$	Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000
AL	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10

Fonte: FERREIRA et al., 2024.

Em seguida, após a transformação dos valores em radiância aplicou-se a equação 2 com a finalidade de converter os valores obtidos na primeira, em temperatura de valor em Kelvin:



$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

Tabela 3: Elementos e valores da constante de calibração extraídos do metadados da imagem Landsat-8, banda10.

T	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)
K2	Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K)
K1	Constante de calibração 1 = 774.89 (K)
Lλ	Radiância espectral em Watts/ (m ² sr μm)

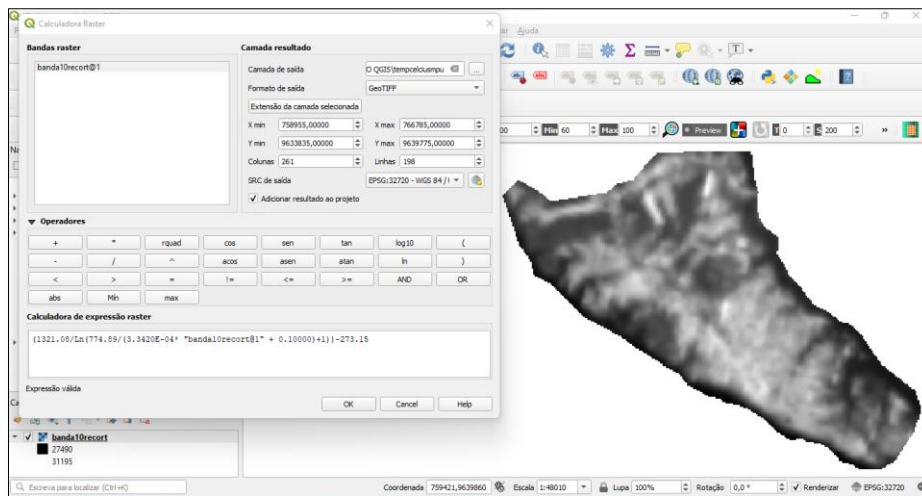
Fonte: FERREIRA et al., 2024.

Posteriormente, os valores de temperatura Kelvin foram subtraídos pelo seu valor absoluto (273,15), gerando o raster de temperatura de superfície em graus Celsius (°C). Na figura 2, é mostrada a captura da tela do SIG com a imagem termal extraída/cortada para a área de estudo - salva como "banda10recort@1" - e a inclusão dos algoritmos (equação 1 e 2) na calculadora raster do QGIS 3.16 Hannover. Na janela da calculadora raster, a inserção conjunta das equações 1, 2 e a subtração de 273,15 para obtenção da temperatura Celsius. Fórmula completa: TC= (1321.08/Ln(774.89/(3.3420E-04* "banda10recort@1" + 0.10000)+1))-273.15.

Após esse processo, resultou em um produto raster que apresenta a temperatura de superfície em graus Celsius (°C) para a área de estudo que, posteriormente, em ambiente SIG, foi reclassificado em 10 classes, de 24 °C até 33°C, com gradiente de cores que vai do azul ao vermelho, indicando respectivamente as temperaturas mínimas e máximas. Traçou-se também, transectos de temperatura de A para B e de C para D, para verificar o comportamento da temperatura dentro da cidade.

Para elaboração do NDVI, além dos procedimentos propostos pelo USGS, utilizou-se também a metodologia usada nos trabalhos de Aleixo e Silva Neto (2019, 2021). Foram utilizadas as bandas 4 e 5, respectivamente Vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR) do Landsat 8 OLI, com a mesma data de referência das imagens utilizadas no cálculo da Temperatura da Superfície.

Figura 1: Captura da tela do QGIS 3.16 com a banda 10 cortada, sem cobertura de nuvens.



Fonte: FERREIRA et al., 2024.

Assim, a fórmula utilizada para o cálculo do NDVI está ilustrada a seguir, na Equação 3.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (3)$$

