

Artigo de Pesquisa

**SENSORIAMENTO REMOTO E CLIMA URBANO NA AMAZÔNIA:
ANÁLISE DE ALVARÃES, AMAZONAS, BRASIL****Remote sensing and urban climate in the Amazonia: Analysis of Alvarães,
Amazonas, Brazil**Bruno Sarkis Vidal¹, João Cândido André da Silva Neto²

¹ Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geografia, Manaus, Brasil. E-mail.
bruno.sarkis.v@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8782-3197>

² Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geografia, Manaus, Brasil. E-mail.
joaocandido@ufam.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-7313-9837>

Recebido em 30/08/2022 e aceito em 24/11/2022

RESUMO: O objetivo do trabalho foi analisar os fatores que influenciam o clima urbano da cidade de Alvarães (AM) através da utilização de dados de sensoriamento remoto. O sensoriamento remoto proporciona o estudo das transformações e a construção de cenários sobre a paisagem terrestre, podendo auxiliar e identificar inúmeros problemas baseados na localização dos fenômenos geográficos, no qual menciona-se a mudança no uso e ocupação do solo, e alterações do microclima. Utilizou-se das imagens de satélites do PlanetScope para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal e índice de vegetação, a banda do infravermelho termal do Landsat 8 TIRS para elaboração do mapa de temperatura de superfície, além das bandas do vermelho e infravermelho próximo do Sentinel 2. Os resultados mostraram que as maiores temperaturas dos alvos observadas estão relacionadas às áreas descobertas de vegetação, uma variação entre 30°C a 32°C, principalmente na área urbana do município, onde a densidade de construção, tipo de material construtivo e arborização da cidade que influencia diretamente nos valores registrados. Mesmo que o município de Alvarães esteja localizado na Amazônia, como uma área de baixo desmatamento e possuindo dificuldade de acesso por estradas, verificou-se a ausência de políticas públicas para efetivação do planejamento urbano adequado às características socioambientais, sendo necessário incluir estudos sobre clima aplicados ao ordenamento do território e planejamento urbano, proporcionando uma melhoria na qualidade de vida dos moradores da cidade de Alvarães.

Palavras-chave: Ilha de calor; Índice de vegetação; Temperatura de superfície; Uso da terra.

ABSTRACT: The goal of this paper was to analyze the factors that influence the urban climate of the city of Alvarães using remote sensing data. Remote sensing provides the study of transformations and the construction of scenarios on the terrestrial landscape, being able to help and identify numerous problems based on the location of geographic phenomena, in which the change in land use and occupation, and microclimate changes are mentioned. PlanetScope satellite images were used to map land use and vegetation cover and vegetation index, the thermal infrared band of Landsat 8 TIRS to prepare the surface temperature map, in addition to the red and Near Infrared bands of Sentinel 2. The results showed that the highest temperatures of the targets observed are related to the uncovered areas of vegetation, a variation between 30°C to 32°C, mainly in the urban area of the municipality, where the

construction density, type of construction material and afforestation of the city that directly influences the recorded values. Even though the municipality of Alvarães is in the Amazon, as an area of low deforestation and with difficult access by roads, there was a lack of public policies to implement urban planning appropriate to the socio-environmental characteristics, being necessary to include studies on climate applied to land use and urban planning, providing an improvement in the quality of life of residents of the city of Alvarães.

Keywords: Heat islands; Vegetation index; Surface temperature; Land use.

RESUMEN: El objetivo de este trabajo fue analizar los factores que influyen en el clima urbano de la ciudad de Alvarães mediante el uso de datos de sensado remoto. El sensado remoto proporciona el estudio de las transformaciones y la construcción de escenarios sobre el paisaje terrestre, pudiendo ayudar e identificar numerosos problemas basados en la ubicación de fenómenos geográficos, en los que se mencionan el cambio de uso y ocupación del suelo, y cambios en el microclima. Se utilizaron imágenes satelitales de PlanetScope para mapear el uso del suelo y la cobertura vegetal y el índice de vegetación, la banda de infrarrojo térmico de Landsat 8 TIRS para elaborar el mapa de temperatura superficial, además de las bandas roja e Infrarrojo cercano de Sentinel 2. Los resultados mostraron que las temperaturas más altas de los objetivos observados están relacionadas con las áreas descubiertas de vegetación, una variación entre 30°C a 32°C, principalmente en la zona urbana del municipio, donde la densidad de construcción, el tipo de material de construcción y la forestación de la ciudad que influye directamente en los valores registrados. A pesar de que el municipio de Alvarães está ubicado en la Amazonía profunda, como un área de baja deforestación y de difícil acceso por carretera, faltaron políticas públicas para implementar una planificación urbana adecuada a las características socioambientales, siendo necesario incluir estudios sobre el clima aplicados al uso del suelo y la planificación urbana, proporcionando una mejora en la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Alvarães.

Palabras clave: Islas de calor; Índice de Vegetación; Temperatura de la superficie; Uso de la Tierra.

INTRODUÇÃO

Dentre as geotecnologias, os SIG's (Sistema de Informação Geográfica) e os produtos de sensoriamento remoto, como imagens de satélites, têm um papel importante nos estudos ambientais, visto que possibilita o processamento de inúmeras quantidades de dados, permitindo a criação e atualização de banco de dados, analisando espacialmente os dados geográficos e destacando os problemas ambientais.

O sensoriamento remoto proporciona o estudo das transformações e a construção de cenários sobre a paisagem terrestre, podendo auxiliar e identificar numerosos problemas baseados na localização dos fenômenos geográficos, no qual mencionase a mudança no uso e ocupação do solo, e alterações do microclima.

Dorigon e Amorim (2014) apontam que as cidades são sistemas complexos, com uma dinâmica extrema, compreendendo atualmente, mais da metade da população mundial. A transformação abrupta da paisagem natural em cidades, não gera apenas impactos na morfologia do seu sítio, mas modificam também as condições ambientais e climáticas.

Amorim (2014) verifica que a concentração populacional nos ambientes urbanos tem ocasionado problemas ambientais e sociais resultantes das atividades econômicas e industriais, da expansão do espaço construído e da falta do planejamento adequado que considere os fatores ambientais e os socioeconômicos. A expansão das áreas urbanas tem modificado de maneira significativa a paisagem natural.

Apesar das cidades não ocuparem grandes extensões territoriais, são elas as maiores transformadoras do meio natural, o clima urbano é uma destas transformações, onde é resultado das interferências dos fatores que processam na cidade e que podem alterar a atmosfera na escala local (AMORIM, 2014).

A cidade gera o seu próprio clima, resultante da interferência de fatores que ocorrem sobre a camada limite urbana, agindo no sentido de alterar o clima na escala local, alterando o conforto térmico, à qualidade do ar e os impactos pluviométricos (MONTEIRO, 1976).

Tejas et al. (2017) apontam que a cidade pode ser grande modificadora do micro e mesoclima, onde o processo de urbanização acelerado proporciona o surgimento de ilhas de calor, na qual, quase sempre observado em locais com excessiva quantidade de construções e baixa concentração de áreas verdes, resultando em temperaturas mais elevadas do que as vizinhas não urbanizadas.

