

## METODOLOGIA DE MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA EM ÁREAS ÚMIDAS: CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA UTILIZANDO ÍNDICES EM IMAGENS LANDSAT PARA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS SENSÍVEIS

*Methodology for Mapping Use and Cover in Wetlands: Automatic Classification Using Indices in LANDSAT Images to Determine Sensitive Areas*

**Gabriel Costa da Costa**

Universidade Federal do Maranhão

**André Luís Silva dos Santos**

Universidade Federal do Maranhão

**Ulisses Denache Vieira Souza**

Universidade Federal do Maranhão

**Ana Carolina Sousa Santos**

Universidade Federal do Maranhão

### RESUMO

A paisagem sempre sofreu transformações nos seus aspectos estruturais, funcionais, dinâmicos e integrativos, devido processos físicos-naturais e biológicos, que, juntam-se a intensificações oriundas das ações antrópicas, dessa forma, os procedimentos metodológicos de mapeamento dos fenômenos de transição de uso e cobertura da terra, tornam-se importantes, enquanto instrumentos de desenvolvimento de estratégias para gestão territorial. O estudo objetiva apresentar uma metodologia de mapeamento de uso e cobertura da terra em paisagens contextualizadas em regiões úmidas, por meio do empilhamento de índices em uma composição RGB, por meio de imagens orbitais da série de satélites LANDSAT. Por meio de SIG, fez-se a análise de classificação automática nas matrizes dos índices NDVI, NDWI e NDBI. Os resultados demonstram, que tal metodologia, possui aspectos positivos, referentes ao melhoramento da coleta de amostras para a classificação automática de composições RGB. Os resultados também apresentam aspectos a serem aprimorados, sobretudo a precisão da detecção e diferenciação de manchas urbanas em áreas densamente edificadas com coberturas arenosas densas. Os resultados apresentaram intensas transformações no uso e cobertura da área de estudo. Tais resultados, possuem um grande potencial para contribuições frente aos desafios da gestão territorial.

**Palavras-chaves:** Território; Satélite; Vegetação.

### ABSTRACT

The landscape has always undergone transformations in its structural, functional, dynamic, and integrative aspects due to physical-natural and biological processes which, in addition to the intensifications resulting from anthropogenic actions, the methodological procedures for mapping land use and land cover transition phenomena have gained importance as tools for the development of territorial management strategies. This study aims to present a

methodology for mapping land use and land cover in landscapes contextualized in humid regions, by stacking indices in RGB composition, using orbital images from the LANDSAT satellite series. GIS was used to analyze the automatic classification of NDVI, NDWI, and NDBI index matrices. The results show that this methodology has positive aspects in terms of improving sampling for the automatic classification of RGB compositions. The results also show areas for improvement, especially the accuracy in detecting and differentiating urban spots in densely built-up areas with dense sandy cover. The results showed intense transformations in the use and coverage of the study area. These results have great potential to contribute to the challenges of land management.

**Keywords:** Territory; Satellite; Vegetation.

## INTRODUÇÃO

O espaço, como categoria de construção e análise de conhecimento geográfico, pode ser entendido como um produto e produtor de relações e estruturas sociais vigentes (Lemos, Magalhães Junior e Wstane, 2019). O território é a base espacial de suporte a sociedade, dando -lhe parte de sua identidade, oportunidades e recursos, sendo importante em todo o processo civilizatório da humanidade, sendo composto pela natureza (paisagem) e a sociedade (Amorim, Pelegrina e Rui, 2018).

Para a compreensão da dinâmica da gestão territorial, isto é, da gerência, administração do território, a partir da perspectiva do espaço geográfico, é assumir que em um mesmo território existem diferentes níveis de escala, seja ela global ou local, de estruturas que conformam uma variedade de representações do espaço (Lemos, Magalhães Junior e Wstane, 2019).

A paisagem sempre sofreu transformações nos seus aspectos estruturais, funcionais, dinâmicos e integrativos, devido processos físicos-naturais e biológicos, que, juntam-se a intensificação oriundas das ações antrópicas (Rodríguez; Silva, 2019).

Dessa forma, os procedimentos metodológicos e técnicas de mapeamento dos fenômenos de transição e transformação da diversidade de usos e coberturas do espaço geográfico, tornam-se de suma importância, enquanto desenvolvedores de instrumentos para formações de estratégias de gestão territorial para ordenamento e identificação de áreas prioritárias para conservação e mitigação de impactos ambientais. Nesse sentido, o sensoriamento remoto se desenvolveu no meio científico sobretudo a partir da segunda metade do século XX.