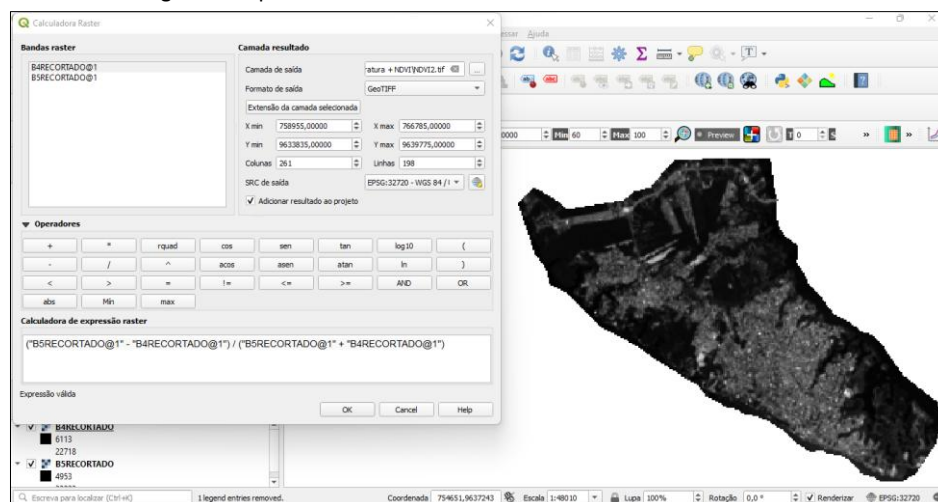
Onde:

NDVI = Normalized Difference Vegetation Index;

NIR = Banda 5 do Landsat 8 OLI, Infravermelho Próximo, com correção atmosférica e redimensionados para reflectância;

RED = Banda 4 do Landsat 8 OLI, Vermelho, com correção atmosférica e redimensionados para reflectância.

Figura 2: Captura da tela do QGIS 3.16 com as bandas 4 e 5 cortadas.



Fonte: FERREIRA et al., 2024.

Objetivando a elaboração do NDVI, realizou-se o recorte das duas imagens (banda 4 e



5) para a área de estudo no Software QGIS 3.16 e salvas em uma pasta com os nomes “B4RECORTADO” e “B5RECORTADO”. Posteriormente, aplicou-se na calculadora raster do referido software, a Equação 3, para obtenção dos NDVIs (figura 3).

Após aplicação da Equação 3, resultou um produto raster do NDVI, que apresentou valores que variam de -0.05 a 0.53, observando-se que os valores negativos próximos de -1, a vegetação é mais dispersa ou inexistente, e os valores positivos próximos a 1 a vegetação é mais densa e homogênea.

5.3 Condições do tempo na data das imagens

Levando em consideração as imagens termais que foram utilizadas para a obtenção da temperatura de superfície da área de estudo, é importante saber as condições do tempo para a referida região no dia de passagem do satélite.

As condições ambientais e climáticas interferem a todo o momento na temperatura de superfície, transformando-a em pouco tempo, os dados das imagens obtidas na faixa do termal. Uma imagem termal tomada em um dia com pouca insolação, as superfícies dos materiais terão temperaturas mais baixas e emitirão intensidades menores de energia radiante se comparado com um dia de alta insolação. Superfícies com maior rugosidade tendem a apresentar menor albedo que superfícies mais lisas, pois maiores serão as áreas de sombra. Além desses, o aquecimento solar sobre os materiais também é outro fator que pode influenciar nos dados das imagens termais (MENESES, ALMEIDA, 2012).

De acordo com o INMET, a estação meteorológica automática de Manacapuru, localizada na rua Waldemar Ventura, bairro São José, dentro do Campus da Universidade Estadual do Amazonas – UEA, no dia 26/08/2021, que corresponde a data da imagem termal, não houve nenhum milímetro de precipitação e o dia que antecedeu essa data também não houve registro de chuva. A estação registrou nessa referida data, médias de 60% de umidade relativa do Ar, 30.1°C de temperatura e velocidade do vento com 1.6 m/s.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

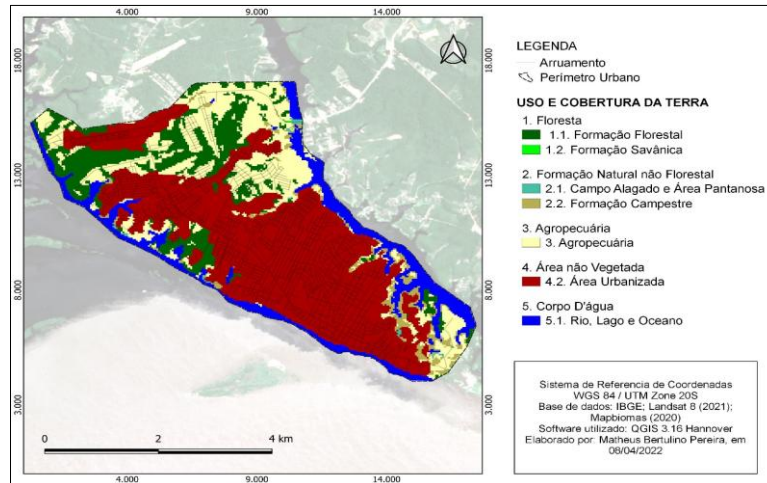
O mapa que representa a classificação do uso e cobertura da terra da área de estudo (figura 4) foi derivado do Mapbiomas, referente ao ano de 2020. As classes foram definidas de acordo com os códigos das classes da legenda e paleta de cores utilizadas na Coleção 6 do próprio MapBiomas. Sendo: 1) Floresta; 2) Formação Natural não Florestal; 3) Agropecuária; 4) Área não vegetada; e 5) Corpos D’água.

