

## ANÁLISE ESPACIAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BELÉM/PA: APLICAÇÃO DE NDBI E BU NA BACIA DA ESTRADA NOVA.

### SPATIAL ANALYSIS OF LAND USE AND OCCUPATION IN BELÉM/PA: APPLICATION OF NDBI AND BU IN THE ESTRADA NOVA BASIN.

Rodrigo Silvano Silva Rodrigues<sup>1</sup>  
Moisés Gonçalves Pizon<sup>2</sup>  
Rafael do Nascimento Pires<sup>3</sup>  
Germana Menescal Bittencourt<sup>4</sup>  
Lindemberg Lima Fernandes<sup>5</sup>  
Giovanni Max Ribamar<sup>6</sup>  
Luiza Carla Girard Mendes Teixeira<sup>7</sup>

Área Temática 5: Meio ambiente, Mudanças Climáticas e Sustentabilidade  
Modalidade: Artigo Científico

#### Resumo

Belém do Pará, capital da Amazônia, enfrenta sérios desafios urbanos e ambientais, especialmente na Bacia da Estrada Nova, uma área caracterizada por intensa urbanização, ocupação de zonas alagáveis e pela presença de canais de macrodrenagem. Este estudo teve como objetivo identificar padrões de uso e ocupação do solo, intensidade construtiva e dinâmica espacial urbana, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geotecnologias, aplicando os índices espectrais NDBI e Built-up. Foram utilizadas imagens dos sensores Thematic Mapper (TM), a bordo do satélite Landsat 5, e Operational Land Imager (OLI), do satélite Landsat 8, selecionadas com base em critérios de qualidade e baixa cobertura de nuvens, e processadas digitalmente para o mapeamento de áreas construídas. Os resultados indicam que Belém apresenta uma ocupação espacial diversificada, enquanto a Bacia da Estrada Nova concentra áreas de média a alta densidade construtiva, refletindo intensa pressão urbana e baixa permeabilidade do solo. O índice NDBI revelou uma distribuição equilibrada das áreas edificadas na capital e uma ocupação moderada na bacia, enquanto o índice Built-up destacou, com maior precisão, a presença e a intensidade das áreas urbanizadas. Conclui-se que a análise integrada dos dados geoespaciais é essencial para subsidiar políticas públicas de ordenamento territorial e gestão ambiental, reforçando a importância de utilizar bacias hidrográficas como unidades operacionais de planejamento. Isso contribui para um desenvolvimento urbano mais sustentável, pautado na ampliação de áreas verdes e na mitigação dos impactos da impermeabilização, promovendo uma cidade mais equilibrada e resiliente.

**Palavras-Chave:** Geoespacial; Sensoriamento remoto; Urbanização; Cobertura vegetal; Dinâmicas ambientais urbanas.

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pará; rcsr@ufpa.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Pará; moisespizon20@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal do Pará; rafael.np29@gmail.com

<sup>4</sup>Universidade Federal do Pará; germana.menescal@gmail.com

<sup>5</sup>Universidade Federal do Pará; linlimfer@gmail.com

<sup>6</sup>Universidade Federal do Pará; gilcosta002@gmail.com

<sup>7</sup>Universidade Federal do Pará; lugirard@ufpa.br

## Abstract

Belém, Pará, the capital of the Amazon, faces serious urban and environmental challenges, especially in the Estrada Nova Basin, an area characterized by intense urbanization, wetland occupation, and the presence of macro-drainage channels. This study aimed to identify patterns of land use and occupation, construction intensity, and urban spatial dynamics using remote sensing techniques and geotechnologies, applied through the spectral indices NDBI and Built-up. Satellite images from the Thematic Mapper (TM) sensor onboard the Landsat 5 satellite and the Operational Land Imager (OLI) sensor onboard Landsat 8 were used. These images were selected based on quality criteria and low cloud cover and were digitally processed to map built-up areas. The results indicate that Belém exhibits a diversified spatial occupation, while the Estrada Nova Basin concentrates areas of medium to high construction density, reflecting strong urban pressure and low soil permeability. The NDBI showed a balanced distribution of built-up areas across the capital and moderate occupation within the basin, whereas the Built-up index more accurately highlighted the presence and intensity of urbanized areas. The study concludes that the integrated analysis of geospatial data is essential to support public policies for territorial planning and environmental management. It reinforces the importance of adopting river basins as operational planning units, with a focus on sustainability, expanding green areas, and mitigating the impacts of soil sealing, thereby promoting more balanced and resilient urban development.

**Key words:** Geospatial; Remote sensing; Urbanization; Vegetation cover; Urban environmental dynamics.

## 1. Introdução

Há uma relação direta entre o meio ambiente e a urbanização. À medida que a urbanização concentra populações e atividades econômicas em espaços reduzidos, surgem impactos ambientais significativos. O crescimento acelerado das cidades, impulsionado pela ação humana, tem provocado mudanças na configuração espacial urbana, como a supressão da cobertura vegetal, a alteração do relevo e a degradação dos cursos d'água (FREITAS, 2023).

Segundo Ribeiro (2024), a relevância de se monitorar o crescimento urbano também se reflete na necessidade de políticas públicas que considerem os impactos ambientais dessa expansão, havendo importância em integrar a análise da vegetação e das áreas urbanas para o desenvolvimento de cidades mais resilientes às mudanças climáticas e capazes de preservar a qualidade de vida de seus habitantes.