O sensoriamento remoto é a “arte e a ciência de se obter informação sobre um objeto sem estar em contato físico direto com o objeto” (Jensen, 2009). Por meio de técnicas e procedimentos metodológicos do sensoriamento remoto, pode-se obter informações importantes sobre as propriedades biofísicas e de uso e cobertura do espaço geográfico, dessa forma, torna-se importante, na produção e análise de resultados que subsidiam as discussões em torno da gestão territorial eficiente.

O objetivo do estudo é apresentar uma metodologia de mapeamento de uso e cobertura da terra em paisagens contextualizadas em regiões

úmidas, por meio do empilhamento/cruzamento de três índices em uma composição RGB, calculados por meio de imagens orbitais da série de satélites LANDSAT, em um recorte espaço-temporal de 1984 a 2023, e pontuar aspectos positivos e negativos dos resultados obtidos.

Estudos dessa natureza, são essenciais, como forma de apresentar e discutir os melhores e mais eficazes processos de mapeamento de uso e cobertura em regiões de macro escala, com intensa homogeneidade, em que os processos de classificação e zoneamento do território podem apresentar obstáculos, dada a complexidade dos recursos disponíveis para usufruto do meio científico e ao fato de que em alguns procedimentos de classificações automáticas há incidência de erros por conta da reflexão de objetos na superfície.

## **METODOLOGIA**

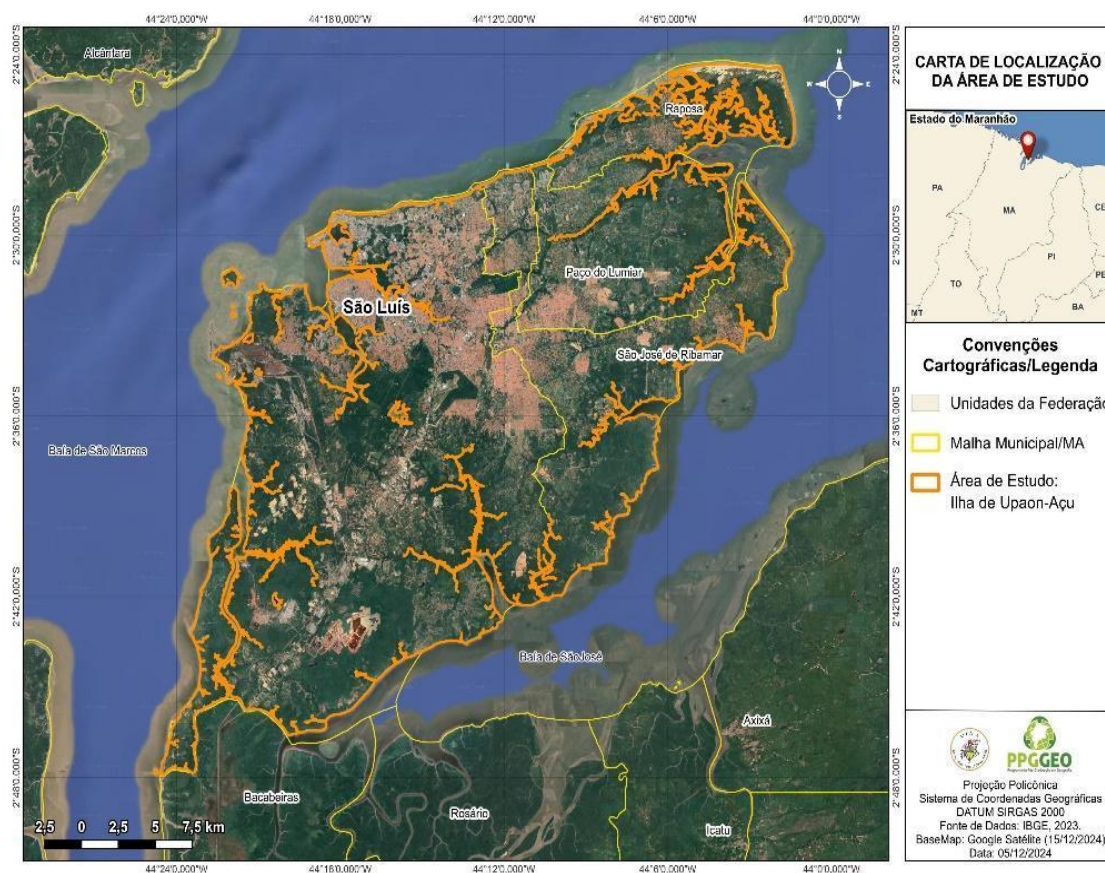
### **Área de Estudo**

O Golfão Maranhense, localiza-se no extremo norte do Estado do Maranhão, em um contexto de regiões tropicais úmidas entre as latitudes de 15° N e 15° S. Ambientes úmidos como o Golfão Maranhense possuem grande importância ambiental, devido ao seu potencial hídrico de água doce e a presença de partículas e solutos descarregados no oceano (Teixeira e Souza Filho, 2007).

