



**PBPC**  
ISSN 2674-9432



**Qualis A3**  
CAPES 2021-2024



DOI - Crossref

Latindex

Indexado no  
Google Acadêmico

# **ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANAS EM UMA CIDADE DA AMAZÔNIA**

*Renata Sampaio Marques de Souza, Hyarle Costa Lopes, Nuria Pérez Gallardo, Mauricio Sanches*



<https://doi.org/10.36557/2674-9432.2026v5n4p284-300>

Artigo recebido em 4 de Abril e publicado em 4 de Junho de 2026

## **ARTIGO ORIGINAL**

### **RESUMO**

A intensificação da expansão urbana nas últimas décadas tem promovido transformações significativas nas condições ambientais e climáticas das cidades, sobretudo em decorrência da substituição de áreas naturais por superfícies impermeáveis e edificadas. Esse processo altera o balanço energético da superfície, modifica os fluxos de calor e umidade e favorece o aquecimento do ambiente urbano, contribuindo para a formação de Ilhas de Calor Urbanas. Nesse contexto, os estudos sobre clima urbano tornam-se cada vez mais estratégicos, especialmente devido aos seus impactos sobre o conforto térmico, a qualidade de vida e a saúde da população. O presente estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial da cobertura vegetal no município de Marabá, estado do Pará, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), identificando áreas potencialmente mais suscetíveis à formação de Ilhas de Calor Urbanas. O NDVI é obtido a partir da razão normalizada entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, explorando o comportamento espectral característico da vegetação, que absorve intensamente a radiação na faixa do vermelho e reflete no infravermelho próximo. Para o cálculo do índice, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8 referentes ao ano de 2022, processadas no software QGIS com base nas bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo). Os resultados permitiram identificar a distribuição espacial da cobertura vegetal no perímetro urbano de Marabá, evidenciando áreas com baixos valores de NDVI e, conseqüentemente, potencialmente mais suscetíveis à formação de Ilhas de Calor Urbanas. Além disso, o estudo fornece subsídios técnicos para a proposição de estratégias voltadas à ampliação da cobertura vegetal e ao planejamento urbano sustentável, contribuindo para a melhoria das condições ambientais e da qualidade de vida da população.



# ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) PARA IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANA EM UMA CIDADE DA AMAZÔNIA

Hyarle Costa Lopes *et. al.*

**Palavras-chave:** NDVI; Ilhas de Calor Urbanas; Sensoriamento Remoto; Planejamento Urbano; Amazônia; QGIS.

## ABSTRACT

The intensification of urban expansion over recent decades has led to significant transformations in the environmental and climatic conditions of cities, particularly due to the replacement of natural areas with impervious and built surfaces. This process alters the surface energy balance, modifies heat and moisture fluxes, and contributes to urban warming, favouring the formation of Urban Heat Islands (UHIs). In this context, studies on urban climate have become increasingly important due to their implications for thermal comfort, quality of life, and public health. This study aimed to analyse the spatial distribution of vegetation cover in the municipality of Marabá, Pará State, Brazil, using the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), identifying areas potentially more susceptible to the formation of Urban Heat Islands. NDVI is derived from the normalised ratio between the red and near-infrared bands, exploring the characteristic spectral behaviour of vegetation, which strongly absorbs radiation in the red region and reflects it in the near-infrared region. Landsat 8 satellite imagery acquired in 2022 was processed using QGIS software based on bands 4 (red) and 5 (near-infrared) to calculate the index. The results enabled the identification of the spatial distribution of vegetation cover within the urban area of Marabá, highlighting areas with lower NDVI values and, consequently, potentially more susceptible to the formation of Urban Heat Islands. Furthermore, the study provides technical support for strategies aimed at increasing vegetation cover and promoting sustainable urban planning, contributing to improved environmental conditions and quality of life.

**Keywords:** NDVI; Urban Heat Islands; Remote Sensing; Urban Planning; Amazon; QGIS.

**Instituição afiliada** – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, UNIFESSPA

**Autor correspondente:** Hyarle Costa Lopes

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



## **1 INTRODUÇÃO**

O avanço da urbanização, associado ao crescimento das atividades econômicas e ao desenvolvimento tecnológico, tem provocado transformações significativas no espaço urbano, resultando em impactos ambientais relevantes, especialmente sobre o clima das cidades. A substituição de áreas naturais por superfícies impermeáveis e edificadas favorece o aumento das temperaturas locais, configurando o fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas (ICU), caracterizado por valores térmicos mais elevados em áreas urbanizadas quando comparadas às suas adjacentes (Oke, 1987; Gartland, 2010). Esse processo afeta diretamente o microclima urbano, com implicações no conforto térmico, na saúde da população e na qualidade de vida.