Os fatores determinantes para a geração de um clima urbano são os aspectos de rugosidade, retirada da vegetação arbórea, densidade de construção e edificações e a geometria do traçado urbano, tendo em vista que modificam as trocas de padrão de energia entre a superfície e a atmosfera, afetando o funcionamento dos componentes climáticos

Nos estudos da climatologia geográfica, os enfoques para os climas urbanos tiveram início na década de 1970, não obstante, o primeiro e maior foco foram nas regiões metropolitanas, devido às mudanças consideráveis nos parâmetros meteorológicos, a posteriori, foram estudadas as cidades de porte médio e pequeno (ALEIXO e SILVA NETO, 2019).

Aleixo e Silva Neto (2019) apontam que os estudos climatológicos brasileiros são concentrados nas regiões sul e sudeste, com uma menor proporção na região norte. Ainda salientam que os estudos climáticos nas cidades de clima equatorial são escassos, os autores destacam que os estudos sobre o campo térmico no estado do Amazonas são restritos para a capital Manaus.

As cidades do interior amazonense necessitam de pesquisas que compreendam as alterações climáticas e da qualidade ambiental urbana e que possibilitem instrumentos de gestão e medidas de planejamento urbano que integrem a perspectiva climática no bem-estar e qualidade de vida da população (ALEIXO e SILVA NETO, 2019).

A relevância do estudo é destacada pela abordagem da natureza na perspectiva das ações e intencionalidades da sociedade no uso da terra, refletindo nas alterações do microclima, que por meio dos produtos de sensoriamento remoto consegue analisar variáveis que podem auxiliar as políticas públicas voltadas à qualidade ambiental da população local.

A partir do quadro teórico construído acima, este trabalho teve como objetivo analisar o campo térmico do município de Alvarães-AM, utilizando as técnicas de sensoriamento remoto para compreender as dinâmicas das temperaturas do ar e superfície, juntamente com o uso e ocupação do solo e o índice de vegetação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O município de Alvarães está localizado na Amazônia Central, numa região definida por Viana (2008) como uma área de baixo desmatamento (inferior a 2%), elevados números de terras indígenas e unidades de conservação, com a presença de populações tradicionais e indígenas, possuindo dificuldade de acesso por estradas.

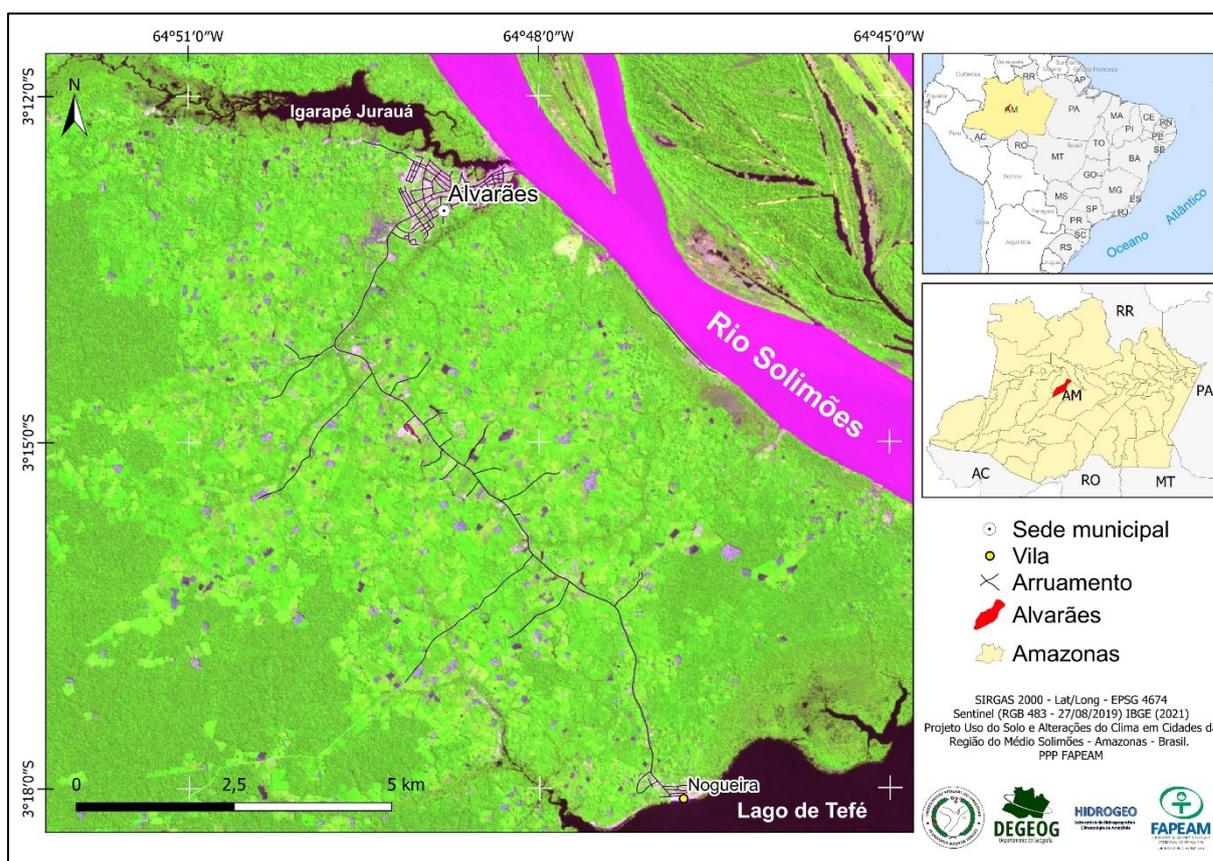


Figura 1: Localização da área urbana do município de Alvarães-AM. **Elaboração:** Autores (2022).

O clima da área de estudo é o equatorial, apresenta pouca amplitude térmica sazonal, recebe alta incidência de radiação solar devido a sua posição próxima a faixa equatorial, fazendo que as temperaturas sejam altas durante o ano inteiro (ALEIXO e SILVA NETO, 2019a).

Os meses entre dezembro e maio são os mais chuvosos, enquanto o período entre julho e outubro são os mais secos. Segundo os dados da estação do Instituto Nacional

de Meteorologia (INMET, 2022), mais próxima da área de estudo, localizada no município vizinho Tefé, a temperatura do ar mínima anual no período de 1970 a 2021 é de 22,7°C, enquanto a máxima anual é de 32,2°C.

A cidade de Alvarães é considerada especial por Schor e Oliveira (2011), pois devido à ausência de infraestrutura que possibilite exercer plenamente as funções urbanas e por sua localização geográfica, torna complicada a sua relação com a calha central do rio Solimões, encontrando-se dependentes das cidades médias e pequenas de responsabilidade territorial.

Segundo o IBGE (2021), a população estimada para o município de Alvarães para o ano de 2021 é de 16.396. No ano de 2010, a população rural era de 6.201 habitantes, enquanto a urbana era de 7.887 habitantes. A distância da sede municipal de Alvarães para Manaus, capital do Estado do Amazonas é de 668 km por via fluvial.

Procedimentos metodológicos

A utilização do SIG e geoprocessamento, direcionados a assegurar a aquisição, o processamento, as inter-relações e a visualização de informações, foram necessárias para realizarmos a elaboração dos mapas de localização da área de estudo, uso da terra e cobertura vegetal, índice de vegetação e da carta imagem de temperatura de superfície.