A área de estudo (Figura 1) compreende uma conjuntura insolar do arquipélago do golfão maranhense, sendo a principal Ilha, de análise dos resultados, a Ilha de Upaon-Açu (Ilha do Maranhão), com 896,72 km<sup>2</sup> de extensão, onde estão os territórios municipais de São Luís (capital político/administrativa do Estado do Maranhão), São José de Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar, possuindo a maior mancha urbana do Estado do Maranhão e integrando a RMGSL, Região Metropolitana da Grande São Luís, cujo Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI), está em atual processo de elaboração.

Outras duas Ilhas que se destacam, são, a Ilha de Tauá-Mirim, ao sul da Ilha de Upaon-Açu, com 28,03 km<sup>2</sup> de extensão, pertencente aos limites municipais de São Luís, e a Ilha de Curupu, no extremo norte da Ilha de Upaon-Aço, com 23,55 km<sup>2</sup>, pertencente aos limites municipais da Raposa.

O arquipélago do Golfão Maranhense, que compreende um trecho de um dos maiores corredores de cobertura de manguezais do mundo, no sistema costeiro norte/nordeste do país, é composto por duas grandes baías, sendo elas, a baía de São Marcos e a baía de São José, separadas pelo conjunto de Ilhas que a compõem, nessa região, encontram-se um complexo e denso sistema estuarino, incluindo os estuários dos maiores sistemas hidrográficos do estado do Maranhão, a exemplo o Rio Mearim, que desagua na baía de São Marcos, e o Rio Itapecuru, que deságua na baía de São José. O Golfão Maranhense integra um trecho do sistema costeiro norte/nordeste do Brasil.

**Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo**

**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2025.

De acordo com a base de dados do mapeamento de geodiversidade da Ilha do Maranhão (CPRM, 2020), destacam-se, na Ilha de Upaon-Açu, as unidades de relevo dos tabuleiros e tabuleiros dissecados, na porção central da Ilha, em transição com as planícies marinhas e fluviomarinhas do sistema costeiro da Ilha, onde localizam-se os principais leitos de suas bacias costeiras e seus principais sistemas estuarinos. Destacam-se as unidades litológicas grupo Barreiras e Itapecuru.

É importante frisar, que a delimitação das Ilhas, adotada no estudo em questão, compreende o recorte de Ilhas do território brasileiro apresentado na base cartográfica contínua (BCC) do IBGE, de 2023, com pequenas correções no que diz respeito a sua morfologia no sistema costeiro, feitas com base nas poligonais de drenagem bifilar do mapeamento de geodiversidade da Ilha do Maranhão (CPRM, 2020). Tal correção, foi de suma importância para os objetivos propostos na pesquisa, e dessa forma, chegou-se aos valores de extensão total da Ilhas, apresentado anteriormente.

### **Procedimentos Metodológicos de processamento digital de imagem**

Todos os procedimentos e análises com dados geoespaciais, bem como a elaboração de produtos cartográficos presentes na pesquisa, foram feitas a partir do software GIS (*Geographic Information System*) QGIS 3.34.11, sendo essa, a principal ferramenta dos procedimentos

metodológicos, para sistematização dos resultados da pesquisa e subsídio das discussões.

Para a elaboração da classificação de uso e cobertura (FAGUNDES E ALIXANDRINI JÚNIOR, 2022) da área de estudo, fez-se necessário, a aquisição de imagens orbitais ópticas, por meio da plataforma do *United States Geological Survey* (USGS), *Earth explorer*. Essa plataforma possui o catálogo de toda a série histórica de imagens oriundas da série de satélites LANDSAT, com bandas com resolução espacial de 1 arc/seg (30m). Fez-se a aquisição das seguintes imagens, cujo detalhes estão apresentados no quadro 1, levando em consideração o recorte espaço-temporal entre 1984 e 2023.