No Brasil, e de forma particular na região amazônica, o crescimento urbano desordenado incide diretamente nos níveis de supressão da cobertura vegetal. No município de Marabá (PA), esse processo intensificou-se nas últimas décadas em razão das crescentes demandas por produtos e commodities vegetais e minerais, sendo marcado principalmente pela substituição de áreas verdes por pavimentação, edificações e grandes empreendimentos. A redução da cobertura vegetal compromete a regulação térmica do ambiente urbano, uma vez que diminui o sombreamento e os processos de evapotranspiração, podendo contribuir para o aumento da intensidade das ICU (Lima Alves e Lopes, 2017).

As ICU resultam de modificações no ambiente natural, associadas principalmente à impermeabilização do solo, à verticalização e à redução da cobertura vegetal, fatores que alteram significativamente o balanço de energia na superfície urbana. Em termos físicos, esse processo envolve a diminuição do fluxo de calor latente e o aumento do fluxo de calor sensível, favorecendo o acúmulo de energia térmica nas áreas urbanizadas. Além disso, características como os materiais construtivos, a geometria urbana e a ausência de áreas verdes contribuem para intensificar esse fenômeno, sobretudo em cidades de clima tropical, onde a radiação solar incidente é elevada ao longo de todo o ano (Oke, 1987; Gartland, 2010).

O Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), por meio dos Planos Diretores, orienta e estabelece diretrizes voltadas ao planejamento urbano sustentável, garantindo o bem-estar coletivo e o equilíbrio ambiental, além de atribuir ao poder público municipal a responsabilidade pela ordenação do território e pela mitigação dos impactos ambientais decorrentes da urbanização, incluindo aqueles relacionados às alterações do clima urbano.

A relação entre a cobertura vegetal e o comportamento térmico da superfície tem sido comumente investigada por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, que permitem analisar padrões espaciais do microclima urbano em diferentes escalas (Jensen, 2009).

Nesse contexto, a utilização de índices espectrais derivados de dados de sensoriamento remoto tem se consolidado como uma abordagem eficiente para a análise das interações entre cobertura vegetal e clima urbano. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) destaca-se por sua capacidade de representar o vigor e a densidade da vegetação a partir do contraste entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Estudos indicam que áreas com maiores valores de NDVI tendem a apresentar menores temperaturas da superfície, evidenciando a importância da vegetação na

regulação térmica e na mitigação das Ilhas de Calor Urbanas (Jensen, 2009; Li et al., 2018).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial da cobertura vegetal no município de Marabá por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), identificando áreas potencialmente mais suscetíveis à formação de Ilhas de Calor Urbanas. A utilização do NDVI permite compreender a relação entre a cobertura vegetal e o ambiente urbano, fornecendo subsídios para o planejamento territorial e para a formulação de estratégias voltadas à melhoria da qualidade ambiental da cidade.

## **2 METODOLOGIA**

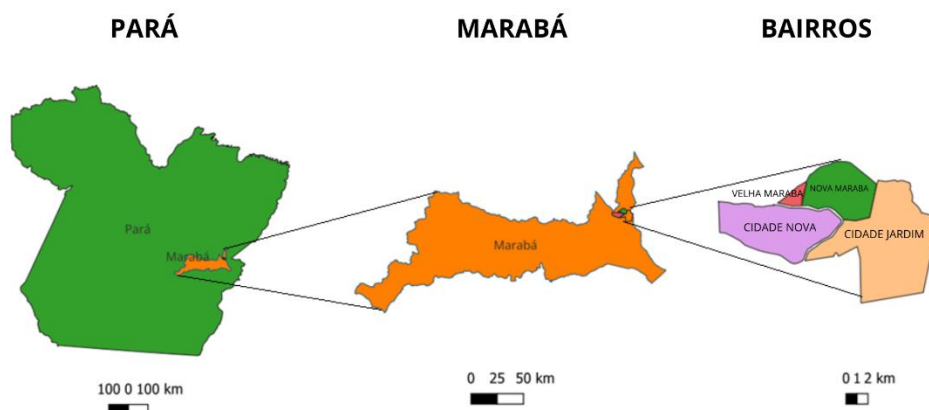
O percurso metodológico desta pesquisa baseia-se na utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para a análise da cobertura vegetal no perímetro urbano de Marabá (PA). Para isso, foram empregadas imagens orbitais da série Landsat, processadas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o objetivo de gerar produtos cartográficos capazes de representar a distribuição espacial da vegetação.

A partir desses dados, foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, amplamente utilizado na literatura como indicador da densidade e do vigor da cobertura vegetal. A análise dos valores obtidos permitiu identificar padrões espaciais associados ao uso e à ocupação do solo, bem como avaliar a distribuição da cobertura vegetal no ambiente urbano e sua possível influência sobre as condições microclimáticas locais.