A primeira etapa foi a elaboração de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados Geográficos (SGBDG) em ambiente SIG no software SPRING, versão 5.5.6 do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o QGIS Desktop 3.26 para confecção dos mapas. Utilizou-se o Sistema de Coordenadas Geográficas e o Datum SIRGAS 2000 como parâmetros cartográficos.

A base vetorial dos limites territoriais do município de Alvarães foi adquirida através da malha municipal do estado do Amazonas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021).

A base matricial para elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal, índice de vegetação e temperatura de superfície consistiu na aquisição de imagens de satélite PlanetScope através da licença educacional disponibilizada e Landsat 8 TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), através Serviço Geológico Americano (USGS) próximos da data do trabalho de campo realizado entre os dias 13 e 20 de setembro de 2019. Utilizou-se a imagem de satélite da constelação Sentinel 2A, adquirida em 27 de agosto de 2020 para a elaboração do índice de umidade da área de estudo.

Para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal, tornou-se necessário a composição colorida da cena correspondente à cidade de Alvarães, além da correção do contraste das bandas do vermelho (R), infravermelho próximo (NIR) e azul (B) no SPRING, facilitando na interpretação da imagem.

Utilizou-se da classificação supervisionada do SPRING 5.5.6 para finalização do mapa temático de uso e cobertura da terra do município de Alvarães através da metodologia descrita na Figura 2.

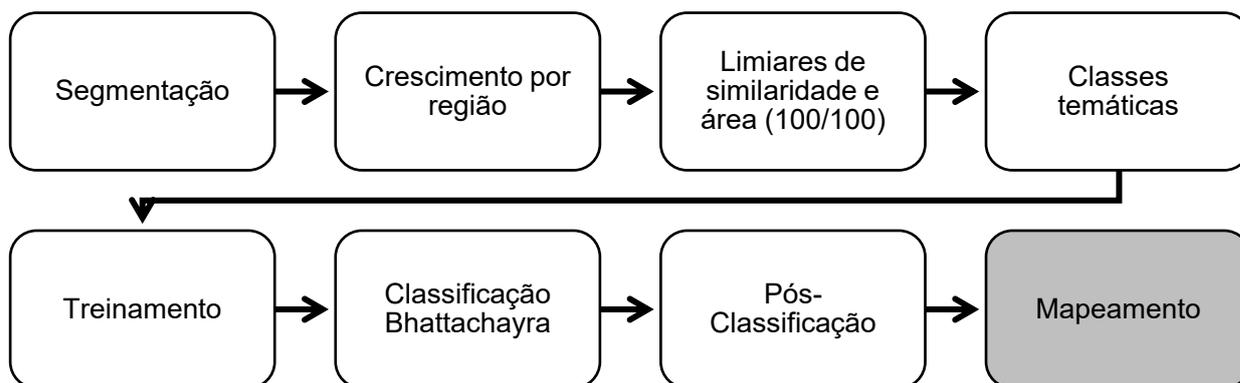


Figura 2: Fluxograma das etapas para classificação de imagens no SPRING.

Elaboração: Autores (2020).

A primeira etapa no processo de classificação foi a segmentação, que consiste na divisão da imagem em regiões correspondentes a escala de análise, as regiões são entendidas como um conjunto de "pixels" contíguos, que apresentam uniformidade (LOPES, 2012). Para Moreira (2012) a região pode ser um pixel ou um conjunto de pixels, onde em cada região o segmentador calcula os dados espectrais de média, variância e textura. O método adotado na segmentação foi o crescimento por região, definido por Lopes (2012, p. 04) como:

[...] uma técnica de agrupamento de dados, na qual somente as regiões adjacentes, espacialmente, podem ser agrupadas. Inicialmente, este processo de segmentação rotula cada "pixel" como uma região distinta. Calcula-se um critério de similaridade para cada par de regiões adjacentes espacialmente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões. A seguir, divide-se a imagem em um conjunto de sub-imagens e então se realiza a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido.

A similaridade é o valor mínimo abaixo do qual duas classes são consideradas similares e agrupadas em uma única região, enquanto a área define o número de pixels necessários para que uma área seja individualizada. Adotou-se o valor 100 para ambos limiares, após o processo de segmentação, uma imagem separada em regiões foi gerada com base nas propriedades dos níveis de cinza.

A extração de regiões consiste na extração de alguns parâmetros do polígono, tais como: posicionamento, média de níveis de cinza e matriz de covariância para serem utilizados no treinamento e classificação (MOREIRA, 2012). Vale ressaltar que este processo não gera um produto final, é uma operação interna no software, neste caso, no SPRING.

Foram definidas 7 classes de uso da terra e cobertura vegetal, sendo duas para vegetação: primária e secundária; duas para água: preta e branca; e uma para o desmatamento; área urbana e/ou solo exposto; e áreas de queimadas. A definição dessas classes foi importante para se ter um maior detalhamento no mapeamento do uso e cobertura da terra (Quadro 1).

Quadro 1. Descrições das classes de uso da terra e cobertura vegetal.

Classes	Descrições
Água Preta	Corpos d'água escuros como o Lago Tefé e igarapés.
Água Branca	Corpos d'água com brancos, a exemplo do rio Solimões.
Desmatamento	Áreas desmatadas com corte raso.
Área Urbana/Solo Exposto	Áreas urbanizadas, formadas por construções, vias de circulação, assim como áreas expostas, onde há ausência de cobertura vegetal.
Vegetação Primária	Vegetação arbórea nativa.
Vegetação Secundária	Vegetação em estágios de regeneração natural, pastos abandonados e formações arbustivas.
Áreas de Queimadas	Áreas recém queimadas, apresentam cor escura na imagem.

Elaboração: Autores (2022).

O processo de treinamento corresponde à aquisição de amostras na imagem dividida por regiões, onde é atribuída uma determinada classe para a amostra coletada, de acordo com a chave de interpretação utilizando a tonalidade/cor, forma e textura dos objetos da imagem para adquirir amostras.

A classificação da imagem PlanetScope foi gerada através do classificador Bhattachayra, neste classificador é medido a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais (LOPES, 2012).

Devido ao classificador ser supervisionado, requer interação com o usuário através do treinamento, suas amostras são as regiões criadas na segmentação de imagens.

A pós-classificação corresponde ao procedimento que se define pela extração dos pixels isolados, ocorre após o processo de classificação. O mapeamento finaliza a etapa de classificação pelo SPRING, onde é possível transformar a imagem classificada em mapa temático raster.

O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*) foi elaborado com a utilização das bandas do vermelho e infravermelho próximo da imagem PlanetScope, o objetivo principal deste mapeamento foi observar a qualidade da vegetação da área de estudo.

A análise do NDVI consiste em um índice para estabelecer níveis da vegetação sadia, permitindo a análise do vigor de áreas com vegetação densa e dispersa, bem como as modificações ao longo do tempo de áreas de floresta para áreas de pastagem, desmatamento, agricultura e expansão urbana (RAMOS et al., 2010).

O NDVI normaliza a razão simples para o intervalo de -1 a +1, onde as áreas de vegetação mais intensa aproximam-se dos maiores valores, o índice é calculado como a relação entre a refletividade média das porções do vermelho e infravermelho do espectro eletromagnético através da seguinte fórmula (JENSEN, 2011).

$$NDVI = \frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red}}$$

A fim de gerar a temperatura de superfície da área urbana e adjacências da cidade de Alvarães, utilizou-se a banda 10 do Landsat 8 TIRS com data de passagem do dia 26 de agosto, este sensor opera no infravermelho termal na resolução espectral de 10.6 μm – 11,9 μm e resolução espacial de 100 metros, porém processadas e tradadas para o tamanho de pixel de 30 metros pela USGS (2018).