**Quadro 1** - Imagens Orbitais Utilizadas na Pesquisa

| Satélite/Sensor | Data da Imagem | Orbita/Ponto |
|-----------------|----------------|--------------|
| LANDSAT 4-5 TM  | 20/06/1984     | 220/062      |
| LANDSAT 4-5 TM  | 14/08/1984     | 221/062      |
| LANDSAT 4-5-TM  | 11/06/2004     | 220/062      |
| LANDSAT 4-5-TM  | 02/06/2004     | 221/062      |
| LANDSAT 8-OLI   | 07/05/2023     | 220/062      |
| LANDSAT 8-OLI   | 06/05/2023     | 221/062      |

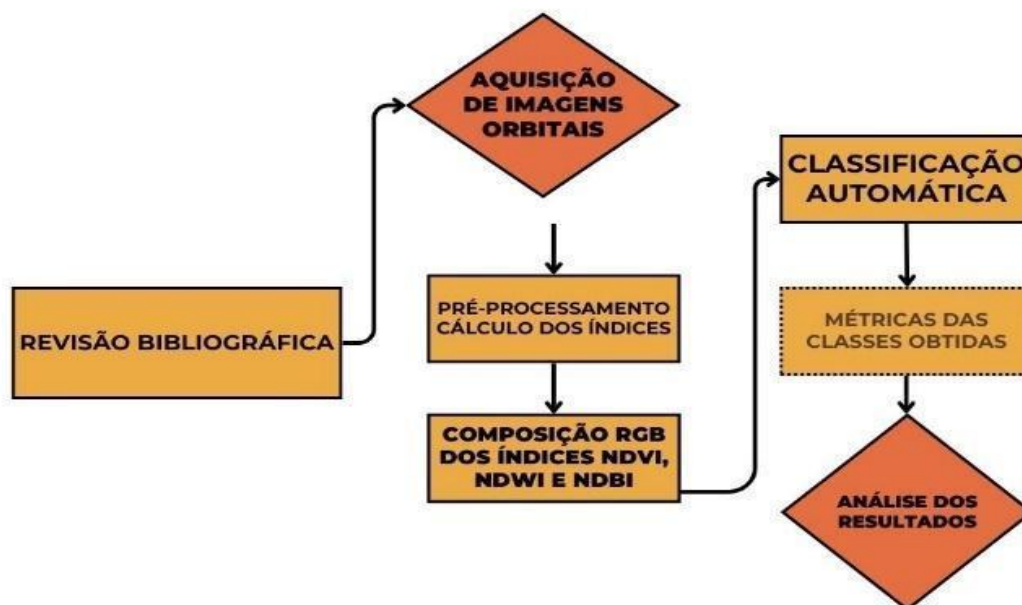
Fonte: Dados da Pesquisa, 2025.

No que se refere a precisão cartográfica dos dados processados com imagens orbitais LANDSAT, de acordo com Boggione, Silva e Carvalho Junior (2023) mapeamentos feitos com escala acima de 1:100.000 são adequada para trabalhos de mapeamento envolvendo imagens orbitais com resolução espacial de 30m ou superior, até 1:60.000, levando em consideração todos os procedimentos técnicos de imageamento por parte dos sensores orbitais embarcados em satélites e as questões pertinentes ao EIFOV (*Effective Instantaneous Field of View*).

Após a aquisição, fez-se o pré-processamento das imagens, que incluiu a composição de um mosaico de cada ano, respectivo das órbitas/pontos 220/062 e 221/062, que abrangem a área de estudo, e o processamento dos índices utilizados, são eles: NDWI de Gao (1996), NDVI de Rouse *et al* (1974), e o NDBI por Zai, Gao e Ni (2003), seguido da composição RGB desses três índices, a classificação automática e as análises das métricas dos resultados obtidos no mapeamento de classificação automático. Segue abaixo o fluxograma (Figura 2) resumindo

que apresenta as etapas dos procedimentos metodológicos do processamento digital das imagens.

**Figura 2 - Fluxograma dos Procedimentos da Pesquisa**



Fonte: Dados da Pesquisa, 2025.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Aplicação do método de empilhamento de índices para classificação automática

Ao serem observadas visualmente, as imagens orbitais da área de estudo, uma região tropical úmida, percebe-se, sobretudo nas faixas de transição entre os remanescentes de formações vegetais úmidas para as áreas mais secas, uma intensa homogeneidade visual, que podem provocar dificuldades durante o processamento da classificação automática. Uma vez que o procedimento de classificação automática depende de um nível de exatidão e acurácia de amostras coletadas na matriz da classificação, e que alta variedade e complexidade no ND do dado matricial pode ocasionar inconformidades na classificação.