A área de estudo compreende o perímetro urbano do município de Marabá, localizado na região sudeste do estado do Pará e inserido na Amazônia Legal (IBGE, 2022). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o município enquadra-se no tipo Am (tropical monçônico), caracterizado por temperaturas elevadas ao longo de todo o ano e regime pluviométrico marcadamente sazonal (Alvares et al., 2013). Marabá configura-se como um importante polo urbano, econômico e logístico da região sudeste do Pará, exercendo influência sobre os municípios do entorno. Nas últimas décadas, o município tem apresentado intenso processo de expansão urbana, evidenciado pela ampliação da malha urbana, pelo crescimento populacional e pela ocupação de novas áreas (IBGE, 2010; Marabá, 2018).

A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo em diferentes escalas espaciais. Inicialmente, é apresentada a localização do município de Marabá no estado do Pará, destacando sua inserção na região sudeste paraense. Em seguida, são identificados os bairros selecionados para análise: Marabá Pioneira (Velha Marabá), Nova Marabá, Cidade Nova e Cidade Jardim.

Figura 01 – Representação cartografica do territorio do Pará, municipio e bairros.

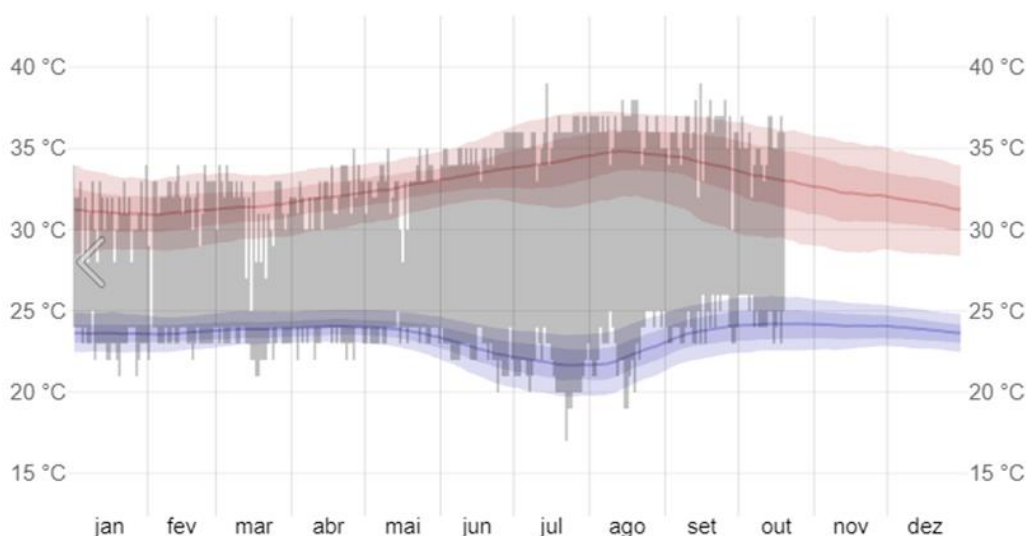


Fonte: Autores (2023)

Com base na série histórica climática, observa-se baixa amplitude térmica anual, com temperaturas geralmente variando entre 22 °C e 35 °C, e registros menos frequentes abaixo de 20 °C ou acima de 37 °C. O regime pluviométrico é fortemente sazonal, com estação chuvosa concentrada entre dezembro e maio e período relativamente seco entre junho e novembro, padrão característico do clima tropical monçônico. Essas condições resultam em elevados níveis de umidade relativa do ar, influenciando diretamente a dinâmica ambiental e as condições de conforto térmico no espaço urbano.

De modo geral, as temperaturas permanecem elevadas ao longo de todo o ano, com variações relativamente pequenas entre os períodos sazonais. Na região amazônica, é comum a distinção entre um período mais chuvoso e outro menos chuvoso, em substituição à definição clássica das estações do ano. Esse comportamento climático caracteriza as condições ambientais predominantes no município, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2- Histórico de temperatura no ano de 2022 em Marabá/PA



Fonte: Autores (2023)

O gráfico apresenta o histórico das temperaturas registradas no ano de 2022 em Marabá. O intervalo diário de temperaturas está representado pelas barras em cinza, enquanto os valores máximos e mínimos são indicados, respectivamente, pelos traços em vermelho e azul. Observa-se uma baixa variação térmica ao longo do ano, característica do clima local. Considerando essas condições climáticas e sua influência sobre o ambiente urbano, torna-se relevante analisar a distribuição espacial da cobertura vegetal em diferentes áreas da cidade e sua possível relação com a suscetibilidade à formação de ICU.