Ferramentas como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o sensoriamento remoto são fundamentais para a análise da expansão urbana, pois permitem acompanhar mudanças no uso do solo, mapear áreas impactadas e auxiliar no planejamento e na gestão dos espaços urbanos (DUTRA; BRIANEZI; COELHO, 2020; SANTOS et al., 2021).

A utilização do sensoriamento remoto, associado ao SIG, oferece capacidade de observar a superfície por meio de imagens processadas, sem a necessidade de percorrer toda a área de estudo (RODRIGUES; MEDEIROS, 2022).

A identificação da compatibilidade de usos e ocupações em ambientes específicos é fundamental para a gestão territorial, pois permite delimitar áreas que não podem ser ocupadas devido a riscos naturais, como inundações, deslizamentos e altas declividades, bem como aquelas que apresentam fragilidades ambientais, como áreas de preservação e vocações turísticas ou agrícolas (DUSI; BUENO, 2016).

A expansão urbana desordenada, quando não controlada, pode resultar na ocupação dessas áreas vulneráveis, agravando os riscos socioambientais. Dessa forma, torna-se imprescindível reconhecer as características ambientais locais para planejar o uso adequado do solo, prevenindo impactos negativos e promovendo a sustentabilidade do território (RISSI et al., 2021).

Dusi e Bueno (2016) destacam que é comum observar, nos municípios, uma ocupação territorial desordenada, frequentemente em conflito com as regulamentações ambientais e o Código Florestal. Nesse processo, as cidades acabam se desenvolvendo de forma insustentável, e as instituições ambientais ficam pressionadas e desacreditadas.

Belém, como outras cidades brasileiras, foi submetida a um processo de urbanização acelerado, especialmente na década de 1980 (COSTA et al., 2021). A cidade enfrenta desafios em relação ao ordenamento urbano e às infraestruturas necessárias para o desenvolvimento municipal, incluindo a produção de moradias sem a devida infraestrutura. Instrumentos legais, como o Plano Municipal de Saneamento Básico de Belém/PA, nem sempre são plenamente utilizados como ferramentas efetivas de planejamento.

A bacia da Estrada Nova, ao sul da área urbana, possui bairros lindeiros ao centro do município, com considerável densidade populacional. No entanto, a delimitação dessa bacia é marcada por conflitos, especialmente na porção sul, onde divergências entre órgãos municipais são evidentes. A presença significativa de canais de macrodrenagem nesta bacia suscita reflexões sobre os impactos da urbanização em áreas que antes possuíam corpos hídricos naturais.

Para compreender os impactos da ausência de continuidade no planejamento urbano em Belém, a análise dos índices espectrais NDBI e Built-up emerge como ferramenta essencial.

O NDBI contribui para identificar áreas construídas, e o índice Built-up auxilia na distinção entre áreas urbanas e vegetadas.

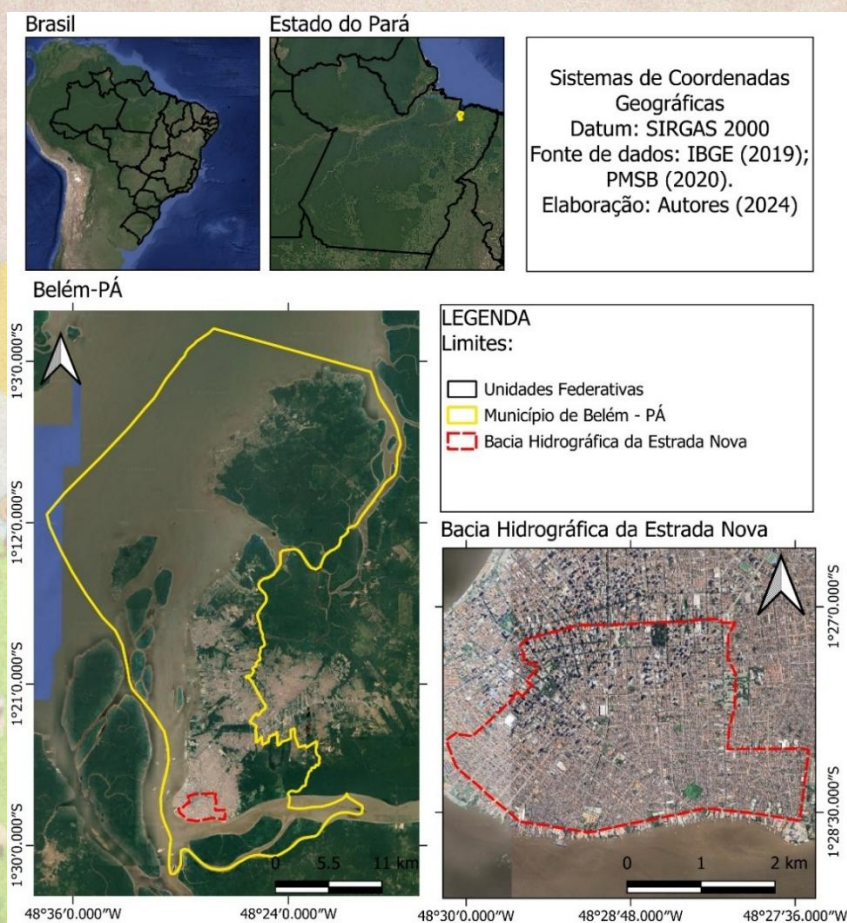
Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo principal avaliar o uso e a ocupação do solo na bacia da Estrada Nova, em Belém do Pará, utilizando ferramentas de análise geoespacial, com ênfase nos índices espectrais NDBI e Built-up. A pesquisa busca fornecer subsídios técnicos e científicos para o planejamento urbano sustentável, contribuindo para a gestão ambiental e o ordenamento territorial da área. A escolha da bacia da Estrada Nova, uma das maiores em extensão urbana da cidade, justifica-se por sua importância estratégica e pelos impactos observados da urbanização sobre seus corpos hídricos e áreas de drenagem. A abordagem adotada visa identificar padrões de ocupação que possam orientar políticas públicas voltadas ao desenvolvimento urbano mais equilibrado e ambientalmente responsável.