Dessa forma, com base nas ponderações de Xu (2007) e no estudo de avaliação da precisão temática de composições de índices com imagens ópticas, de Moreira Filho e Tavares Junior (2016), fez-se a experimentação de uma classificação automática, utilizando uma composição RGB formada por índices, em ambiente GIS, utilizando o método de classificação *Random Forest* (BREIMAN, 2001), por meio dos complementos SCP e *Dzsetsaka*. Ambos os complementos, que permitem, no software de código livre, QGIS 3.34.11, o processamento de classificação automática.

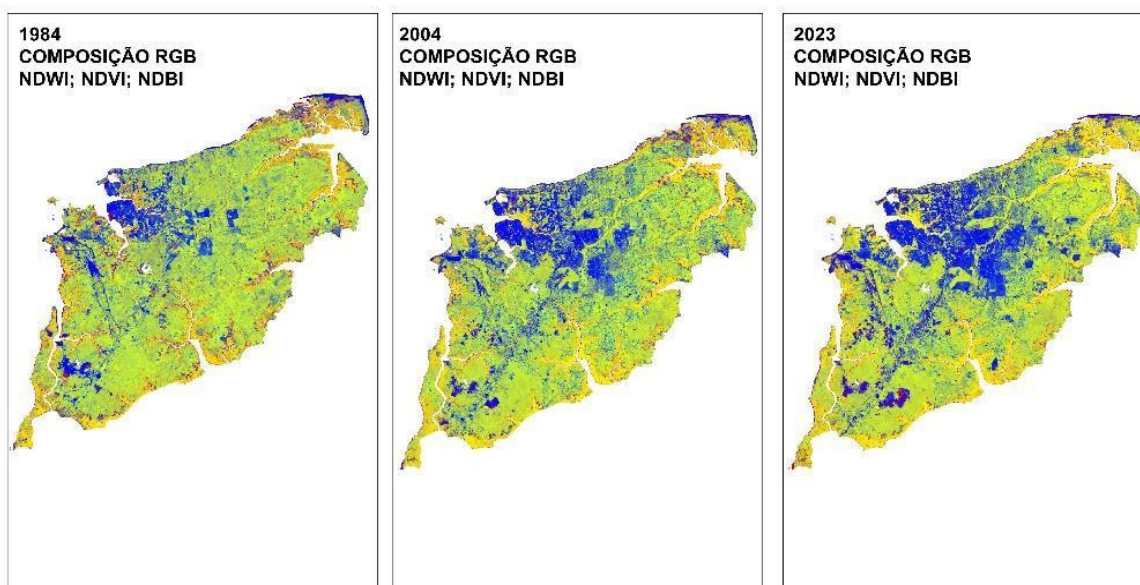
Os índices físicos em imagens orbitais são geralmente aplicados e analisados individualmente, e cada um possui objetivos diferentes. O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), cuja fórmula é:  $(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$ , apresentado por Rouse *et al.* 1974, originalmente, em um relatório de monitoramento de sistemas de vegetação nas Grandes Planícies, da NASA, em 1974, tem o objetivo de realizar medições quantitativas relacionadas a condições da vegetação, o índice destaca no dado matricial, a ocorrência de alta densidade de formações vegetais.

O índice de água por diferença normalizada (NDWI), cuja fórmula é:  $(\text{NIR} - \text{SWIR1}) / (\text{NIR} + \text{SWIR1})$ , apresentado por Gao (1996), na *Remote Sensing of Environment*, objetiva destacar no dado matricial, as áreas com maior presença de vegetação com água, ou seja, áreas úmidas, com solo encharcada, geralmente associadas a coberturas de manguezais ou remanescentes florestas com alta umidade. Nesse aspecto, ele se sobressai em relação ao NDVI, pois o NDWI de Gao propõe um realce mais gradual em relação a diferentes tipos de formações vegetais, tornando-se sensível a mudanças no conteúdo de água líquida das copas das coberturas vegetais.

Já o NDBI, cuja fórmula é:  $(\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR})$ , é o mais recente dos três, propõe destacar, no dado matricial, as áreas intensamente urbanizadas e edificadas, ausentes de umidade, apresentado por Zai, Gao e Ni (2003), na *International Journal of Remote Sensing*. Como será visto posteriormente, o NDBI possui uma relação de inversão na fórmula, em relação ao NDWI de Gao, evidenciando que ambos tratam de destacar alvos com respostas espectrais completamente inversas, o oposto de áreas encharcadas, com alta umidade e presença de água no solo. Áreas essas, associadas a solos impermeáveis.

