

ANÁLISE DE ÍNDICES ESPECTRAIS E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE PARA ESTUDO DO IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NAS ILHAS DE CALOR EM CASTANHAL-PA

Pedro Henrique do Vale Guimarães¹, Leonardo de Oliveira Tamasauskas¹, Jean Arthur Costa Dias¹, Alan Breno Soares Corrêa¹, José Guilherme dos Santos Fernandes¹, Gabriel Brito Costa², Yomara Pinheiro Pires¹ e Marcos César da Rocha Seruffo¹

¹Universidade Federal do Pará (UFPA), pedro.guimaraes@castanhal.ufpa.br, tamasauska@gmail.com, jean.dias@itec.ufpa.br, alan.correa@itec.ufpa.br, guilherme.profufpa@gmail.com, yomara@ufpa.br, seruffo@ufpa.br; ²Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), gabriel.costa@ufopa.edu.br

RESUMO

Este estudo investiga a formação de ilhas de calor urbanas no município de Castanhal-PA por meio de índices espectrais e análise de temperatura da superfície terrestre (LST). Utilizando imagens de satélite Landsat 8 de 2023 e técnicas de sensoriamento remoto, foram calculados os índices EVI (*Enhanced Vegetation Index*) e UI (*Urban Index*) para correlacionar urbanização, cobertura vegetal e temperatura. A pesquisa encontrou uma correlação positiva entre urbanização e elevação de temperatura, e uma correlação negativa entre o índice de vegetação e a temperatura. O modelo de regressão linear desenvolvido mostrou um ajuste significativo para modelar a LST com base no UI, sugerindo que a conservação e expansão de áreas verdes são essenciais para mitigar os efeitos do aquecimento urbano. Assim, políticas públicas focadas em infraestrutura verde e uso sustentável do solo são recomendadas para o desenvolvimento urbano sustentável da região.

Palavras-chave – Google Earth Engine (GEE), Landsat-8, Geoprocessamento, Sustentabilidade Urbana, Amazônia Urbana.

ABSTRACT

This study investigates the formation of urban heat islands in the municipality of Castanhal-PA through spectral indices and land surface temperature (LST) analysis. Using 2023 Landsat 8 satellite images and remote sensing techniques, the EVI (Enhanced Vegetation Index) and UI (Urban Index) indices were calculated to correlate urbanization, vegetation cover, and temperature. The research found a positive correlation between urbanization and temperature rise, and a negative correlation between the vegetation index and temperature. The developed linear regression model showed a significant fit to model the LST based on the UI, suggesting that the conservation and expansion of green areas are essential to mitigate the effects of urban warming. Thus, public policies focused on green infrastructure and sustainable land use are recommended for the sustainable urban development of the region.

Key words – Google Earth Engine (GEE), Landsat-8, Geoprocessing, Urban Sustainability, Urban Amazon.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano desordenado influencia diretamente o surgimento de ilhas de calor, um fenômeno resultante da transformação da superfície natural pelo uso de outros materiais. Nesse processo, áreas vegetadas e corpos d'água são substituídos por materiais construídos, como concreto e asfalto, que possuem alta capacidade de armazenar calor [1]. As ilhas de calor têm um impacto negativo na saúde urbana, afetando o bem-estar da população e aumentando o gasto energético necessário para o resfriamento, o que, por sua vez, causa alto gasto financeiro e adaptações com infraestrutura [2].

O modelo econômico desenvolvimentista, promovido na Amazônia desde a década de 70, adentrou no nordeste do Pará por meio do início do modal rodoviário conectando-se a capital Brasília, favorecendo a entrada de imigração de outras regiões, trazendo a expansão do mercado de pecuária que levou ao aumento do desmatamento e do êxodo rural, e consequentemente da urbanização desordenada, que acaba causando a supressão de matas ciliares que protegem os cursos d'água presentes, ocasionando no assoreamento de rios, desgaste do solo e alagamentos no meio urbano impermeabilizado [3].