Marabá é composta por cinco núcleos urbanos interligados por importantes rodovias, como a BR-222, BR-230 e PA-150 (Lei nº 17.846/2018). Para fins de análise, este estudo concentrou-se em áreas consideradas centrais e de expansão urbana: Núcleo Nova Marabá, Núcleo Cidade Nova, Núcleo Marabá Pioneira e a Zona de Expansão Urbana (Cidade Jardim). Esses recortes espaciais representam diferentes fases e padrões de ocupação urbana no município. Destaca-se que o Núcleo Nova Marabá engloba o bairro Cidade Jardim; no entanto, este foi analisado separadamente por se configurar como a principal área de expansão urbana recente.

O Núcleo Marabá Pioneira corresponde à área de ocupação mais antiga do município, concentrando parte significativa do patrimônio histórico, além de apresentar equipamentos urbanos consolidados e elevada densidade construtiva. Sua configuração urbana é caracterizada por edificações mais compactas, vias estreitas e menor disponibilidade de áreas verdes, o que favorece a impermeabilização do solo.

O Núcleo Cidade Nova apresenta um processo de urbanização intermediário, marcado por expansão planejada, presença de vias mais largas e uso predominantemente residencial e comercial. Em comparação à Marabá Pioneira, possui melhor organização viária; contudo, observa-se redução progressiva da cobertura vegetal em função da intensificação da ocupação urbana, influenciando as condições microclimáticas locais.

O Núcleo Nova Marabá é caracterizado por uma ocupação mais recente e por um padrão urbano mais estruturado, com presença de conjuntos habitacionais, áreas institucionais e maior disponibilidade de espaços livres em relação aos núcleos mais antigos. Já a Zona de Expansão Urbana, representada pela Cidade Jardim, corresponde à área de crescimento mais recente do município, marcada pela implantação de loteamentos e novos empreendimentos residenciais, bem como pela rápida transformação da paisagem natural. Nessas áreas, o avanço da urbanização e a substituição da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis têm promovido mudanças significativas na dinâmica ambiental e térmica, evidenciando contrastes entre trechos urbanizados e áreas ainda vegetadas, o que as torna estratégicas para a análise dos impactos da expansão urbana sobre o microclima.

## **2.2 Procedimentos metodológicos**

O percurso metodológico foi estruturado em quatro etapas principais, organizadas de forma sequencial para assegurar a sistematização dos procedimentos adotados. Inicialmente, realizou-se a delimitação e caracterização da área de estudo, considerando sua relevância ambiental e urbana no contexto regional. Em seguida, procedeu-se à pesquisa bibliográfica, com o objetivo de fundamentar teoricamente a análise, por meio do levantamento e da revisão de estudos relacionados ao clima

urbano, sensoriamento remoto e aplicação de índices espectrais de vegetação.

Na terceira etapa, efetuou-se a obtenção e o tratamento dos dados orbitais. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, referentes ao ano de 2022, processadas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), por meio do software QGIS. O cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi realizado a partir das bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo), conforme estabelecido na literatura especializada.

Por fim, procedeu-se à geração de mapas temáticos e à análise espacial dos resultados, possibilitando a interpretação da distribuição da cobertura vegetal no perímetro urbano e a identificação de áreas com maior suscetibilidade à intensificação das Ilhas de Calor Urbanas.

### **2.3 Tratamento e análise dos dados**

A obtenção dos valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para o município de Marabá (PA) foi realizada a partir de dados orbitais da série Landsat, adotando-se critérios de consistência radiométrica, representatividade sazonal e compatibilidade espacial com o recorte urbano da área de estudo. A delimitação espacial baseou-se na base cartográfica oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), garantindo precisão na definição do perímetro analisado.

Foram selecionadas imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI (Operational Land Imager), obtidas por meio da plataforma USGS EarthExplorer, utilizando produtos da coleção Collection 2 – Level-2 Surface Reflectance, que já incorporam correção atmosférica. Essa escolha proporciona maior confiabilidade à análise espectral e favorece a comparabilidade entre as datas analisadas. Selecionaram-se duas cenas representativas de condições sazonais distintas, correspondentes a 15 de maio de 2022 e 13 de outubro de 2022, contemplando, respectivamente, o final do período chuvoso e o período menos chuvoso na região. As datas foram selecionadas por serem representativas das condições sazonais predominantes no município, permitindo avaliar possíveis variações da cobertura vegetal ao longo do ano.

Após o download, realizou-se a verificação da qualidade radiométrica das cenas por meio da análise das camadas de qualidade (QA), com posterior mascaramento de nuvens, sombras e pixels inválidos. Esse procedimento é fundamental em regiões amazônicas, onde a elevada frequência de nuvens pode comprometer a qualidade dos índices espectrais.