### Metodologia

Belém, capital do Pará, está situada a cerca de 160 km da linha do equador sob as coordenadas geográficas 01° 27'S e 48° 28'W. Com um terço da população estadual, é a segunda cidade mais populosa da Amazônia (IBGE, 2019; PEREIRA; VIEIRA, 2016). Com uma população estimada de 1.492.745 habitantes, Belém representa 59,70% da população da Região Metropolitana de Belém - RMB, composta por sete municípios, totalizando 2.510.074 habitantes, a maioria em zonas urbanas (IBGE, 2019).

Em 2010, a população era de 1.393.399 habitantes, indicando crescimento moderado. Questiona-se se os princípios do ordenamento espacial estão sendo considerados, dada a possível pressão sobre os recursos hídricos e o comprometimento da qualidade de vida (CARVALHO; ROCHA, 2020). Este estudo focará nas áreas da bacia da Estrada Nova em Belém, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Mapa das áreas de estudo.



Fonte: Autores, 2025.

O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMB, 2014) foi elaborado para orientar ações públicas e privadas relacionadas ao saneamento básico em Belém. No entanto, falhas foram identificadas, como a não delimitação correta das bacias hidrográficas e a ausência de abordagem sobre manejo de resíduos sólidos, limpeza urbana e drenagem (BRAGA, BARBOSA E ALMEIDA, 2014).

Na versão mais recente do PMB (2020), em seu Volume IV, referente ao sistema de drenagem urbana e manejo de águas pluviais, fica expresso que Belém ainda não utiliza bacias hidrográficas como unidades de planejamento, e que falta integração entre as secretarias municipais. Conflitos nas bases de bacias hidrográficas entre a Companhia de

Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM) e a Secretaria Municipal de Saneamento de Belém (SESAN) também foram identificados.

Belém é caracterizada pela presença da Baía do Guajará a leste, acessível por barco até a Ilha de Marajó, e pelo rio Guamá a oeste, navegável e que conduz à região Noroeste do estado. Ambas as massas d'água contribuem para paisagens fluviais marcadas por canais pavimentados, valões e esgotos a céu aberto (SOARES, 2021).

O PMSB (2020) identificou 47 bacias hidrográficas em Belém, relacionadas aos sistemas de drenagem e à topografia, servindo como ferramenta para o planejamento urbano do município. A complexidade dos temas relacionados aos rios urbanos e bacias hidrográficas urbanas na Amazônia é reconhecida, considerando a urbanização desigual dessa região (COSTA et al., 2021).

O desafio em Belém envolve áreas sem planejamento ocupadas por terrenos impróprios para construção, como terrenos rebaixados e sujeitos a fenômenos de marés, resultando na geração ou intensificação de áreas de risco. É crucial avaliar elementos socioeconômicos e biofísicos com igual peso, pois ambos orientam as transformações no espaço geográfico (ARAÚJO JÚNIOR; AZEVEDO, 2022).

### **Bacia da Estrada Nova**

A bacia da Estrada Nova, segundo dados do PMB (2019), tem uma área de 998,87 ha, mas o PMSB (2020) a estima em 966,3 ha, totalmente inserida em área urbana. Abrange população de cerca de 300.000 pessoas nos bairros do Jurunas, Batista Campos, Cremação, Condor, Guamá e parcialmente em Nazaré, São Braz e Cidade Velha.

A urbanização impacta a Estrada Nova com canais de macrodrenagem. Segundo o PMSB (2020), 10% dos canais em Belém estão na bacia, totalizando 9.440 metros em canais como Quintino Bocaiúva (750m), Generalíssimo Deodoro (430m), Bernardo Sayão (5.900m), 03 de Maio (1.450m), Rua dos Caripunas (200m) e Travessa Doutor Moraes (710m). Não menciona o canal dos Timbiras, aproximadamente 710 metros, totalmente fechado por galerias e aduelas.

A Estrada Nova, com 12 igarapés/canais, está nas várzeas do rio Guamá, com cotas topográficas baixas, propiciando áreas alagadiças (TOZI, 2020).

Leão (2014) destaca a ocupação inadequada dos cursos d'água, resultando em precariedade socioambiental e comprometendo a qualidade da água. A obstrução dos leitos prejudicou a contenção de cheias, causando alagamentos, principalmente em chuvas intensas.