Nesse contexto, a cidade de Castanhal, situada no nordeste do Pará, emerge como um importante polo industrial em constante desenvolvimento, mantendo uma conexão significativa com a capital, Belém, a 68 km de distância. Seu crescimento é impulsionado por atividades nos setores de comércio, serviços, pecuária, agricultura e indústria. Foi notada uma expansão da área urbana de 959 hectares, o que leva a uma preocupação com o efeito das ilhas de calor nesta cidade tropical [4].

Portanto, este trabalho busca por meio do sensoriamento remoto da temperatura e de índices espectrais compreender a interação entre a temperatura da superfície, e os índices de espectrais de vegetação e urbanização mensurados por sensoriamento remoto, gerando relações estatísticas que possam auxiliar na validação do fenômeno das ilhas de calor urbanas, com foco na área de estudo, estudando esta problemática no contexto amazônico a fim de auxiliar no planejamento do Uso e Cobertura da Terra e mitigação de efeitos das mudanças no microclima local.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a delimitação da área de interesse, foi escolhido o perímetro que abrangesse a área urbana e rural da cidade de forma equilibrada na cidade de Castanhal, no Pará, selecionando então apenas um retângulo dentro do município, como detalha a Figura 1. O clima da região é do tipo Am (Tropical de Monção), de acordo com a classificação Koppen, com temperaturas máximas e mínimas de 35°C e 18°C, respectivamente, com média anual de 26°C. A umidade relativa média anual é de 80%, e a chuva anual de 2571,6 mm [5].

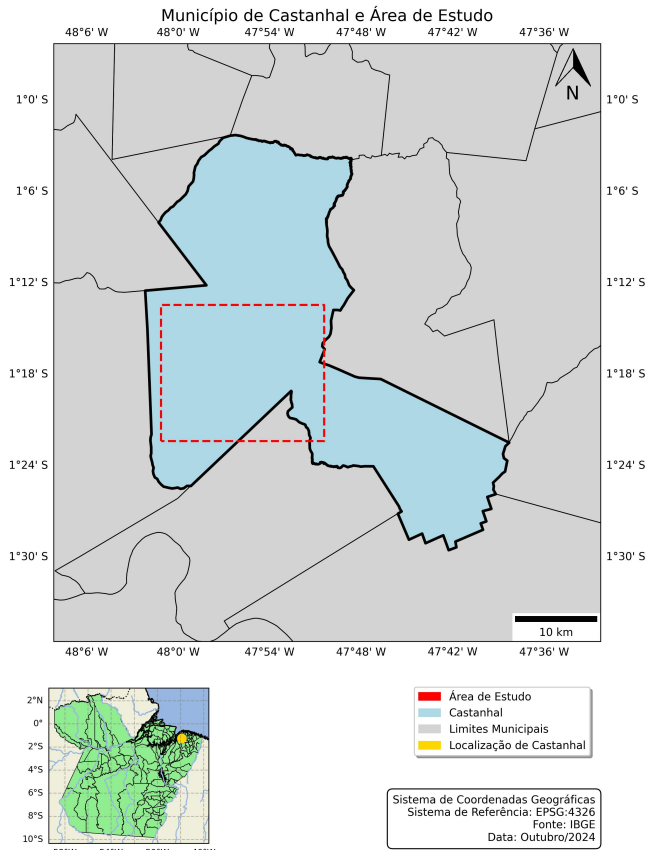


Figura 1: Mapa da Área de Estudo.

Os métodos de obtenção da estimativa da Temperatura de superfície (LST) foram implementados por códigos na linguagem de programação Python, a partir da API da plataforma Google Earth Engine (GEE), no ambiente de codificação em nuvem Google Collaboratory, com os códigos disponíveis em repositório próprio¹. Os procedimentos descritos estão resumidos no fluxograma da Figura 2.