Analisando a figura à cima, nota-se, visualmente, que na cidade de Manacapuru, área de estudo, há em sua grande maioria a presença de áreas não vegetadas, especificada pelo mapeamento do Mapbiomas como 4.2 Área Urbanizada, com forte adensamento de construções urbanas. Há também uma grande quantidade em extensão territorial de áreas de 3. Agropecuária, que podem ser interpretadas como áreas desmatadas com presença de solo exposto. Nota-se também a presença de fragmentos florestais em algumas áreas da cidade, porém, são poucos se comparados com a extensão de áreas não vegetadas, construídas e

desmatadas.

A temperatura da superfície da área de estudo (figura 5), derivada do satélite Landsat-8 banda 10 TIRS com data de imageamento em 26/08/2021 e horário local 14:12 h, apresentou temperatura mínima de 24,6 °C, temperatura máxima de 33,1 °C, média de 28,8 °C e amplitude de 8,5 °C em relação aos valores dos pixels.

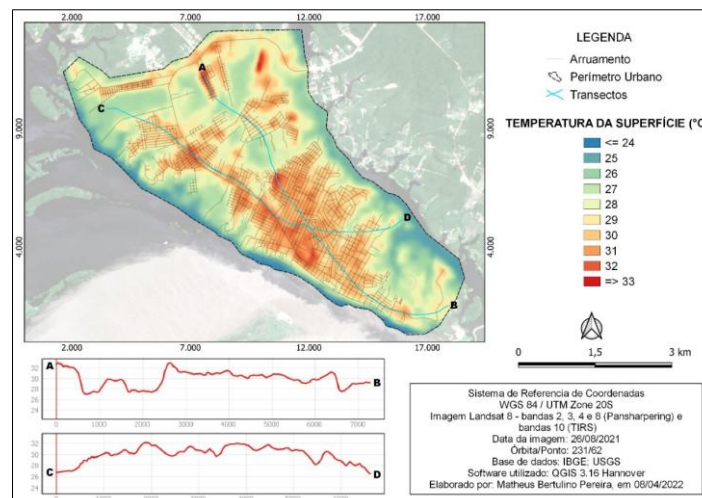
Figura 3: Uso e Cobertura da Terra da cidade de Manacapuru-AM em 2020, originada a partir do Mapbiomas.



Fonte: FERREIRA et al., 2024.

A área de interseção dos transectos AB e CD, parte central da cidade, apresentaram temperaturas mais elevadas entre 29°C a igual ou superior que 33°C, de forma homogênea, refletindo a densidade urbana, a alta impermeabilização e pavimentação asfáltica e diferentes tipos de materiais construtivos presente nos telhados, com a vegetação arbórea escassa ou inexistente.

Figura 4: Temperatura da Superfície da cidade de Manacapuru-AM, originada a partir da imagem do satélite Landsat 8 banda 10 TIRS infravermelho termal, no dia 26/08/2021.

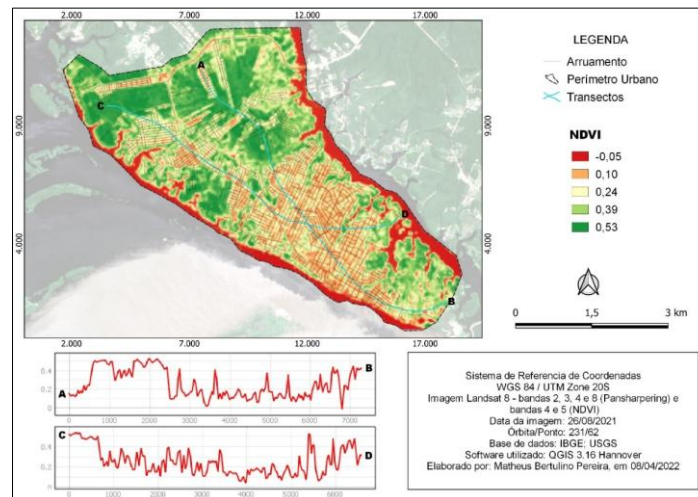


Fonte: FERREIRA et al., 2024.