Desde 2006, a Prefeitura de Belém iniciou o projeto PROMABEN, envolvendo tratamento de sete canais e drenagem, caracterizado como "projeto de urbanização e saneamento de assentamento precário," evidenciando intervenção significativa (ARAÚJO JÚNIOR; AZEVEDO, 2022).

### **Processamento de imagens**

A utilização de índices espectrais para avaliar o uso do solo visa confirmar as afirmações de Zaldo-Aubanell et al. (2021) e Huang e Lu (2015) sobre como as mudanças na cobertura do solo podem afetar a saúde humana e o clima. A obtenção do NDVI foi realizada por meio de imagens dos sensores Thematic Mapper (TM), a bordo do satélite Landsat 5, e Operational Land Imager (OLI), a bordo do Landsat 8. A escolha das imagens seguiu critérios de qualidade e baixa cobertura de nuvens, sendo utilizada, para análise do período recente, uma imagem do Landsat 8 adquirida em 3 de agosto de 2023. Este mês está inserido no período menos chuvoso da região, conforme definido por Moraes e Filho (2018), o que permite avaliar as condições mais críticas do ambiente.

As imagens foram adquiridas no banco de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey – USGS), disponíveis online (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Todas as imagens passaram por correções geométricas, e as cenas provenientes do Landsat 8 foram submetidas à conversão radiométrica de 16 para 8 bits, visando otimizar o processamento. Os procedimentos de processamento digital das imagens foram realizados com base nas metodologias propostas por Zha et al. (2003), He et al. (2010) e Xu (2007).

## Índice de Construções de Diferença Normalizada (NDBI):

O NDBI (Normalized Density Building Index) é um índice de diferença normalizada para áreas construídas, desenvolvido por Zha, Gao e Ni (2003), destacando-se por alcançar uma precisão de mapeamento de 92,6%. Esse método automatizado demonstra eficiência no mapeamento de áreas construídas, apresentando-se como uma alternativa ágil e objetiva (ALMEIDA et al., 2021). Segundo Chen et al. (2006), o NDBI possui alta precisão em comparação com outros índices para identificação de crescimento urbano.

Esse índice utiliza as bandas 4 e 5 do infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (SWIR) para visualizar áreas construídas, diferenciando-as de áreas com solo exposto e facilitando a classificação de padrões urbanos. A fórmula para o cálculo do NDBI é dada por:  $NDBI = (Infravermelho\ médio - NIR) / (Infravermelho\ médio + NIR)$ . Para os dados de Landsat 8:  $(Banda\ 6 - Banda\ 5) / (Banda\ 6 + Banda\ 5)$ .

De acordo com Almeida et al. (2021), os intervalos de valores são: -1 a -0,05 para baixa intensidade, -0,05 a 0,12 para média intensidade e de 0,12 a 1 para alta intensidade de áreas construídas.

## Built-up (BU):

Para aprimorar o índice NDBI, He et al. (2010) introduziram o Built-up Index (BU), um índice destinado a distinguir áreas impermeáveis e permeáveis. Esse índice é derivado das imagens contínuas do NDBI e NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), utilizando valores positivos de NDBI para identificar áreas construídas e valores positivos de NDVI para indicar áreas de vegetação, efetuando assim a separação entre áreas urbanas, áreas vegetadas e solo exposto. Built-Up é alcançado pela subtração de  $NDBI - NDVI$ .

Kshetri (2018) enfatiza que a técnica de classificação de imagens, seja supervisionada ou não, é um processo complexo que demanda a criação de uma banda composta e a aplicação de várias operações para se obter o resultado final. A precisão dessa técnica depende do analista de imagem e do método adotado. A classificação neste estudo segue a abordagem proposta por Oliveira, Cerqueira Neto e Silva (2021), onde, em uma escala de

menor para maior número, representam-se áreas com baixa a alta intensidade de construções, conforme o Quadro 1.

**Quadro 1.** Classes de BU

BU	Intensidade de áreas construídas
< -0,7	Baixa
-0,7 a -0,5	Baixa-Média
-0,5 a -0,3	Média
-0,3 a -0,2	Média-Alta
> -0,2	Alta

Fonte: Oliveira, Cerqueira Neto e Silva (2021).