Em seguida, para a obtenção das imagens, foram feitas buscas na coleção de imagens do satélite Landsat-8, filtrado pelo ano 2023, e pela área de interesse. Nestes critérios, as imagens mais adequadas para a análise se localizam na órbita 223, ponto 61. Dessas imagens, foram extraídas as bandas 2, 4, 5, 7 e 10, representando respectivamente o azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de onda curta do sensor OLI, e o infravermelho termal do sensor TIRS. Os pixels com detecção de nuvem e sombra de nuvem foram

¹Repositório GitHub: RS_UHI_2023_Castanhal-PA

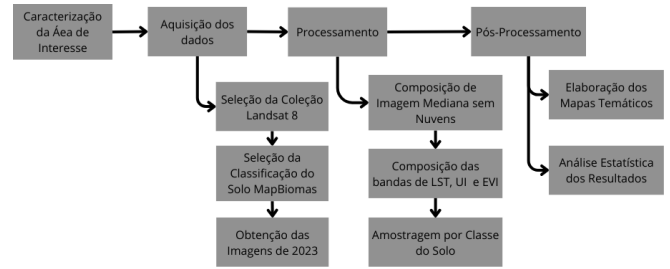


Figura 2: Fluxograma da pesquisa.

mascarados para cada imagem, e a partir destas foi gerada uma composição mediana de todas as imagens de 2023, afim de estudar as tendências gerais da variáveis sem interferência de nuvem.

Após este processo, o próximo passo foi o cálculo dos índices espectrais escolhidos para a análise. O primeiro é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), utilizado para estimar a proporção de vegetação e a emissividade da superfície terrestre (σ), sendo importante para representar a capacidade de emissão de energia por radiação do pixel [6]; o segundo é o EVI (*Enhanced Vegetation Index*), utilizado para diminuir a interferência atmosférica no índice de vegetação e visualizar mais a densidade desta [7]; O terceiro é o UI (*Urban Index*), desenvolvido para avaliar a densidade de urbanização pelo sensoriamento remoto [8]; estes índices são populares na literatura para a previsão da temperatura de superfície, por prover informações importantes sobre a refletância espectral dos diferentes tipos de solo [9].

Para o processamento da banda termal, a imagem de números digitais em escala de cinza foi convertida para valores de radiância espectral ($L\lambda$) no topo da atmosfera (TOA); este produto foi utilizado para calcular a temperatura de brilho do satélite (T_b); esta por fim, junto a emissividade (σ) calculada, foi usada para estimar a temperatura da superfície terrestre (LST) [6]. Os mapas obtidos foram exportados para o Google drive do formato ".tif" para ".jpeg".

Posteriormente, foi feita a coleta da classificação de uso e cobertura da terra anual para a cidade de Castanhal no ano de 2023, realizada pelo projeto MapBiomas, utilizando o código no GEE disponibilizado para o acesso a esses dados [10]. A partir disto, foi feito um recorte das classes presentes na área de estudo, extraindo então três classes de interesse: '*Forest Formation*', renomeado para 'floresta'; '*Pasture*', renomeado 'pastagem'; e '*Urban Infraestructure*', renomeado 'urbano'. Então, para uma análise equilibrada das variáveis, foi realizada uma amostragem de 300 pontos aleatórios pertencentes a cada classe, para estudo das relações estatísticas dos índices e da temperatura. Foram gerados os índices de correlação e uma equação para a temperatura em função do EVI e UI, com o objetivo de compreender a relação entre a alteração do uso e cobertura do solo na temperatura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A preservação e expansão de áreas verdes são fundamentais para mitigar o efeito de Ilha de Calor Urbana (ICU), que é um problema recorrente em cidades amazônicas, como Castanhal, onde a urbanização vem substituindo vegetação

nativa por superfícies impermeáveis. A Infraestrutura Verde Urbana (IVU) reduz as temperaturas urbanas ao promover a regulação do microclima. A IVU é um objeto de discussão no planejamento das cidades da União Europeia, devido a importância dos Serviços Ecossistêmicos (ES) que são gerados por elas, como a regulação do microclima, em que uma cobertura arbórea de pelo menos 16% pode reduzir as temperaturas em até 1 °C, com efeitos de resfriamento que podem chegar a 2,9 °C, dependendo da quantidade de vegetação e dos processos de transpiração e evaporação das plantas [11].