Esses índices citados, foram os três índices selecionados para a composição RGB do procedimento de classificação automática, uma vez que cada um deles destaca áreas de interesse para a classificação da área de estudo, o NDVI destaca as áreas com densa formação vegetal, o NDWI de Gao apresenta um realce mais gradual e detalhado para diferentes tipologias de formações vegetais e o NDBI identifica áreas edificadas, com solos impermeáveis, característicos de áreas urbanizadas. A Figura 3 apresenta o resultado obtido utilizando os três índices e os espacializando em uma composição RGB.



**Figura 3** - Composição R(NDBI) G(NDVI) B(NDWI de Gao) em imagens LANDSAT

Fonte: Dados da Pesquisa, 2025.

O objetivo do empilhamento dos índices foi obter um dado matricial, com três bandas, na composição RGB, que realçasse, de forma precisa, cinco principais classes de uso e cobertura, sendo elas: 1 Água (Cobertura de Elementos hidrográficos); 2 - Áreas úmidas (Manguezais e pequenos núcleos úmidos em fragmentos florestais); 3 - Formações Vegetais (Elementos de cobertura natural associados a florestas densas, abertas e vegetação rasteira); 4 - Áreas Urbana Densidade Moderada (solo exposto, edificações pouco concentradas); 5 - Área Urbana de Alta Densidade (Edificações e Uso denso). A figura 4 a seguir apresenta aos tons utilizados como chave de interpretação para cada uma das classes citadas.

**Figura 4** - Chave de Interpretação das classes de uso e cobertura na composição RGB dos índices

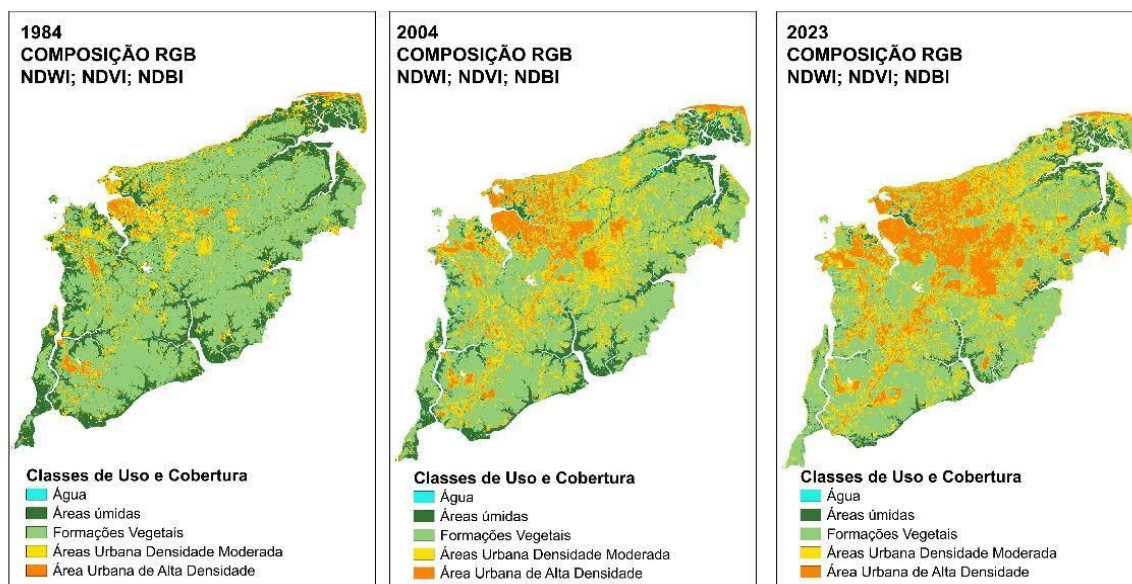
Fonte: Dados da Pesquisa, 2025.



O realce com alto nível de acurácia visual, é imprescindível para o procedimento de coleta das amostras e treinamento do *script* de classificação automática, uma vez que, a precisão na classificação, depende da qualidade das amostras apresentadas ao *script*. Com o processamento da composição R(NDWI) G(NDVI) B(NDBI), dos índices respectivos, pode-se ter uma percepção mais apurada do realce de cada classe que pretendeu-se classificar, a figura 3 apresenta os resultados visuais da composição RGB dos índices, nos anos de 1984, 2004 e 2023.

Com base nessas composições, fez-se a coleta de cinco amostras para cada uma das cinco classes, optou-se por cinco amostras de cada classe, para não correr o risco de ocasionar inconformidades no resultado da classificação, uma vez que, a classificação automática pode confundir-se com uma quantidade alta de amostras, sobretudo em regiões homogêneas. Por meio do algoritmo de classificação *Random Forest*, obteve-se a série histórica de mapeamento de uso e cobertura no arquipélago do Golfão Maranhense, como apresenta a figura 5.