O tratamento desta banda seguiu a metodologia de Amorim (2018), consistindo no processamento da banda com os metadados disponíveis da imagem, aplicando a equação abaixo para redimensionar os níveis digitais (ND) para radiância do topo da atmosfera (TOA).

$$L\lambda = MI * Q_{cal} + AI$$

Onde: $L\lambda$ = Radiação espectral de TOA (Watts / (M²* srad * μm), MI = Fator de redimensionamento multiplicativo específico da banda dos metadados, Q_{cal} = Valores de pixel do produto padrão (DN) quantizados e calibrados, ou seja, a banda que será processada, AI = Fator de redimensionamento aditivo específico da faixa dos metadados.

O passo seguinte foi obter as constantes térmicas necessárias para converter os dados TOA em temperatura de brilho em graus Celsius (BT - *Brightness Temperature*) através da equação abaixo:

$$T = \frac{K^2}{\ln\left(\frac{K^1}{L\lambda + 1}\right)} - 273.15$$

Onde: T = Temperatura da superfície em graus Célsius, K^2 = Constante de conversão térmica específica da banda dos metadados, K^1 = Constante de conversão térmica específica da banda dos metadados, \ln = Função Logaritmo, $L\lambda$ = Radiação espectral de TOA, - 273.15 = constante para conversão de graus Kelvin em graus *Celsius*.

O índice de umidade (NDWI - *Normalized Difference Water Index* ou NDMI – *Normalized Difference Moisture Index*) é resultante da combinação das bandas espectrais do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR) do satélite Sentinel 2, sendo o SWIR mais sensível a quantidade de água presente na vegetação e a umidade do solo (MEYER, 2019).

$$NDWI = \frac{B8a - B11}{B8a + B11}$$

Onde: **B8a** = Vegetation Red Edge; **B11** = SWIR (1.610 μm)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapeamento da temperatura da superfície e da vegetação via NDVI, assumem grande importância nos estudos de clima urbano, conforto térmico e qualidade ambiental (DORIGON e AMORIM, 2014).

A carta imagem da temperatura de superfície apresenta a temperatura dos alvos para o dia 26 de agosto de 2019, através deste produto (Figura 3), é possível compreender a distribuição espacial das temperaturas intraurbanas subsequentes da distribuição das fontes de calor que contribuem para a geração das ilhas de calor (AMORIM, 2014).

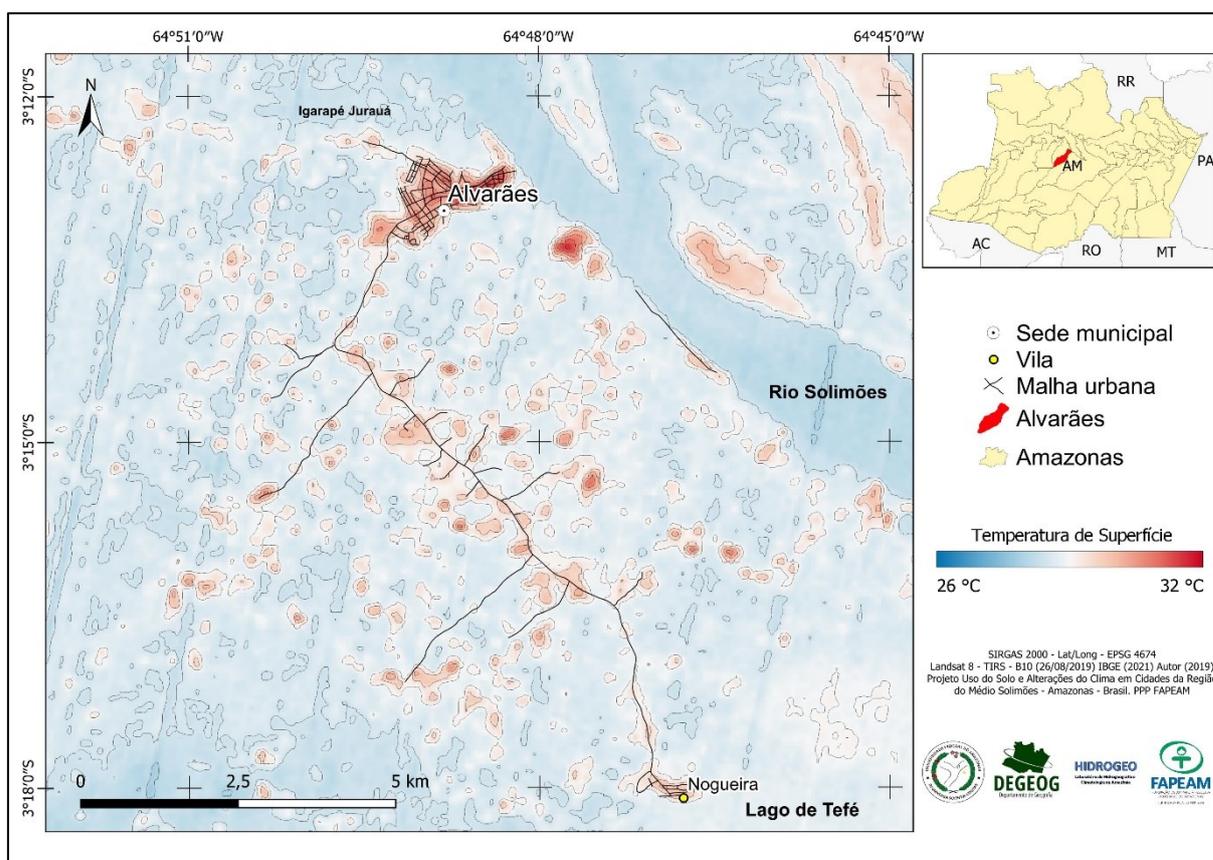


Figura 3: Temperatura de superfície no dia 14/08/2019 nos horários de 14h e 20h.
Elaboração: Autores (2022)

É possível observar as diferenças entre as temperaturas da área rural e urbana, assim como do interior da cidade de Alvarães, observa-se que as menores temperaturas de superfície, cerca de 26 °C a 27 °C, foram registradas na superfície do rio Solimões, devido ao albedo das águas brancas, isto é, a água não é aquecida devido suas propriedades físicas.

O perfil longitudinal da temperatura de superfície (Figura 4) indica as porções mais aquecidas da cidade de Alvarães, além de apontar a presença da ilha de calor de superfície. O perfil traçado possui 3,96 km de extensão, partindo do ponto A,

localizado no rio Solimões até o ponto B, localizado na área rural do município de Alvarães. Observa-se que a maior temperatura de superfície registrada é a ilha de calor (Ponto C), registrando 31,5°C.