Estas iniciativas fazem parte das chamadas "Soluções Baseadas na Natureza"(NBS), que buscam adaptar a morfologia urbana para criar cidades mais resilientes as mudanças climáticas, que trazem fenômenos com riscos a vida da população como as ondas de calor [11]. As NBS são importantes para os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU, com foco no objetivo "Cidades e Comunidades Sustentáveis", pois as ilhas de calor são um grande problema nas metrópoles do mundo inteiro, o qual as florestas podem prover ES como redução da concentração de CO² na superfície, sombreamento, e resfriamento pela evapotranspiração [12].

No contexto amazônico, o modelo de desenvolvimento econômico baseado na rápida urbanização e remoção das áreas de floresta nativa traz consequências ainda mais visíveis, devido a latitude onde se localiza, próximo a Linha do Equador, trazer como consequência a constante radiação solar alta, o que destaca o aumento da temperatura no meio urbano, como demonstra a Figura 3, onde a temperatura varia entre 21.7°C e 31.6°C.

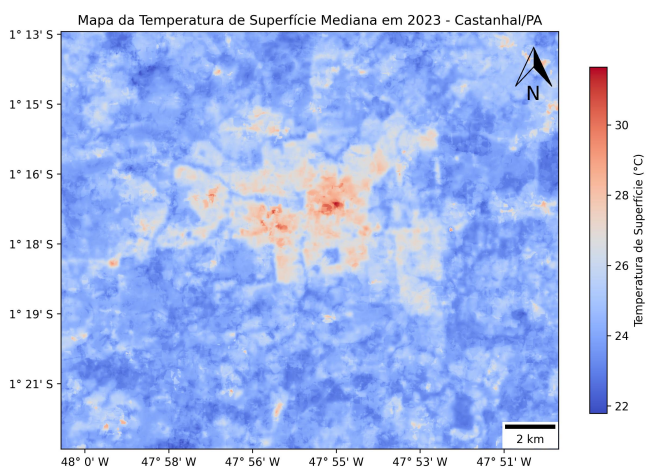


Figura 3: Mapa da Temperatura Média da área de estudo no ano de 2023.

O município de Castanhal encontra-se cercado de áreas florestais ainda não exploradas, mas ameaçadas pela expansão da economia baseada na agropecuária e da crescente expansão imobiliária frente ao aumento da população urbana. Destacam-se duas importantes áreas florestais ainda preservadas na área urbana da cidade: a reserva federal onde se localiza o Campus do Instituto Federal do Pará (IFPA) e o Instituto de Medicina Veterinária (IMV); e o Parque Ambiental Municipal de Castanhal, uma Unidade de Conservação recentemente fundada [13].

Quando se analisa a relação entre os índices e a temperatura, observa-se, para o UI, na figura 4, uma correlação linear positiva de 0.88, um R² de 0.78, Erro Médio Quadrático (RMSE) de 0.60°C e Erro Médio Absoluto (MAE) de 0.46°C. A modelagem demonstra a relação direta entre a densidade de urbanização e o aumento da temperatura, tendo os pontos de floresta a média mais baixa de 22.19, os pontos de pastagem sendo intermediários com média de 22.92, e os urbanos mais altos com média de 24.20, como indicado na Tabela 1.