As imagens foram processadas no software QGIS, sendo inicialmente reprojatadas para o sistema de referência UTM, datum SIRGAS 2000, hemisfério sul, garantindo a padronização espacial. Em seguida, realizou-se o recorte das cenas com base no perímetro urbano de Marabá, restringindo a análise às áreas intraurbanas. O cálculo do NDVI foi realizado a partir das bandas OLI 4 (vermelho: 0,64–0,67  $\mu\text{m}$ ) e OLI 5 (infravermelho próximo: 0,85–0,88  $\mu\text{m}$ ), ambas com resolução espacial de 30 metros. O índice foi obtido através da Equação 1, na qual IVP representa os valores do infravermelho próximo (banda 5); e V representa os valores do espectro do vermelho (banda 4).

$$NDVI = \frac{IVP-V}{IVP+V} \quad (\text{Equação 1})$$

A escolha dessas bandas baseia-se no comportamento espectral da vegetação, que



apresenta elevada absorção no vermelho e alta refletância no infravermelho próximo. O índice foi gerado por meio da Calculadora Raster do QGIS, resultando em um raster contínuo com valores entre -1 e +1, representando a intensidade da cobertura vegetal. Posteriormente, os valores de NDVI foram classificados em faixas temáticas representativas de diferentes níveis de densidade vegetativa, permitindo a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal intraurbana e a identificação de áreas com diferentes graus de cobertura vegetal.

Por fim, as imagens geradas para as duas datas foram comparadas sob perspectivas qualitativa e quantitativa, possibilitando a análise da variabilidade sazonal da cobertura vegetal e a identificação de áreas com baixa densidade vegetativa, potencialmente mais suscetíveis à formação de Ilhas de Calor Urbanas.

### **3 RESULTADOS**

Os resultados obtidos a partir do cálculo do NDVI permitiram analisar a distribuição espacial da cobertura vegetal no perímetro urbano de Marabá. Para fins de interpretação, os valores foram reclassificados em seis classes representativas de diferentes níveis de densidade vegetativa, conforme a classificação proposta por Rouse *et al.* (1974), apresentada no Quadro 1.

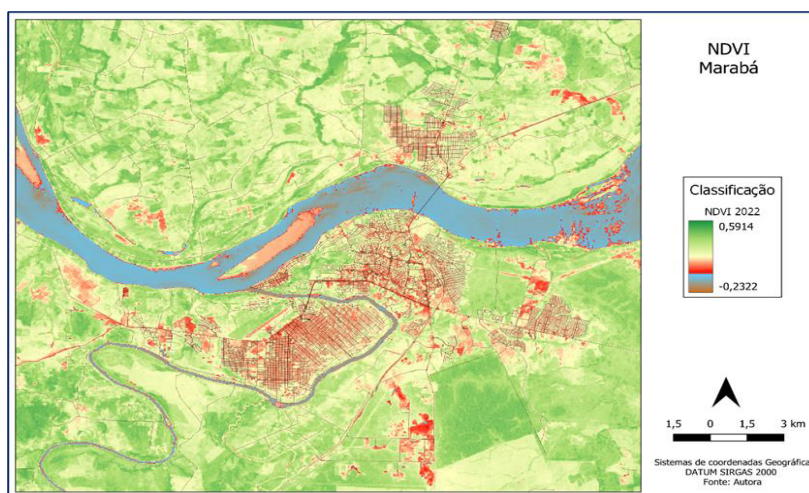
Quadro 01 – Distribuição dos valores do NDVI segundo classificação de Rouse et al. (1974)

NDVI	Classificação
< 0,00	Água
0 – 0,25	Solo exposto
0,25 – 0,34	Baixa
0,34 – 0,47	Moderada
0,47 – 0,59	Alto
1,00	Muito alto

Fonte: Autores (2023)

A classificação proposta por Rouse et al., (1974) propõe que os valores negativos e próximos de zero são compostos principalmente por água, rochas e solo descoberto, valores baixos e moderada correspondem a áreas de vegetação estressada, enquanto valores altos e muito alto indicam áreas de vegetação com maior vigor vegetativo. Nas partes centrais da cidade, onde compõe as maiores densidades populacionais, a imagem analisada demonstrou uma amplitude dos valores de NDVI predominantemente baixa, havendo maior predominância de vermelho e laranja, que representam o valor de NDVI muito próximo de zero, caracterizando uma vegetação seca, com pouca atividade vegetativa e áreas com solos expostos. A Figura 3 apresenta o mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para a zona urbana de Marabá (PA) no ano de 2022, evidenciando a distribuição espacial da cobertura vegetal na área de estudo.

Figura 03 – Mapa índice de vegetação na zona urbana de Marabá-PA



Fonte: Autores (2023)

A análise do mapa de NDVI evidencia um comportamento característico da vegetação amazônica, especialmente nas áreas periféricas ao perímetro urbano, onde

predominam valores próximos a 1, indicando elevada densidade e atividade vegetativa. Esse padrão pode ser explicado pela presença de espécies arbóreo-arbustivas com sistemas radiculares profundos, capazes de acessar camadas do solo com maior disponibilidade hídrica. Além disso, a localização da cidade entre os rios Itacaiúnas e Tocantins contribui para a manutenção dessas condições de umidade.