## 2. Resultados/Discussões

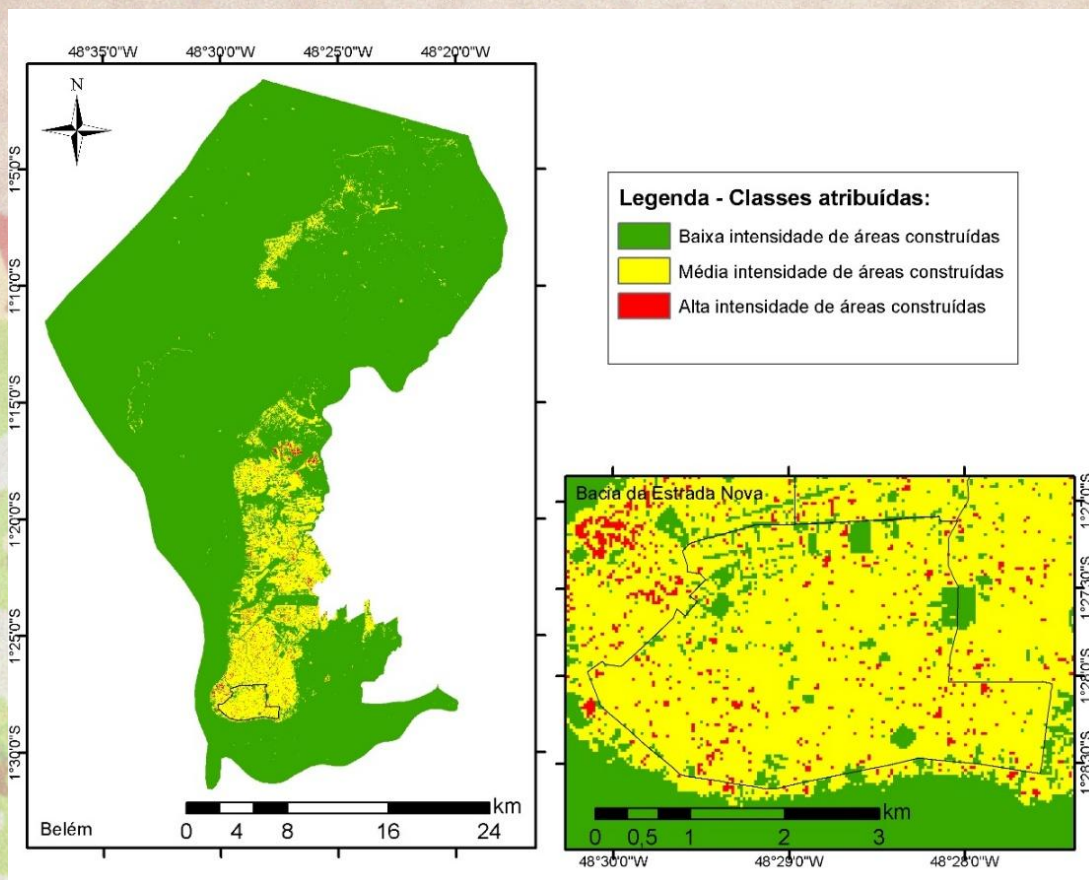
Essa análise apresenta uma abordagem dos resultados obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto, para o município de Belém, abrindo detalhamento para a bacia hidrográfica da Estrada Nova.

### Índice de Construções de Diferença Normalizada (NDBI):

No que concerne ao NDBI, identificou-se que Belém possui uma presença expressiva de áreas com baixa intensidade construtiva, sugerindo uma configuração urbana mais diversificada. Em contrapartida, a bacia da Estrada Nova é caracterizada por uma alta intensidade construtiva, indicando uma concentração mais intensa de atividades urbanas nessa região específica

O processamento do NDBI não foi eficaz para avaliação totalitária do município de Belém, pois os corpos hídricos, que representam a extensão territorial de aproximadamente 52% do município, são classificados como “Baixa intensidade de áreas construídas”. A fim de proceder com estimativas, a área referente aos corpos hídricos foi extraída da classe “Baixa intensidade de áreas construídas”. As áreas com vegetações mais densas naturalmente são classificadas como “Baixa intensidade de áreas construídas”. Na Figura 2 e Tabela 1 apresentam-se os resultados de NDBI para área de estudo.

Figura 2. Mapa do NDBI das áreas de estudo.



Fonte: Autores, 2025.

Tabela 1. Resultados de NDBI para o município de Belém e bacias da Estrada Nova.

Classes atribuídas	Belém		Estrada Nova		
	Ha	%	Ha	%	%B
Baixa intensidade de áreas construídas	39.884,10	37,54%	80,19	8,64%	0,075%
Média intensidade de áreas construídas	10.392,00	9,78%	812,70	87,61%	0,765%
Alta intensidade de áreas construídas	504,00	0,47%	34,20	3,69%	0,032%
Corpo hídrico	55.466,90	52,21%	0,54	0,06%	0,001%
Total	106.247	100	927,63	100	0,873

Fonte: Autores, 2025.

A Tabela 1 reflete os resultados do Índice de Construções de Diferença Normalizada (NDBI) para o município de Belém e, mais especificamente, a bacia da Estrada Nova. Esses valores, expressos em hectares (ha) e percentagens (%), proporcionam detalhamentos sobre a distribuição espacial das categorias relacionadas à intensidade construtiva e à presença de corpos hídricos.

Em Belém, observa-se uma predominância de áreas classificadas como "Baixa intensidade de áreas construídas", ocupando 37,54% do território. Em contrapartida, as áreas de média e alta intensidade construtiva são menos representativas, totalizando 9,78% e 0,47%, respectivamente. A parcela significativa de corpos hídricos destaca-se, ocupando mais da metade da área municipal (52,21%).

Na bacia da Estrada Nova, a predominância de áreas de "Média intensidade de áreas construídas" é notável, ocupando expressivos 87,61%. As áreas de baixa e alta intensidade construtiva são comparativamente menores, sugerindo uma concentração de atividades construídas de magnitude moderada. A contribuição dos corpos hídricos é mínima.

Em Belém, a extensa presença de áreas com baixa intensidade construtiva sugere uma distribuição mais equilibrada entre áreas urbanizadas e não urbanizadas. A preponderância de corpos hídricos destaca a relevância dos recursos aquáticos na configuração urbana.