Assim como a temperatura da superfície, o NDVI também originou-se de imagens do

satélite Landsat 8, com a mesma data e hora de imageamento, porém, para o NDVI utilizou-se respectivamente as bandas 4 (visível vermelho) e 5 (infravermelho próximo), ambas sensor OLI. Diante disso, os valores de NDVI para a área de estudo apresentou valores negativos e positivos, de -0.05 a 0.53, respectivamente áreas sem nenhuma ou pouca vegetação, vegetação mediana e área com densa vegetação (figura 6).

Figura 5: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) da cidade de Manacapuru-AM, originada a partir da imagem do satélite Landsat 8 bandas OLI 4 e 5, no dia 26/08/2021.

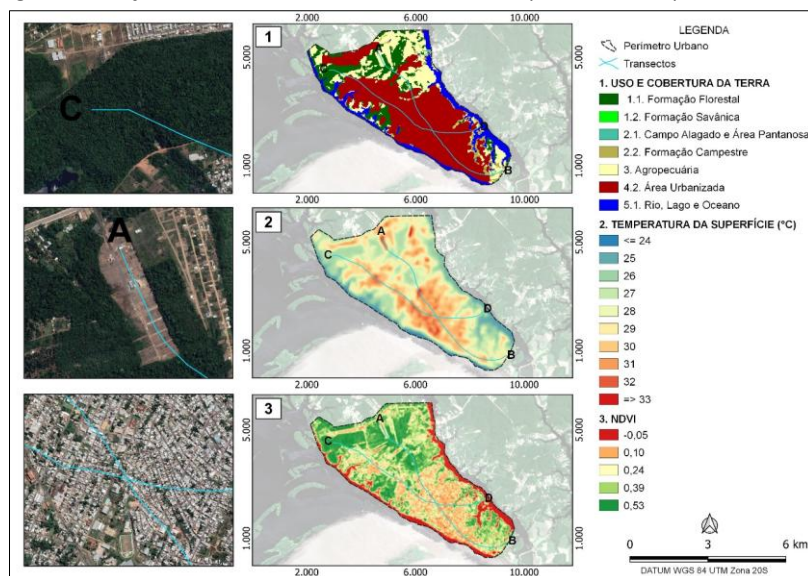


Fonte: FERREIRA et al., 2024.

A determinada área de estudo apresentou comportamento similar aos valores da temperatura superficial, pois, demonstrou a classe de baixa densidade de vegetação principalmente nas áreas de interseção dos transectos AB e CD, parte central da cidade, apresentando valores próximos à -1, e maior densidade de vegetação principalmente na C, com valores positivos próximo de 1.

De forma geral, relacionando o Uso e Cobertura da Terra, com a variáveis de temperatura superficial e NDVI, as áreas urbanizadas da cidade apresentam valores mais elevados de temperatura quando comparadas com áreas com presença de vegetação densa, ilustrado na figura 7.

Figura 6: Relação entre Uso e Cobertura da Terra, Temperatura da Superfície e NDVI.



Fonte: FERREIRA et al., 2024.

Ao relacionar o uso e cobertura da terra, temperatura da superfície e NDVI, juntamente com os transectos, notou-se similaridade entre as variáveis, pois a falta de vegetação e ocupação do solo por materiais construtivos, diminui o albedo e aumenta a capacidade de absorção da radiação solar, aquecendo a superfície, e conseqüentemente, ocasionando ilhas de calor em superfície ao longo da cidade de Manacapuru.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área central da cidade de Manacapuru, com maior densidade construtiva e mais antiga ocupação, apresentou as temperaturas mais elevadas e NDVI com valores menores que 0.24, indicando ausência ou pouca vegetação, todavia, algumas áreas com presença de vegetação arbórea, com valores de NDVI em 0.53, próximo de 1, como no caso da área do transecto C, apresentou os menores valores de temperatura superficial, ambas as áreas estão associadas aos diferentes tipos de usos e ocupação do solo.

Com esses resultados, pode-se concluir que a arborização, tem um papel importante para amenizar a temperatura das cidades, pois ela intercepta grande parte da radiação emitida pelo sol e impede que o calor chegue até a superfície, proporcionando ilhas de frescor dentro do ambiente urbano. Por outro lado, a retirada da vegetação e a intensificação de áreas urbanizadas aumenta a configuração de ilhas de calor.