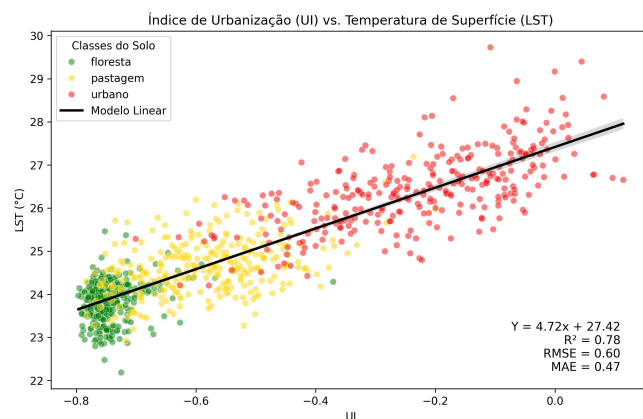


Figura 4: Regressão Linear da LST em função de UI.

	Classe	Min	Max	Med	Desvio
LST	Floresta	22.19	25.46	23.82	0.47
	Pastagem	22.92	27.19	24.64	0.64
	Urbano	24.20	29.73	26.43	0.89
EVI	Floresta	0.45	0.85	0.72	0.06
	Pastagem	0.18	0.83	0.60	0.10
	Urbano	0.06	0.80	0.34	0.12
UI	Floresta	-0.80	-0.37	-0.74	0.04
	Pastagem	-0.78	-0.20	-0.58	0.11
	Urbano	-0.70	0.11	-0.23	0.16

Tabela 1: Sumário estatístico dos dados amostrados.

Por outro lado, o modelo usando o EVI, na Figura 5, teve uma correlação linear negativa de -0.84, com um R² de 0.71, RMSE de 0.68°C e MAE de 0.53°C. Esta modelagem apresenta a relação inversa entre a temperatura e a vegetação na região, sendo os pontos com EVI baixo os urbanos, com alta temperatura, os de pastagem sendo intermediários, e os pontos de floresta tendo a temperatura mais baixa.

4. CONCLUSÕES

Compreende-se então, que embora a urbanização seja essencial para o desenvolvimento econômico e social, o crescimento não planejado e não sustentável das cidades pode resultar em vários efeitos nocivos para os habitantes, como os das ilhas de calor, que podem comprometer a vivência e sustentação de um local frente às mudanças climáticas, em que se projeta um alto aumento na temperatura média, especialmente para as regiões da Amazônia. No entanto, é perceptível a influência das áreas mais arborizadas para a redução desses efeitos, provendo vários serviços

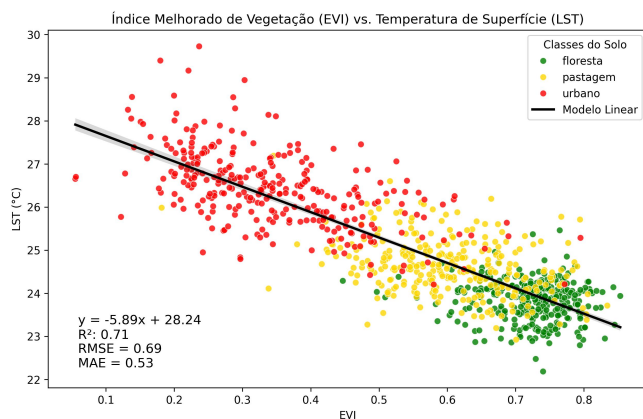


Figura 5: Regressão Linear da LST em função de EVI.

ecossistêmicos. Por isso, o planejamento na região amazônica deve ser voltado para um desenvolvimento sustentável, fortalecendo a proteção das áreas florestadas e das matas ciliares nas margens dos rios, direcionando o foco para a bioeconomia e turismo que estas áreas podem gerar [14].

Como trabalhos futuros, podem-se buscar analisar a relação de mais índices espectrais com mais classificações de solo, para modelar com mais precisão as alterações de temperatura em função do solo. Além disso, com séries de imagens ao longo dos anos, pode-se desenvolver um modelo para prever a transição destas classes e da temperatura nos anos seguintes, podendo auxiliar no planejamento governamental na atuação de mitigação das mudanças futuras no microclima local [15].