A bacia da Estrada Nova, com sua expressiva predominância de áreas de média intensidade construtiva, sugere uma concentração mais intensa de atividades urbanas nessa região específica. A presença de corpos hídricos contribui para a qualidade ambiental da região.

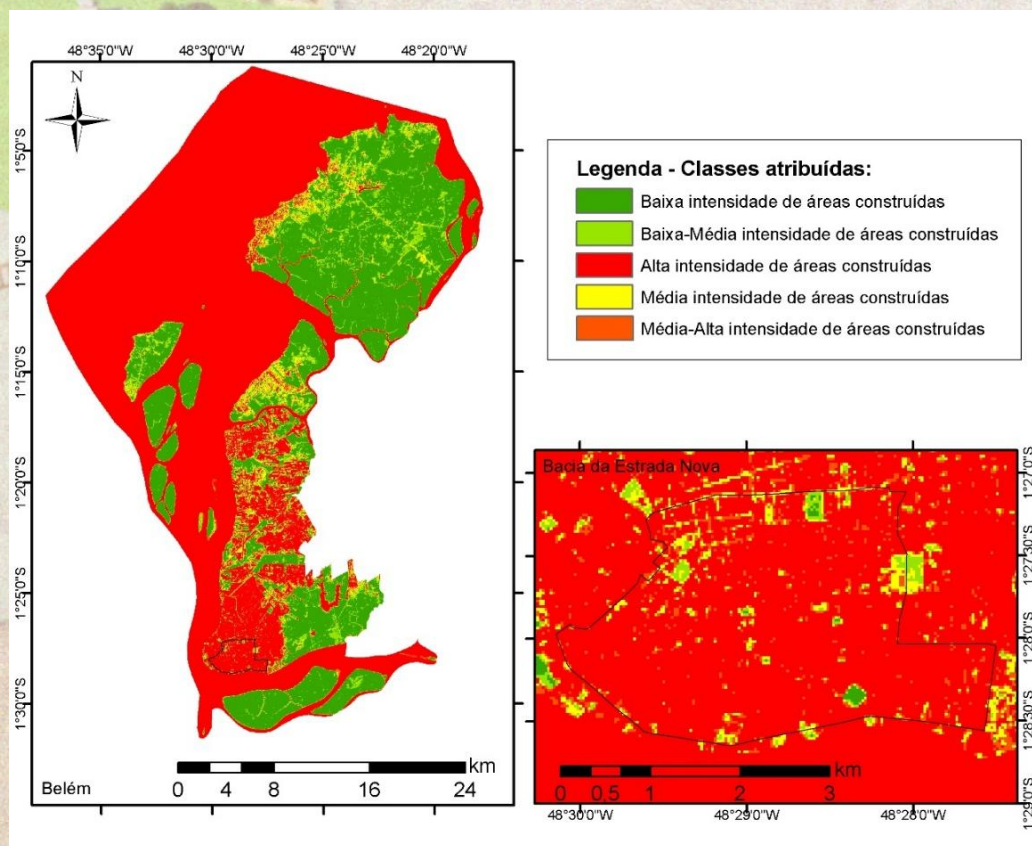
Ao analisar o NDBI para o município de Belém (não considerando as ilhas), Margallo (2019) confirma a intensificação do processo de urbanização e a expansão desenfreada causada pelo aumento da população urbana, é possível verificar, de forma geral, que esta expansão urbana foi bastante intensa a partir dos anos 2000, comparado aos anos de 2008 e 2017, caracterizando a presença de área construída, demonstrando que a mudança do uso e cobertura do solo interfere na armazenagem de calor, no albedo, na temperatura do ar e na temperatura da superfície.

## Built-up (BU):

O aprofundamento na análise com base no BU revelou nuances adicionais, evidenciando diferentes níveis de intensidade construtiva nas três áreas estudadas. Belém, com sua presença significativa de áreas com baixa intensidade construtiva, destaca uma configuração mais heterogênea, enquanto a Estrada Nova se destaca por sua alta intensidade construtiva.

O BU detalha consideravelmente os resultados de NDBI. O processamento do NDBI não foi eficaz para avaliação totalitária do município de Belém, pois os corpos hídricos, que representam a extensão territorial de aproximadamente 52% do município, são classificados como áreas de alta intensidade de construções, assim, a fim de proceder com estimativas, a área referente aos corpos hídricos foi extraída dessa classificação. Na Figura 3 e na Tabela 2 apresentam-se os resultados de BU para área de estudo.

Figura 3. Mapa do BU das áreas de estudo.



Fonte: Autores, 2025.

**Tabela 2.** Resultados de BU para o município de Belém e bacia da Estrada Nova.

Classes atribuídas	Belém		Estrada Nova		
	Ha	%	Ha	%	%B
Baixa intensidade de áreas construídas	29,625.00	27.88%	5.40	0.58%	0.005%
Baixa-Média intensidade de áreas construídas	6,000.00	5.65%	14.04	1.51%	0.013%
Média intensidade de áreas construídas	4,206.00	3.96%	44.91	4.84%	0.042%
Média-Alta intensidade de áreas construídas	2,423.00	2.28%	59.94	6.46%	0.056%
Alta intensidade de áreas construídas	8,526.10	8.02%	802.80	86.54%	0.756%
Corpo hídrico	55.466,90	52,21%	0,54	0,06%	0,001%
Total	106.247	100	927,63	100	0,873

**Fonte:** Autores, 2025.

Na análise para o município de Belém, observa-se uma presença significativa de áreas classificadas como "Baixa intensidade de áreas construídas", abrangendo 27,88% do território. As áreas de baixa-média, média-alta e alta intensidade construtiva, embora representem proporções menores, contribuem para uma diversidade na configuração urbana. O impacto expressivo dos corpos hídricos na classificação destaca a necessidade de correções para uma avaliação mais precisa.