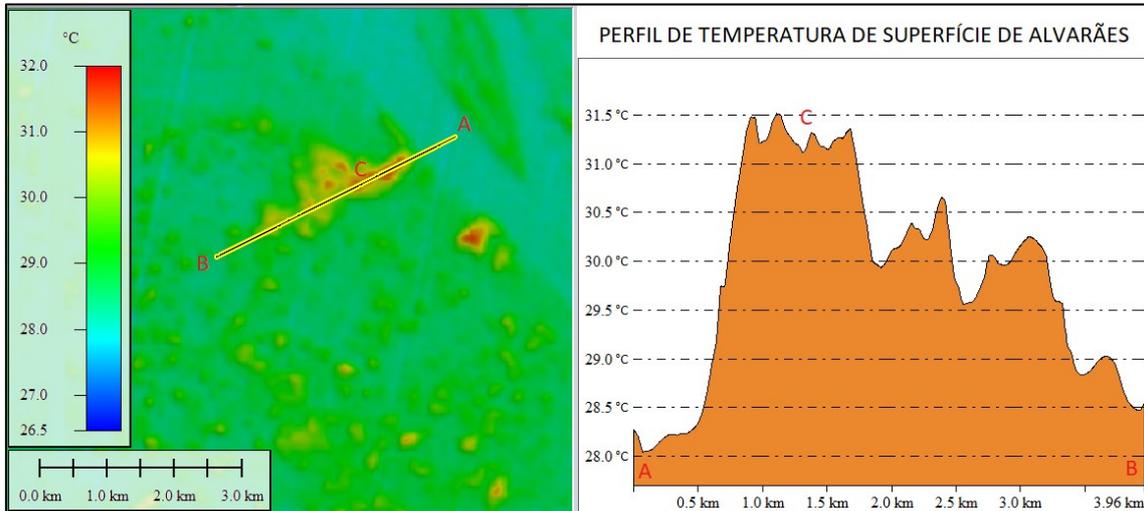


Figura 4: Perfil longitudinal da temperatura de superfície gerado no Global Mapper.
Fonte: Gerado a partir do software Global Mapper utilizando a banda 10 do Landsat 8 TIRS.
Elaboração: Autores (2022)

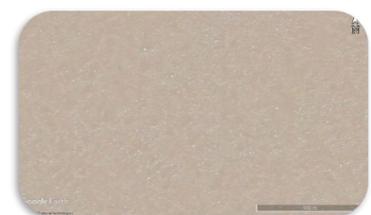
As maiores temperaturas dos alvos observadas estão relacionadas às áreas descobertas de vegetação, uma variação entre 30 °C a 32 °C, principalmente à área urbana do município, onde a densidade de construção, tipo de material construtivo e arborização da cidade influencia diretamente nos valores registrados. Além da área urbana, nota-se que às áreas destinadas à agropecuária ou áreas de queimadas também apresentam elevação na temperatura superficial (Figura 5)



Área Urbana: 31°C



Agropecuária: 30°C



Água Branca: 26°C



Queimada: 29°C



Vegetação: 28°C



Água Preta: 28°C

Figura 5: Classes de uso e cobertura da terra associados a temperatura de superfície registrada. **Elaboração:** Autores (2022).

Associa-se as temperaturas registradas com determinado uso e ocupação da terra em Alvarães (Figura 6), a exemplo das áreas que apresentam alta densidade de construção e solo exposto, que correspondem as maiores temperaturas de superfície registradas.

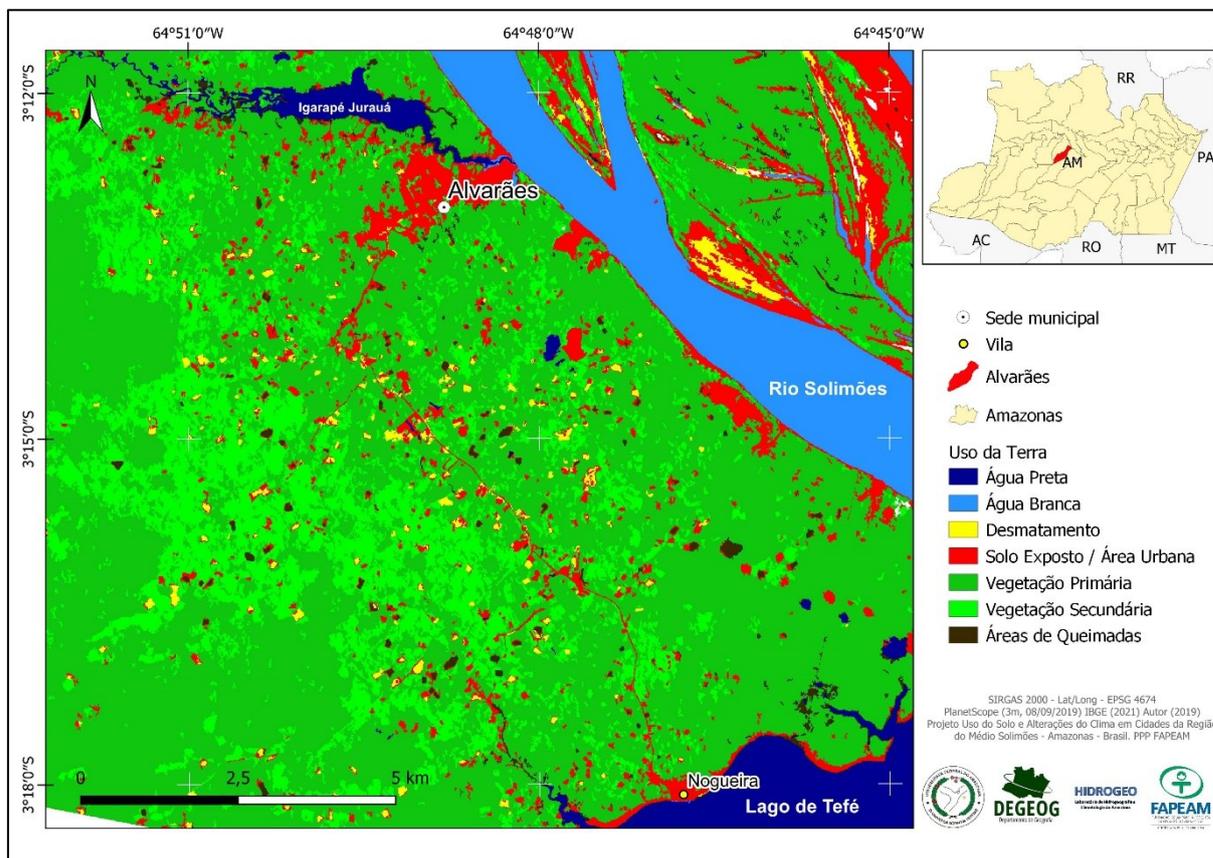


Figura 6: Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal no dia 08 de outubro de 2019.
Elaboração: Autores (2022).

O quadro 2 abaixo apresenta a matriz de erros da classificação supervisionada que obteve um índice *Kappa* de 0,92 e Exatidão Global de 0,93. No processo de treinamento excluiu-se as amostras que apresentavam confusão na classificação, gerando uma acurácia melhor.

Quadro 2. Matriz de erros da classificação do uso da terra.