5. REFERÊNCIAS

- [1] Eduardo Krüger and Francine Rossi. Quantificação da ilha de calor de Curitiba considerando aspectos de estabilidade atmosférica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30(4):394–404, 2015.
- [2] VP Masson-Delmotte, Panmao Zhai, SL Pirani, C Connors, S Péan, N Berger, Y Caud, L Chen, MI Goldfarb, and Pedro M Scheel Monteiro. Ipcc, 2021: Summary for policymakers. in: *Climate change 2021: The physical science basis. contribution of working group i to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, 2021.
- [3] Leonardo M de Lima Leandro, Fábio Carlos da Silva, and Jovenildo Cardoso Rodrigues. *O PAPEL DA ESTRADA DE FERRO DE BRAGANÇA NA COLONIZAÇÃO E ECONOMIA DA AMAZÔNIA ORIENTAL (1870-1960)*. PhD thesis, NAEA/UFGA, 2011.
- [4] Carolina Teixeira Laurido and Gabrielle Laredo Leão. Processamento digital de imagens do landsat 8, para análise de crescimento de mancha urbana da cidade de castanhal-pa, nos anos de 2013 e 2021. In *INPE. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 2023.
- [5] Vivian Dielly da Silva Farias, Marcus José Alves de Lima, Thaynara Fernandes Ramos, Adriano Marlisom Leão de Sousa, et al. Produção de área foliar e biomassa e produtividade do feijão-caupi sob regimes hídricos em castanhal, para. *Revista Caatinga*, 30(3):748–759, 2017.
- [6] Mirza Waleed and Muhammad Sajjad. Leveraging cloud-based computing and spatial modeling approaches for land surface temperature disparities in response to land cover change: evidence from pakistan. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25:100665, 2022.
- [7] Hui Qing Liu and Alfredo Huete. A feedback based modification of the ndvi to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2):457–465, 1995.
- [8] Makoto Kawamura. Relation between social and environmental conditions in colombo, sri lanka and the urban index estimated by satellite remote sensing data. *International archives of photogrammetry and remote sensing*, 7:321–326, 1996.
- [9] Aqil Tariq and Hong Shu. Ca-markov chain analysis of seasonal land surface temperature and land use land cover change using optical multi-temporal satellite data of faisalabad, pakistan. *Remote Sensing*, 12(20):3402, 2020.
- [10] A repository for MapBiomass data accessing in Google Earth Engine. Disponível em: <https://github.com/mapbiomas-brazil/user-toolkit>.
- [11] Federica Marando, Mehdi P Heris, Grazia Zulian, Angel Udías, Lorenzo Mentaschi, Nektarios Chrysoulakis, David Parastatidis, and Joachim Maes. Urban heat island mitigation by green infrastructure in european functional urban areas. *Sustainable Cities and Society*, 77:103564, 2022.
- [12] Yaxue Ren, Raffaele Laforteza, Vincenzo Giannico, Giovanni Sanesi, Xinna Zhang, and Chengyang Xu. The unremitting global expansion of the urban heat island over the last century. *Science of The Total Environment*, 880:163276, 2023.
- [13] Câmara aprova, em segundo turno, criação do Parque Natural Municipal de Castanhal. Disponível em: <https://www.castanhal.pa.gov.br/camara-aprova-em-segundo-turno-criacao-do-parque-natural-municipal-de-castanhal/>.
- [14] Edson FARIA and Armando de Azevedo CALDEIRA-PIRES. Economia circular e bioeconomia: Como as abordagens se relacionam. In *7º Workshop Acadêmico Internacional em produção limpa avançada. Anais... Barranquilla, Colombia*, 2018.
- [15] Mirza Waleed, Muhammad Sajjad, Anthony Owusu Acheampong, and Md Tauhidul Alam. Towards sustainable and livable cities: leveraging remote sensing, machine learning, and geo-information modelling to explore and predict thermal field variance in response to urban growth. *Sustainability*, 15(2):1416, 2023.