Na bacia da Estrada Nova, destaca-se uma concentração expressiva de áreas com "Alta intensidade de áreas construídas", ocupando substanciais 86,54% do território. As áreas de média intensidade e média-alta, embora presentes, representam proporções comparativamente menores. A presença de corpos hídricos é mínima nessa região.

No município de Belém, a significativa representação de áreas com baixa intensidade construtiva indica uma diversidade no padrão de urbanização, enquanto a bacia da Estrada Nova exhibe características mais especializadas, com uma predominância de áreas de alta intensidade construtiva.

A bacia da Estrada Nova se destaca pela concentração expressiva de áreas altamente urbanizadas, sugerindo uma dinâmica mais intensa nessa região. A presença de corpos hídricos, embora proporcionalmente menor nas bacias estudadas, destaca a importância de abordagens corretivas na classificação para evitar distorções nos resultados

### 3. Considerações Finais ou Conclusão

O presente estudo evidenciou a interconexão crítica entre a gestão dos recursos hídricos, o uso e ocupação do solo e a estrutura da superfície urbana, com ênfase na necessidade de abordagens integradas para enfrentar os desafios ambientais e urbanos em Belém/PA. A análise geoespacial aplicada à Bacia da Estrada Nova, utilizando os índices espectrais NDBI e Built-up, revelou padrões claros de urbanização intensiva em áreas críticas do território, caracterizadas por elevada densidade construtiva e baixa permeabilidade do solo. Esses fatores comprometem a drenagem natural e colocam em risco a sustentabilidade ambiental da região.

A combinação dos índices espectrais demonstrou-se eficaz para caracterizar com precisão a cobertura vegetal e a densidade construtiva. O NDBI permitiu identificar áreas edificadas com clareza, enquanto o Built-up refinou a análise da intensidade construtiva e das relações com áreas verdes. A sobreposição entre esses indicadores forneceu uma leitura mais crítica do crescimento urbano e suas implicações para o ordenamento territorial, evidenciando zonas que exigem atenção prioritária em termos de controle da expansão urbana, preservação ambiental e uso racional do solo.

Paralelamente, os resultados apontam fragilidades institucionais que comprometem a eficácia do planejamento urbano em Belém, como a ausência de bacias hidrográficas como unidades de planejamento no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e a falta de integração entre as secretarias responsáveis. Tal desarticulação dificulta a implementação de estratégias eficazes de infraestrutura, drenagem e conservação ambiental. Nesse contexto, o estudo oferece diretrizes concretas para intervenções estruturais e regulatórias, incluindo a criação de parques urbanos, o aumento da cobertura vegetal e o aprimoramento dos sistemas de drenagem, especialmente em áreas vulneráveis como a Bacia da Estrada Nova.

Além das contribuições técnicas, os resultados obtidos reforçam a importância da incorporação desses dados no planejamento urbano e ambiental do município. A utilização de informações geoespaciais precisas podem subsidiar políticas públicas mais eficientes, com foco na mitigação de impactos causados pela urbanização desordenada e na promoção de soluções baseadas na natureza. A criação de espaços verdes, a ampliação da cobertura vegetal e a melhoria dos sistemas de drenagem são medidas essenciais para reverter os efeitos da impermeabilização do solo e fortalecer a resiliência urbana frente aos eventos climáticos extremos. Dessa forma, o estudo oferece um referencial técnico robusto para decisões estratégicas que aliem crescimento urbano e sustentabilidade ambiental.

#### 4. Referências Bibliográficas

**FREITAS, Júlia Dáfhine Siqueira de.** *Índice de qualidade ambiental na cidade de Montes Claros - MG.* 2023. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unimontes.br/handle/1/1435>. Acesso em: 20 maio 2025.

**RIBEIRO, Cecília Hanako Gonçalves Martins.** Avaliação da expansão da malha urbana de Três Lagoas utilizando NDBI e NDVI com dados Landsat no Google Earth Engine. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/10755>. Acesso em: 20 maio 2025.

**DUTRA, Débora Joana; BRIANEZI, Daniel; COELHO, Carlos Wagner Gonçalves Andrade.** Uso de geotecnologias para análise da dinâmica da vegetação da sub-bacia do Ribeirão Serra Azul, MG. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 43, n. 4, p. 283-292, 2020.

**SANTOS, Emanuela Liné dos; MAZUTTI, Janaina; TISSIANI, Larson; LONDERO BRANDLI, Luciana; DALLA ROSA, Francisco; LEITE FRANDOLOSO, Marcos Antônio.** Crowdsourcing como auxílio às ferramentas de SIG no planejamento urbano participativo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA, 3., 2021, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 576-585. DOI: 10.46421/singeurb.v3i00.1121. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/singeurb/article/view/1121>. Acesso em: 20 maio 2025.