Classes	A	B	C	D	E	F	G	NTI	Classes	Kappa Condicional
A	48	0	0	0	0	0	2	50	A	0,9532
B	0	49	0	1	0	0	0	50	B	0,9767
C	0	0	39	11	0	0	0	50	C	0,7467
D	0	0	3	47	0	0	0	50	D	0,9278
E	0	0	0	0	50	0	0	50	E	1,0000
F	0	0	4	0	0	46	0	50	F	0,9079
G	3	0	0	0	0	0	47	50	G	0,9302
NTI	51	49	46	59	50	46	49	350		

A) Água Preta. B) Água Branca. C) Desmatamento. D) Solo Exposto / Área Urbana. E) Vegetação Primária. F) Vegetação Secundária. G) Áreas de Queimadas. NTI: Número Total de Amostras.

Elaboração: Autores (2022).

A classificação da imagem Planet permitiu um maior nível de detalhamento das classes de uso da terra e cobertura vegetal, sua principal vantagem em relação a projetos de mapeamentos como o MapBiomas (2022) é sua alta resolução espacial e disponibilização de imagens diárias.

Verificou-se que 60% da área de estudo está compreendida na classe de vegetação natural, sendo a classe preponderante. As áreas de regeneração ou vegetação primária ocupam 15% da área total de estudo, enquanto a água branca e preta, correspondem à 4% e 10% respectivamente. Às áreas expostas/área urbana são observadas em 9% da área, principalmente na sede municipal de Alvarães, e a as áreas agropecuárias possuem representação de 1% do valor total (Figura 7).

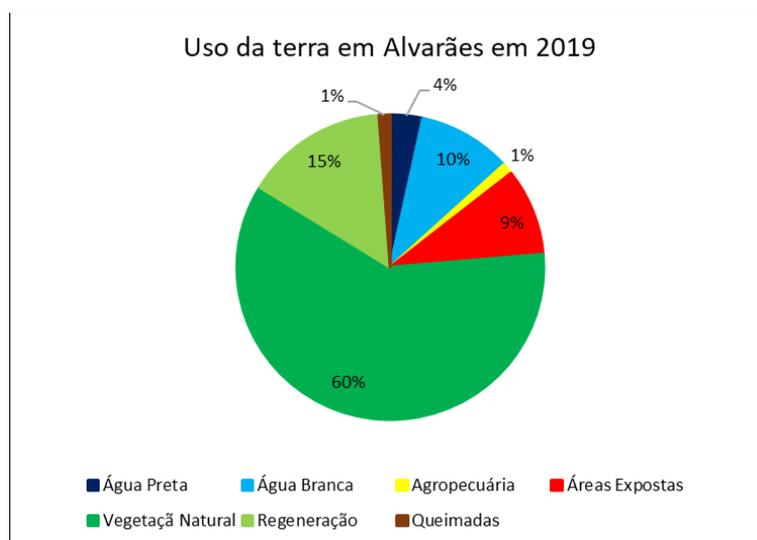


Figura 7: Quantificação das classes de uso da terra e cobertura vegetal. **Elaboração:** Autores (2022).

Aleixo e Silva Neto (2019b) apontam que a ocupação do solo pela pavimentação asfáltica, coberturas de fibrocimento e alumínio aumentam o albedo e aumentam a capacidade de absorção da radiação ultravioleta, logo, o aquecimento deste

determinado tipo de ocupação é mais elevado, caracterizando-se como uma ilha de calor superficial.

A figura 8 exemplifica esta problemática, ressalta-se que estas coberturas são inadequadas para a região Amazônica, devido ao material elevar a temperatura interior da moradia, gerando desconforto térmico que podem desenvolver problemas de saúde a nível cardiovascular, respiratório e psicológicos.



Figura 8: Casa com cobertura de alumínio, material inapropriado para o clima da área de estudo. **Foto:** Registrada em 18 de setembro de 2019 pelo autor.

A atividade extrativista de Alvarães é composta somente pela extração de madeira para produção de carvão vegetal, a castanha e o açaí. Enquanto a agricultura de lavoura temporária é caracterizada pela mandioca para produção da farinha, melancia, abacaxi, milho e cana-de-açúcar. Na lavoura permanente é produzido laranja, banana, limão e maracujá (COSTA, 2014).

O padrão de uso da terra observado em trabalho de campo, realizado durante a pesquisa, e o mapa de uso da terra e cobertura vegetal, possibilitou identificar áreas de queimadas (Figura 9), oriundas de focos de queimadas para limpeza e preparo do solo antes do plantio da lavoura temporária e permanentes.

Os efeitos da poluição atmosférica provinda das queimadas tem efeito negativo à saúde, principalmente relacionado ao aumento constante de doenças respiratórias e cardiovasculares, e de mortalidade geral, principalmente nos grupos mais suscetíveis, descritos pelas crianças menores de 5 anos e indivíduos com idade superior a 65 anos de idade (IGNOTTI, 2007).



Figura 9: Fumaça provenientes de queimadas ao entardecer em Alvarães. **Foto:** Registrada em 19 de setembro de 2019 pelo autor.

A queimada elimina nutrientes essenciais do solo, tais como nitrogênio, potássio e o fósforo, prejudicando a flora e fauna. Segundo Fearnside (2005), a prática reduz a umidade do solo e acarreta a sua compactação, o que resulta na baixa produtividade agrícola, no desencadeamento do processo erosivo e mudanças no regime hidrológico.

O índice de umidade (Figura 10) é recomendado para visualizar o solo que está com umidade insuficiente e o estresse hídrico nas plantas. Em geral, a vegetação mais úmida tem valores mais altos de umidade. Enquanto, valores mais baixos do índice de umidade sugerem que as plantas estão sob estresse (BEZERRA, 2019). Os menores valores podem ser associados com as cicatrizes de queimadas na área de estudo.