**Figura 5:** Classificação Automática de Uso e Cobertura com Base na Composição RGB dos Índices



**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2025.

Após o processamento e classificação de uso e cobertura, fez-se a devida supervisão dos resultados obtidos, correções nas amostras foram necessárias durante o processamento da classificação referente ao ano de 2023, possivelmente, devido ao avanço nas propriedades radiométricas entre os sensores TM e OLI da série LANDSAT, uma vez que, o sensor TM opera em uma qualidade radiométrica de 8 bits, possuindo maiores ruídos, enquanto que o sensor OLI opera com uma qualidade radiométrica de 12 bits, diminuindo os ruídos e tornando as respostas das bandas mais sensíveis. Portanto, ao realizar mapeamento de uso e cobertura utilizando composição RGB com índices, gerados a partir de produtos do sensor OLI, as amostras necessitam ser mais precisas e claras, no que diz respeito à acurácia visual do pesquisador que realiza a classificação.

Em algumas classificações automáticas há incidência de erros por conta da reflexão. Inconformidades na classificação foram identificadas, sobretudo para o ano de 2023, referentes a coberturas arenosas, regiões com deposição intensa de material arenoso, como no caso da cobertura de dunas da Ilha de Curupu, no extremo norte da Ilha de Upaon-Açu, no município da raposa. Isso deve-se possivelmente ao NDBI, que confunde seus valores mais altos (próximos a 1), com estas justas coberturas. Apesar do NDBI ser considerado pela literatura científica como um excelente instrumento de quantificação de mancha urbana, nesse estudo em questão, aplicado em uma região complexa, com presença de áreas úmidas, formações vegetais densas e abertas, áreas urbanas e cobertura arenosa, seus valores mais altos confunde-se entre manchas arenosas densas e áreas de edificação.

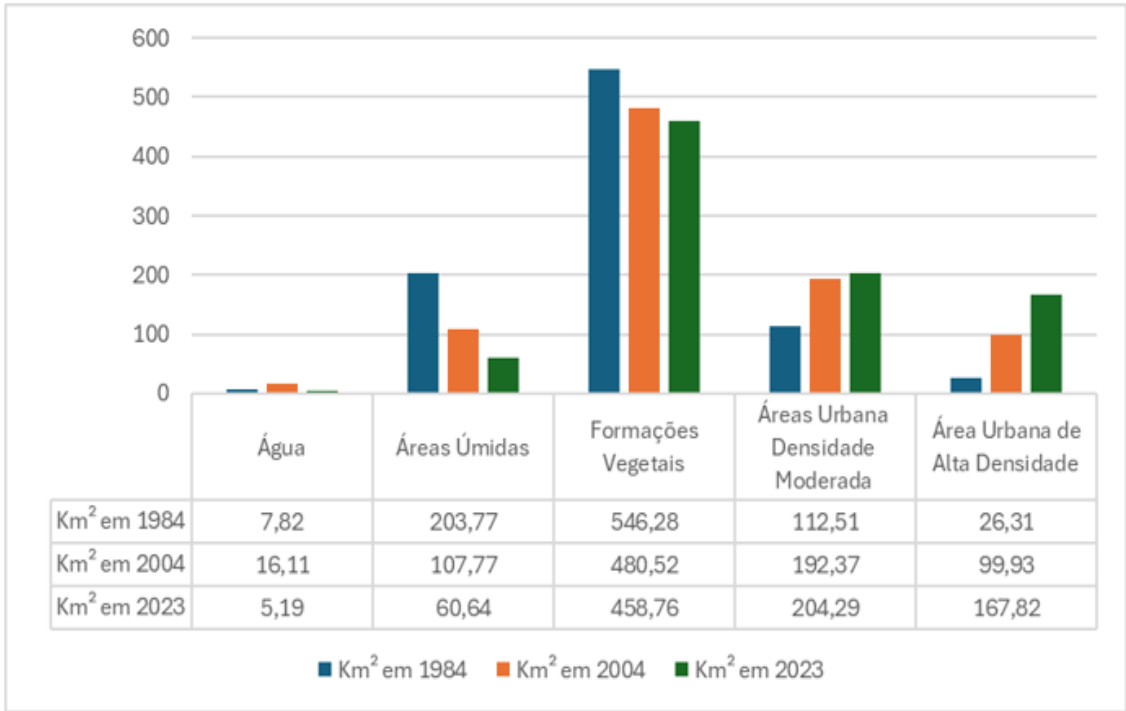
No entanto, essa questão não compromete o mapeamento no que tange a área com foco principal na pesquisa, a Ilha de Upaon-Açu, pois o fenômeno da deposição intensa de material arenoso, ocorre de uma forma mais acentuada e significativa para a escala de análise, na Ilha de Curupu, não sendo uma inconformidade significativa na região que mais interessa para as discussões sobre os processos de transformação da paisagem e a relevância desses processos para ações, planos e estratégias relacionados a gestão territorial. Além do fato de que a Ilha do Curupu, não está entre os núcleos de maiores transformações nas tipologias de uso e cobertura ao longo das últimas décadas, no golfo maranhense, e tal questão, pode ser manualmente corrigida pós processamento, via supervisão, e validação da classificação.