**RODRIGUES, J. P. B.; MEDEIROS, W. D. A.** Uso e ocupação do solo no município de Mossoró/RN (1998-2018). *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 8, n. 2, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID26459>.

**DUSI, L.; BUENO, L. D.** O planejamento em áreas protegidas por seu valor ambiental e as ferramentas de gestão. *Ignis*, v. 5, n. 2, p. 44-61, 2016.

**RISSI, Paula Regina; ASSIS, Letícia Cândido de; RUGGIERO, Mayara Herrmann; MOSCHINI, Luiz Eduardo.** Análise do zoneamento do plano diretor e sua relação com a fragilidade ambiental do município de São Carlos – SP. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 44, p. 35152, 2021. DOI: [https://doi.org/10.11137/1982-3908\\_2021\\_44\\_35152](https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_35152).

**COSTA, Francisco Emerson Vale et al.** A complexidade da questão dos rios urbanos nas cidades amazônicas: o caso de Belém/PA. In: **CIDADES AMAZÔNICAS: formas, processos e dinâmicas recentes na região de influência de Belém.** Belém: EDUEPA, 2021. p. 240-274.

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE.** Estimativas 2019.

**PEREIRA, F. da S.; VIEIRA, I. C. G.** Expansão urbana da Região Metropolitana de Belém sob a ótica de um sistema de índices de sustentabilidade. *Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Taubaté, v. 11, n. 3, p. 731-744, 23 jun. 2016.

**CARVALHO, Ana Carla Leite; DE MIRANDA ROCHA, Gilberto.** Análise dos riscos e da vulnerabilidade socioambiental urbana, face ao desenvolvimento desordenado e a pressão aos recursos hídricos em Belém–PA. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 4, p. 18127-18142, 2020.

**BELÉM.** Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém – Pará, 2014 a 2033.

**BRAGA, Ronaldo da Cruz; BARBOSA, André Luiz das Chagas; ALMEIDA, Laynara Santos.** Urbanização e áreas de alagamento em Belém: Estudo da bacia da Estrada Nova. *Anais do VII Congresso Brasileiro de Geógrafos*, Vitória-ES, 2014. ISBN 978-85-98539-04-1.

**PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM – PMB.** Plano Municipal de Saneamento Básico. 2020.

**SOARES, Pedro Paulo de Miranda Araujo.** A cidade e suas margens: memória e práticas da água na Bacia do Una, em Belém (PA). *Amazônica – Revista de Antropologia*, v. 13, n. 2, p. 577-607, 2021.

**ARAÚJO JÚNIOR, Antônio Carlos Ribeiro; DE AZEVEDO, Adriane Karina Amin.** Bacia hidrográfica da Estrada Nova: dinâmica física e social em Belém (PA). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 5, p. 2178-2193, 2022.

**PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM – PMB. Secretaria Municipal de Saneamento – SESAN.** Manual de Operação e Manutenção dos Sistemas de Saneamento Básico da Cidade de Belém. 2019.

**TOZI, Shirley Capela.** Conflitos socioambientais em torno dos recursos hídricos na cidade de Belém, no Estado do Pará (Brasil). *Água y territorio = Water and Landscape*, n. 15, p. 73-78, 2020.

**LEÃO, M. B. M. S.** Macrodrenagem e urbanização na Bacia da Estrada Nova: conflitos entre APP urbana e reassentamento em baixadas de Belém/PA. In: *III Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo*. Belém, 2014.

**ZALDO-AUBANELL, Q.; SERRA, I.; SARDANYÉS, J.; ALSEDÀ, L.; MANEJA, R.** Reviewing the reliability of Land Use and Land Cover data in studies relating human health to the environment. *Environmental Research*, v. 194, p. 110578, 2021.

**HUANG, Q.; LU, Y.** The effect of urban heat island on climate warming in the Yangtze river delta urban agglomeration in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 12, 2015.

**MORAES, D.; FILHO, M.** Contribuição das chuvas do período da tarde em Belém e possíveis relações com a normal climatológica. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 23, p. 18-32, 2018.

**ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S.** Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 3, p. 583-594, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160304987>.

**HE, C.; SHI, P.; XIE, D.; ZHAO, Y.** Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters*, v. 1, p. 213-221, 2010.

**XU, H.** Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematic-oriented index combination technique. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 73, p. 1381-1391, 2007.

**ALMEIDA, R. K.; SILVA, A. L. L. S.; ALMEIDA, P. M. M.; BARROS, R. S.** Estimativa de população na bacia hidrográfica da Baía de Sepetiba (RJ) através da aplicação do modelo People in Pixel. *Revista Continentes (UFRRJ)*, ano 10, n. 19, 2021.

**CHEN, Xiao-Ling; ZHAO, Hong-Mei; LI, Ping-Xiang; YIN, Zhi-Yong.** Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, v. 104, n. 2, p. 133-146, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>.

**KSHETRI, Tek.** NDVI, NDBI & NDWI calculation using Landsat 7, 8. *GeoWorld*, v. 2, p. 32-34, 2018.

**OLIVEIRA, George Luis Martins; CERQUEIRA NETO, Sebastião Pinheiro Gonçalves; SILVA, João Batista Lopes.** Avaliação das mudanças no uso e ocupação do solo do Município de Eunápolis-BA através da análise da eficiência dos índices espectrais de NDVI, NDBI e Built-Up. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 9, p. 87529-87544, 2021.