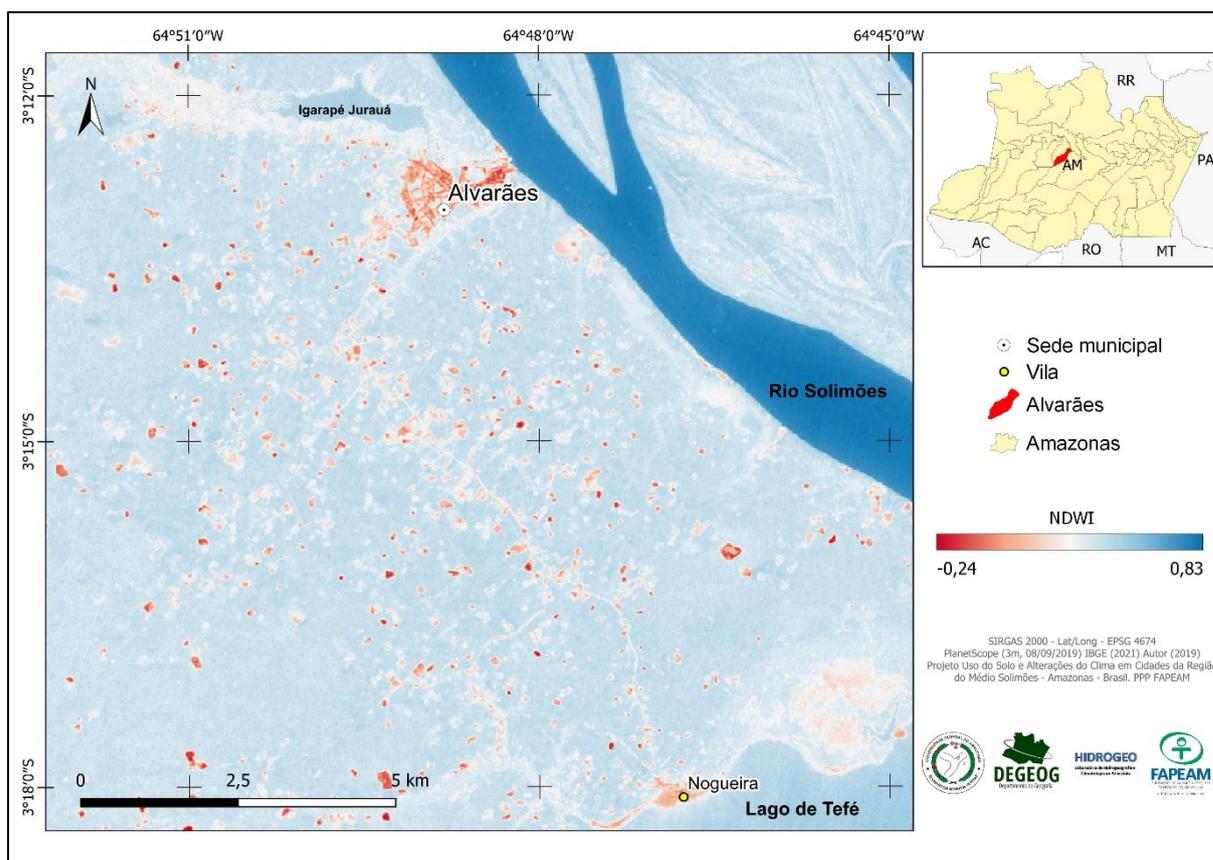


Figura 10: Mapa de umidade indicando às áreas que estão com insuficiente de umidade.

Elaboração: Autores (2022).

O índice de vegetação apresenta variações entre -1 e 1, os valores negativos correspondem à ausência de vegetação, áreas construídas e solo exposto, enquanto os valores mais próximos de 1, possuem características de vegetação sadia.

Observa-se um padrão similar do NDVI com a carta imagem da temperatura de superfície (Figura 11). A área urbana de Alvarães está associada aos valores negativos do NDVI, visto que não há vegetação do porte arbórea e concentração de materiais construtivos, além da massa d'água dos rios Solimões e Jarauá.

Sendo assim, verifica-se que a temperatura de superfície de Alvarães é o resultado da cobertura vegetal da cidade, visto que os locais com as maiores temperaturas de superfície estão relacionados aos menores valores de NDVI, e as menores temperaturas estão relacionadas as maiores do NDVI.

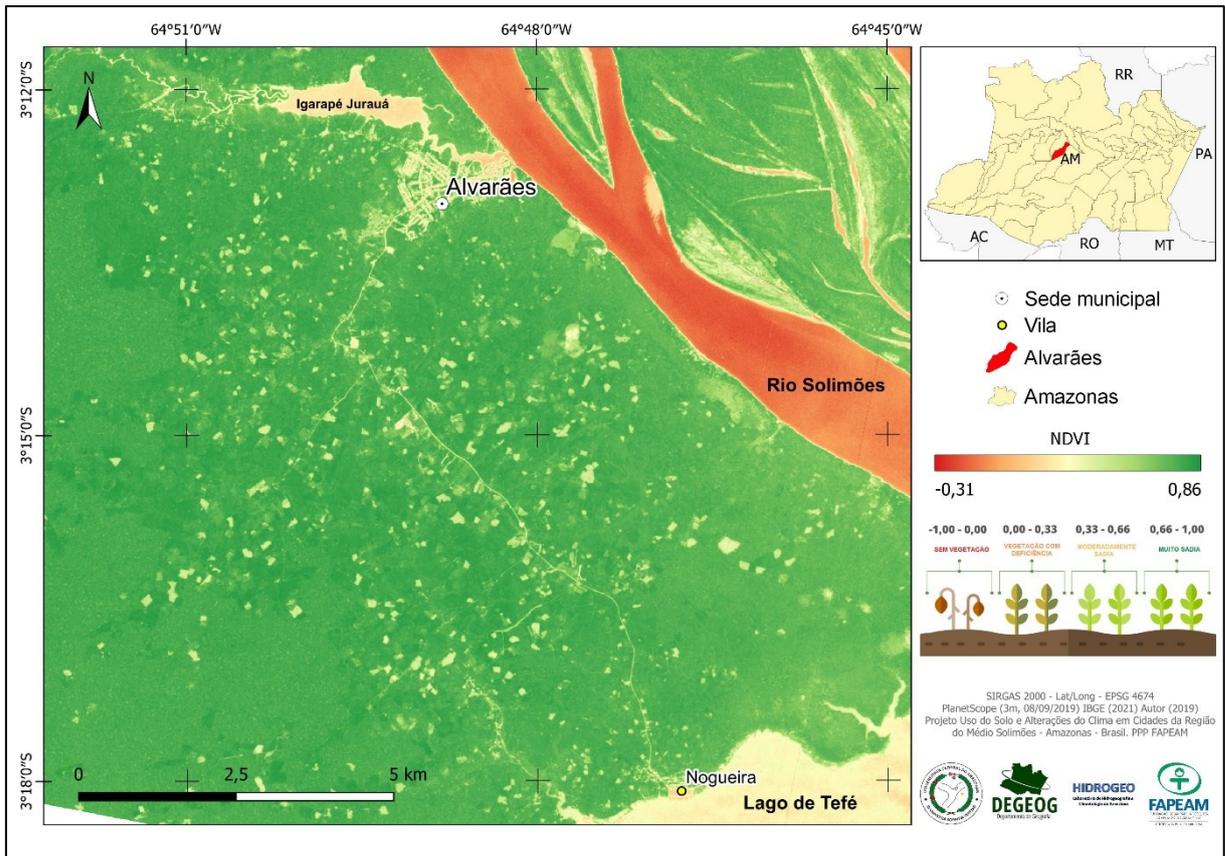


Figura 11: Índice de vegetação NDVI. **Elaboração:** Autores (2022).

Segundo Aleixo e Silva Neto (2019b), a vegetação do porte arbóreo possui papel importante para amenizar a temperatura, devido a interceptação dos raios solares, o papel da evapotranspiração, a maior presença de sombreamento e correntes de vento, diminuindo os poluentes da atmosfera e amenizando as ilhas de calor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de urbanização que resulta na transformação da superfície, através da substituição dos materiais e na realização de diversas atividades provocam mudanças nos balanços de energia, massa e movimento. A produção do clima urbano é evidenciada através das anomalias de seus elementos, principalmente do crescimento urbano acelerado associado a falta de planejamento.

A metamorfose da paisagem para satisfazer as necessidades humanas é um processo inevitável, contudo, a expansão urbana sem o planejamento adequado às características do ambiente em que a cidade de Alvarães está inserida tem refletido negativamente na qualidade ambiental urbana.

A utilização do sensoriamento remoto através da temperatura de superfície, dos índices de vegetação e umidade, e do uso da terra e cobertura vegetal revelou a existência de um clima urbano característico na cidade de Alvarães, com temperaturas de superfície mais elevadas do que o seu entorno, assim como a baixa umidade na

sede municipal. Apontando a presença de ilha de calor no centro urbano, com elevadas temperaturas de superfície devido aos materiais construtivos inapropriados para o clima equatorial.