Observa-se também a presença de áreas com baixos valores de NDVI associadas aos corpos d'água, onde se identificam trechos de solo exposto. Esse comportamento está relacionado ao período analisado, correspondente à estação menos chuvosa, quando a redução do nível dos rios favorece a exposição de sedimentos e afloramentos rochosos, comuns na região. Destaca-se, nesse contexto, a faixa correspondente à Praia do Tucunaré, caracterizada pela ausência de cobertura vegetal e, conseqüentemente, por valores reduzidos do índice.

Em relação à área urbanizada, dados do IBGE indicam que Marabá possui aproximadamente 62,49 km<sup>2</sup> de área urbana (2019) e taxa de arborização em vias públicas de 10,8% (2010), o que reforça a predominância de superfícies impermeáveis em determinados setores da cidade. Para melhor compreensão das diferenças espaciais, foram elaborados recortes específicos das áreas analisadas, apresentados nas Figuras 4, 5 e 6 permitindo detalhar as características de cada núcleo urbano.

Figura 04 – Núcleos Marabá Pioneira e Nova Marabá



Fonte: Autores (2023)

O Núcleo Marabá Pioneira, delimitado na área demarcada da Figura 04, popularmente conhecido como Velha Marabá, é um bairro de expansão limitada, primariamente por não haver áreas propícias para expansão urbana e, pelos períodos de chuva que resultam em enchentes que encobrem algumas porções do núcleo. Com uma porção de área menor em comparação aos demais núcleos, pode-se enquadrar a área pouco passível de alterações, e com baixas possibilidades de verticalização de construções, dado ao histórico e ao padrão construtivo da cidade de Marabá que corresponde a residências com 1 a 2 pavimentos. Com base nisso, esse núcleo, apesar de apresentar necessidades de vegetações para melhorar o clima local, não seria uma prioridade urgente, se fosse estabelecer uma ordem de prioridades para mitigação do efeito da ilha de calor.

Em estudo realizado em São Carlos (SP), Rampazzo (2019, p. 150) identificou que áreas com temperaturas mais elevadas se configuram como “núcleos distribuídos

especialmente no conjunto da malha urbana”, associados ao padrão de adensamento e ao uso do solo, especialmente em setores comerciais e de serviços. Segundo o autor, a configuração da malha urbana pode favorecer maior incidência de radiação solar e interferir na circulação dos ventos, contribuindo para a elevação das temperaturas superficiais.

Em consonância com essa análise, o Núcleo Nova Marabá, representado na Figura 4, apresenta significativa concentração de atividades comerciais ao longo da Rodovia Transamazônica, incluindo hipermercados, shopping center, grandes depósitos e estabelecimentos do setor automotivo. Esses usos tendem a ocupar grandes áreas e, em geral, apresentam baixa presença de cobertura vegetal, o que contribui para a elevação da temperatura superficial. Observa-se ainda que as áreas próximas às rotatórias, principais eixos de circulação e adensamento urbano, apresentam valores relativamente baixos de NDVI, reforçando a relação entre uso do solo e redução da cobertura vegetal.

No Núcleo Nova Marabá, destacam-se as áreas próximas às rotatórias e ao longo da Rodovia Transamazônica, onde predominam baixos valores de NDVI, evidenciados por tonalidades mais próximas ao vermelho. Esse padrão indica menor densidade de cobertura vegetal, associada ao adensamento urbano e à predominância de superfícies impermeáveis.

Na zona de expansão urbana, representada pelo bairro Cidade Jardim (Figura 5), observa-se menor variação dos valores de NDVI nas áreas mais adensadas, ao passo que o entorno da malha urbana apresenta valores mais elevados, indicando significativa cobertura vegetal. Esse padrão reflete diferentes estágios de ocupação, nos quais áreas ainda pouco consolidadas mantêm maior presença de vegetação, favorecida pela menor intensidade de uso do solo e pela maior disponibilidade hídrica (Gameiro *et al.*, 2016). Por outro lado, os setores já parcelados para fins residenciais apresentam trechos com solo exposto e valores reduzidos do índice, evidenciando o avanço do processo de urbanização.