Portanto, o clima urbano, deve ser levado em consideração no planejamento das cidades, objetivando a produção e reprodução do espaço urbano com atenção especial a qualidade ambiental e de vida da população, uma vez que interferem direta e indiretamente no conforto térmico e na saúde e bem-estar das pessoas.

8 REFERÊNCIAS



ALEIXO, N. C. R.; J. C. A. SILVA NETO. O campo térmico em área urbana na Amazônia brasileira: análise episódica na cidade de Tefé-AM. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 34, 1-22, 2019.

ALEIXO, N. C. R.; SILVA NETO, J. C. A. Os estudos do clima urbano nas cidades amazônicas. In: MOURA, M. O.; LUCENA, D. B.; CHRISTIANNE, C. C.; MOURA, M. S.; (Org.). *Climatologia geográfica: do local ao regional e dimensões socioambientais*. João Pessoa: Editora UFPB, 2020, v. 1, p. 23-42.

ALEIXO, N. C. R. et al. Ilhas de calor em cidade de pequeno porte na Amazônia brasileira: análise de Uarini-Am. **Revista Georaguaiá**, Barra do Garças – MT, v.11, n. Esp. Geotecnologias, p. 166–186. 2021.

AMORIM, M. C. de C. T. **O Clima urbano de Presidente Prudente/SP**. Tese (doutorado) FFLCH-USP, Universidade São Paulo, 2000.

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, no 15–Edição Especial –XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, p. 22-46. Jun, 2019.

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

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. 4ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332p.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Raega**, editora UFPR, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.

CAMARA, G. et al. **Anatomia de Sistema de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP. 1996. p.197

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura de superfície Celsius do sensor tirs/landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.7, n.1, p. 31-45, 2013.

DIAS, C. **Mapeamento do município de Pires do Rio-GO: usando técnicas de geoprocessamento**. 183f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2008.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: caso de viçosa, na zona da mata mineira**. 248f. Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia Física, USP, 2009.

FITZ, Paulo R. **Geoprocessamento sem complicação**, São Paulo. Ed. Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002. 97p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE. Série Manuais Técnicos em Geociências n. 7, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades: Manacapuru**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manacapuru/panorama>>. Acesso em: 22 de fevereiro 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades: Manacapuru**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 23 de fevereiro 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Mapa de estações: Manacapuru**. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 20 de fevereiro 2022.

JUNIOR, E. I. F.; NASCIMENTO, M. H. R. A proteção ambiental como princípio norteador da gestão pública no Amazonas: uma análise sob a perspectiva do direito administrativo. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 14, n. 8, 14292-14308, 2023.



JÚNIOR, E. I. F.; SANTOS, R. P.; DE AGUIAR, D. M. Cadastro ambiental rural: a legitimação da grilagem em terras públicas e as estratégias de combate. *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, v. 16, n. 46, 241-263, 2023.

MAPBIOMAS BRASIL. **O Projeto**. Disponível em: < <https://mapbiomas.org/o-projeto>>. Acesso em: 20 de fevereiro 2022.

MAPBIOMAS BRASIL. **Uso e cobertura da terra**. Disponível em: < https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR>. Acesso em: 23 de fevereiro 2022.

MENDONÇA, F. **Geografia física: ciência humana?** São Paulo: Contexto, 4ª edição, 1996.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012. 266p.

MOREIRA, E. B. M. **Balanco de energia e evapotranspiração na cidade do Recife-PE por sensoriamento remoto**. 155 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. *Revista do Departamento de Geografia*, Universidade Federal de Uberlândia, p. 81-90, 16, 2005.

SCHOR, T.; OLIVEIRA, J.A. Reflexões metodológicas sobre o estudo da rede urbana no Amazonas e perspectivas para a análise das cidades na Amazônia brasileira. *ACTA Geográfica*, Ed. Esp. Cidades na Amazônia Brasileira, p.15-30, 2011.

SOUSA, I. S. **A ponte do Rio Negro e a reestruturação do espaço na região metropolitana de Manaus: um olhar a partir de Iranduba e Manacapuru**. Manaus: Editora Reggo/UEA Edições, 2015.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Using the USGS Landsat Level-1 Data Product**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 26 de fevereiro 2022.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. 2019. Disponível em: <https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf>. Acesso em: 25 de fevereiro 2022.