Os produtos gerados através do sensoriamento remoto foram de grande importância para demonstrar a necessidade da arborização urbana, visto que a alta densidade de vegetação atua como um dos principais elementos que regulam e amenizam a temperatura na cidade.

Sendo assim, verificou-se que o município de Alvarães carece de planejamento urbano adequado as características socioambientais, sendo necessário incluir estudos sobre clima aplicado ao ordenamento do território e planejamento urbano, proporcionando uma melhoria na qualidade de vida dos moradores da cidade de Alvarães.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo financiamento do Projeto de Pesquisa: Uso do Solo e Alterações Climáticas em cidades da região do Médio Solimões-Amazonas-Brasil no edital PPP/FAPEAM, 2018. À Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação (PROPEP), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Ao Laboratório de Hidrogeografia, Climatologia e Análise Ambiental da Amazônia (HIDROGEO) pelo apoio técnico. E à comissão organizadora do IV Simpósio Internacional de Meteorologia e Climatologia da Amazônia.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Concepção: Bruno Sarkis Vidal e João Cândido André da Silva Neto. **Metodologia:** Bruno Sarkis Vidal. **Análise formal:** João Cândido André da Silva Neto **Pesquisa:** Bruno Sarkis Vidal. **Recursos:** João Cândido André da Silva Neto. **Preparação de dados:** Bruno Sarkis Vidal. **Escrita do artigo:** Bruno Sarkis Vidal. **Revisão:** Bruno Sarkis Vidal e João Cândido André da Silva Neto. **Supervisão:** Bruno Sarkis Vidal e João Cândido André da Silva Neto. **Aquisição de financiamento:** João Cândido André da Silva Neto

REFERÊNCIAS

ALEIXO, N. C. R; SILVA NETO, J. C. A. Caracterização da precipitação pluviométrica do médio Solimões-AM. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v.13, n.31, janeiro / abril de 2019a. Pp. 104-120. DOI: <https://doi.org/10.5654/acta.v13i31.4952>

ALEIXO, N. C. R; SILVA NETO, J. C. A. O campo térmico em área urbana na Amazônia Brasileira: análise episódica na cidade de Tefé-AM. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 34, e, 40949, 2019b. DOI: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2019.40949>

AMORIM, M. C. C. T. As temperaturas da superfície e do ar: contribuições aos estudos de clima urbano. In: X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica; V

Simpósio Paranaense de Climatologia, Reunião da CoC-UGI, 2014, Curitiba. **Anais do X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**. Curitiba: UFPR, 2014. v. 1. p. 1122-1130.

AMORIM, M. C. C. T. Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**. v. 9, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.11.001>

BEZERRA, U. A. **Índices espectrais utilizando os sensores OLI/Landsat-8 e MSI/Sentinel-2, na bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, 2019.

CALDERON, G.; AMORIM, M. C. C. T. Análise do campo térmico e higrométrico na cidade de Tapejara-PP: considerações para o período de inverno. **Boletim de geografia**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 122-134, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i3.32076>

COSTA, E. A. C. **Alimentação e rede urbana na Amazônia brasileira: um estudo das transformações e permanências nos hábitos alimentares de idosos nas cidades de Tefé, Alvarães e Uarini, Amazonas**. 2014. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014

DORIGON, L. P. **Clima urbano em Paranavaí/PR: análise do espaço intraurbano**. Dissertação (Mestrado em Geografia). 2015. - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente, 2015. 126 f.

DORIGON, L. P; AMORIM, M. C. C. T. **Clima urbano através de sensoriamento remoto: evolução histórica da termografia da superfície de Paranavaí/PR – Brasil**. In: Archimedes Perez Filho; Raul Reis Amorim. (Org.). Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. 1ed. Campinas: Universidade Estadual de Campinas - Instituto de Geociências, 2017, v., p. 1777-1789. DOI: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2382>

DORIGON, L. P; AMORIM, M. C. C. T. Técnicas de sensoriamento remoto (Temperatura da Superfície e NDVI) aplicadas aos estudos de clima urbano, o exemplo de Paranavaí/PR. In: VII Congresso Brasileiro de Geógrafos, 2014, Vitória. **Anais VII Congresso Brasileiro de Geógrafos**, 2014.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences. **Conservation Biology**, v. 19, p. 680-688. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo, Oficina de Textos. 2002

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal**. 2021. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>>. Acesso em: 29 de novembro de 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Alvarães, **Cidades**. Disponível: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/alvaraes/panorama> > Acesso em: 29 de janeiro de 2022.

IGNOTTI, E; HACON, S. S; SILVA, A. M. C. S; JUNGER, W. L; CASTRO, H. Efeitos das queimadas na Amazônia: método de seleção dos municípios segundo indicadores de saúde. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 10, p. 453-464, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2007000400003>

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**, 2022. Disponível em: < <https://bdmep.inmet.gov.br> > Acesso em: 12 de dezembro de 2022.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Introdução ao SPRING: Apostila teórica: tutorial**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2 ed. São José dos Campos: Parenteses, 2011.

LIMA, V; AMORIM, M. C. C. T. A utilização de informações de temperatura da superfície, do NDVI e de temperatura do ar na análise de qualidade ambiental urbana. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1028

LOPES, E. S. SPRING Básico: **Tutorial 10 Aulas - SPRING 5.2 (Versão Windows)**. Revisão: Hilcéa Santos Ferreira. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais - INPE, maio de 2012.

MEYER, L. H; MARCO, H; BEUDERT, B; PREMIER, J; PFLUGMACHER, D. Supplementary Materials: Comparison Between Landsat-8 and Sentinel-2 Data for Estimation of Leaf Area Index in Temperate Forests. **Remote Sens**. V. 11, p.1160, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11101160>

MIRANDA, J. I. Embrapa Informação Tecnológica. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Brasília: EMBRAPA, Informação Tecnológica, 2005

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. IGEOG, USP, Série Teses e Monografias nº 25, São Paulo, 1976.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Editora UFV, 4ª edição, 2012.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PITTON, S. E. C. **As cidades como indicadores de alterações térmicas**. São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (USP), 1997.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System** (versão 3.26). 2022. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: 25 ago. 2022.

RAMOS, R. R. D., LOPES, H. L., MELO JÚNIOR, J. C. F., CANDEIAS, A. L. B., SIQUEIRA FILHO J. A. **Aplicação do Índice da Vegetação por Diferença**

Normalizada (NDVI) na avaliação de áreas degradadas e potenciais para unidades de conservação. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2010. p. 01-06.

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**, Edição Especial. Cidades na Amazônia Brasileira, 2011, p.15-30. DOI: <https://doi.org/10.5654/acta.v5i11.539>

TEJAS, G. T; NUNES, D. D; SOUZA, R. M. S; CORRÊA, A. C. S.; WATANABE, M. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio do sensoriamento remoto na cidade de Porto Velho/RO (1985-2011). **Confins** [En ligne], 32 | 2017, mis en ligne le 15 septembre 2017. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.12191>

VIANA, V. M. Bolsa Floresta: um instrumento inovador para a promoção da saúde em comunidades tradicionais na Amazônia. **Revista de estudos avançados**, vol.22, n.64, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000300009>

USGS - United States Geological Survey. **Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor) 15- to 30- meter multispectral data from Landsat 8.** Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, 2018. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-oli-operational-land-imager-and>>. Acesso em: 29 de novembro de 2022.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0