Figura 05– Zona de expansão, bairro Cidade Jardim



Fonte: Autores (2023)

A Figura 6, que representa o Núcleo Cidade Nova, evidencia uma área localizada no entorno de corpos hídricos, na qual predominam valores de NDVI entre baixos e moderados. Esse padrão indica uma cobertura vegetal reduzida em determinados

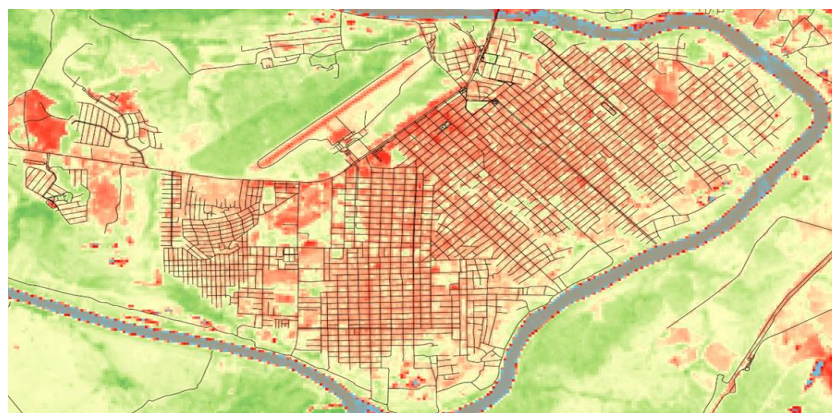


**ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) PARA IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANA EM UMA CIDADE DA AMAZÔNIA**

Hyarle Costa Lopes *et. al.*

trechos, especialmente nas áreas mais urbanizadas. Observa-se ainda a presença de solos expostos e vias em expansão, associadas ao avanço da ocupação urbana voltada à construção de residências, o que pode intensificar processos de impermeabilização do solo.

Figura 06– Núcleo Cidade Nova



Fonte: Autores (2023)

Observa-se que as Áreas de Preservação Permanente (APP) apresentam valores mais elevados de NDVI, refletindo a maior presença de cobertura vegetal. Em contrapartida, os setores mais urbanizados apresentam valores reduzidos do índice, associados à predominância de edificações, vias pavimentadas e outras superfícies impermeáveis. Esse comportamento está em consonância com estudos como o de Eduvirgem *et al.* (2018), que demonstram a relação entre maior densidade construtiva, uso de materiais urbanos e elevação da temperatura da superfície. No caso do Núcleo Cidade Nova, o elevado adensamento construtivo e populacional reforça a necessidade de planejamento urbano voltado à ampliação da cobertura vegetal como estratégia de mitigação dos efeitos associados às Ilhas de Calor Urbanas.

De modo geral, verificam-se áreas com baixos valores de NDVI em todos os núcleos analisados, especialmente nos setores mais adensados e próximos às principais vias de circulação. Essas áreas apresentam menor cobertura vegetal e, portanto, podem ser consideradas potencialmente mais suscetíveis à formação de Ilhas de Calor Urbanas. Destacam-se, na Marabá Pioneira, a Avenida Antônio Maia; no Núcleo Cidade Nova, áreas próximas à Rodovia Transamazônica; e, na Nova Marabá, as rotatórias e trechos ao longo dessa mesma rodovia. Já na zona de expansão urbana, representada pelo bairro Cidade Jardim, observa-se maior presença de vegetação no entorno da malha urbana, refletindo estágios iniciais de ocupação e menor consolidação urbana.

#### 4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos evidenciam a relação entre a distribuição espacial da cobertura vegetal e a suscetibilidade à formação de Ilhas de Calor Urbanas, indicando que áreas com menores valores de NDVI apresentam menor capacidade de regulação térmica do ambiente urbano. Esse comportamento está em consonância com a literatura, que aponta que a substituição de superfícies naturais por materiais impermeáveis altera o balanço energético urbano, favorecendo o aumento do fluxo de calor sensível (Oke, 1987; Gartland, 2010).

No contexto de Marabá, a predominância de baixos valores de NDVI nas áreas centrais

reflete o elevado grau de urbanização e a redução da cobertura vegetal, fatores diretamente associados à intensificação do aquecimento superficial. Esse padrão é semelhante ao observado em outras cidades amazônicas, onde a rápida expansão urbana tem contribuído para a degradação das condições microclimáticas (Souto; Cohen, 2021).

A presença de valores elevados de NDVI nas áreas periféricas indica maior densidade vegetativa, o que contribui para a regulação térmica por meio do aumento da evapotranspiração e do sombreamento. Estudos baseados em sensoriamento remoto demonstram que áreas com maior cobertura vegetal tendem a apresentar menores temperaturas superficiais, evidenciando a importância da vegetação na mitigação das ICU (Jensen, 2009; Li et al., 2018).

Além disso, a configuração urbana observada nos diferentes núcleos analisados reforça a influência do uso e da ocupação do solo sobre o microclima. Áreas com maior adensamento construtivo e intensa atividade econômica, como o Núcleo Nova Marabá, apresentaram menores valores de NDVI, indicando maior grau de impermeabilização. Esse comportamento está associado ao aumento da absorção de radiação solar e à redução da dissipação de calor, contribuindo para a elevação das temperaturas superficiais.

Outro fator relevante refere-se à influência de fontes antrópicas de calor, como o uso de sistemas de climatização, que podem intensificar o aquecimento urbano por meio da liberação de calor residual, retroalimentando o fenômeno das ilhas de calor (Tahooni et al., 2023). Esse processo tende a ser mais expressivo em cidades de clima quente, como Marabá, onde a demanda por resfriamento é elevada ao longo do ano. Dessa forma, os resultados reforçam a importância da incorporação de áreas verdes no planejamento urbano como estratégia de mitigação das Ilhas de Calor Urbanas, contribuindo para a melhoria das condições ambientais e do conforto térmico da população.

## **5 CONCLUSÃO**

A formação de Ilhas de Calor Urbanas constitui um importante desafio contemporâneo, uma vez que a redução da cobertura vegetal e a intensificação da urbanização podem comprometer as condições ambientais e o bem-estar da população. Nesse contexto, as técnicas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens, por meio da aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), demonstraram ser ferramentas eficazes para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal e para a identificação de áreas potencialmente mais suscetíveis à formação de Ilhas de Calor Urbanas, fornecendo subsídios ao planejamento ambiental urbano.

A presença de vegetação em áreas urbanas revela-se fundamental para a regulação térmica e a melhoria das condições de conforto ambiental, especialmente diante do agravamento das mudanças climáticas e da ocorrência cada vez mais frequente de eventos extremos, como as ondas de calor.

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se a adoção de estratégias voltadas à ampliação e conservação da cobertura vegetal urbana, incluindo a manutenção e expansão de áreas verdes em espaços públicos, o plantio e manejo adequado de espécies arbóreas, a preservação de corpos hídricos urbanos e fragmentos florestais, bem como a implementação de políticas públicas que incentivem a manutenção de



**ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) PARA IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANA EM UMA CIDADE DA AMAZÔNIA**

Hyarle Costa Lopes *et. al.*

áreas permeáveis em lotes privados.

Este estudo contribui para o apoio à tomada de decisão por parte dos gestores públicos ao fornecer informações sobre a distribuição espacial da cobertura vegetal no ambiente urbano e sua possível relação com a suscetibilidade à formação de Ilhas de Calor Urbanas. Destaca-se, ainda, a possibilidade de aplicação da metodologia em outras áreas do município e em regiões com características semelhantes, bem como sua utilização em diferentes campos do conhecimento, como planejamento territorial, engenharias, biologia e ecologia.



**ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) PARA IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANA EM UMA CIDADE DA AMAZÔNIA**

Hyarle Costa Lopes *et. al.*



## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 711–728, 2013.
- BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências (Estatuto da Cidade). **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 11 jul. 2001.
- EDUVIRGEM, R. V.; SILVA, C. A.; LIMA, E. R. V. Ilhas de calor urbano em cidades brasileiras: uma análise a partir de dados de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 451–462, 2018.
- GAMEIRO, S.; TEIXEIRA, C. P. B.; SILVA NETO, T. A.; LOPES, M. F. L.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; ZIMBACK, C. R. L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terræ**, v. 13, n. 1-2, p. 15–22, 2016.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parênteses, 2009.
- LIMA ALVES, E.; LOPES, A. C. L. Relação entre o índice de vegetação (NDVI) e a temperatura de superfície terrestre em áreas urbanas. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 21, p. 190–206, 2017.
- MARABÁ (PA). Lei nº 17.846, de 29 de março de 2018. Institui a revisão do Plano Diretor Participativo do Município de Marabá e dá outras providências. Marabá: Câmara Municipal de Marabá, 2018. Disponível em: <https://sapl.maraba.pa.leg.br/norma/7880>. Acesso em: Dezembro 2023
- OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2. ed. London: Routledge, 1987.
- RAMPAZZO, C. R. Clima urbano, risco climático e vulnerabilidade socioespacial mediados pela produção do espaço urbano em cidades paulistas (São Carlos, Marília, Presidente Prudente). 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2019.
- ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM**, 3., 1973, Washington. Proceedings... Washington: NASA, 1974. p. 309–317.
- SOUTO, J. I. de O.; COHEN, J. C. P. Variabilidade espaço-temporal da ilha de



**ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) PARA IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANA EM UMA CIDADE DA AMAZÔNIA**

Hyarle Costa Lopes *et. al.*

calor urbana: influência da urbanização no padrão sazonal da temperatura da superfície terrestre na Região Metropolitana de Belém, Brasil. **Urbe: Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 2021.

TAHOONI, A.; KAKROODI, A. A.; KIAVARZ, M. Monitoring of land surface albedo and its impact on land surface temperature (LST) using time series of remote sensing data. **Ecological Informatics**, v. 75, 2023.