No aspecto do melhoramento do realce, de cada classe, de fato, a composição RGB dos índices mostrou ser uma melhor opção para os procedimentos de classificação automática, uma vez que ela torna mais eficiente a fotointerpretação dos alvos na superfície referentes a cada classe, tornando a coleta de amostras mais precisa, do que a utilização de composição RGB com as próprias bandas (faixas espectrais) dos produtos dos sensores.

### **Análise dos Resultados do Mapeamento de Uso e Cobertura**

Com base nos resultados da classificação de uso e cobertura obtida, o gráfico 1 apresenta a extensão total de cada uma das classes, em km<sup>2</sup>, e seus respectivos anos, no conjunto de Ilhas do Golfo Maranhense.

**Gráfico 1** - Área Total das Tipologias de Uso e Cobertura na Área de Estudo



Fonte: Dados da Pesquisa, 2025.

A partir deste gráfico, é possível levantar alguns aspectos importantes das transformações ocorridas na área de estudo. A classe 1, água, refere-se a conjuntura de áreas de corpos hídricos detectados na área de estudo, com um considerável crescimento entre 1984 e 2004, 7,11 km² para 16,11 km². Esse crescimento deve-se ao fato de surgimento e expansão de estruturas de lagos e barragens na porção sul do município de São Luís, região essa relacionada aos processos de expansão industrial na Ilha do Maranhão, a recaída desse valor em 2023, possivelmente está relacionada ao fato de que a precisão radiométricas do sensor OLI é maior do que a do sensor TM (1984 e 2004), e ele desconsiderou as regiões de barragem como sendo corpos hídricos, devido ao seu alto potencial de material de rejeitos e sedimentos.

As áreas úmidas apresentaram perda significativa, em 1984, eram 203,77 km² de remanescentes florestais úmidos, incluindo cobertura de manguezal e núcleos de formações vegetais densas, até 2023, essas coberturas sofreram uma redução drástica, para 60,64 km², uma redução de aproximadamente 70%, dessa forma, pode-se afirmar que as Ilhas do Golfão Maranhense, perderam nas últimas cinco décadas, mais da metade de seus refúgios e remanescentes detectados pelos índices como sendo áreas úmidas.

As formações Vegetais em geral, não sofreram redução tão drástica, mas ainda assim, computam uma redução de aproximadamente 16,02%. Uma constatação interessante, observada durante a supervisão da classificação realizada na pesquisa, é que essa redução também pode estar relacionada a transformação de áreas úmidas em áreas de formação vegetal mais seca, ou seja, parte do percentual de área úmida perdida,

passou por processos relacionados a desertificação/alteração das condições edafoclimáticas, e a leitura dos índices atribuiu a áreas outrora (em 1984) como sendo de alto índice de umidade, a condição de formações vegetais relacionadas a outras tipologias não úmidas.

As últimas duas classes, relacionadas a densidade da mancha urbana, áreas edificadas, apresentou altos níveis de crescimento, sobretudo a classe de área urbana de alta densidade, que saltou de 26,31 km<sup>2</sup> em 1984 para mais 167,82 km<sup>2</sup> em 2023, apresentando um aumento percentual de 537%.

Esse crescimento de mancha urbana, deve-se também ao fato do crescimento de infraestrutura socioeconômica e imobiliária no sentido leste da Ilha de Upaon-Açu, do centro comercial de São Luís, na Praia Grande, sistema costeiro da baía de São Marcos, a sede municipal do município de São José de Ribamar, no sistema costeiro da baía de São José, um corredor de crescimento urbana que se destaca na conjuntura das dinâmicas espaciais das mudanças na paisagem da Ilha do Maranhão.

Em 1970, aponta-se obras de aterramento de igarapé, criação de lagoa, e alterações significativas de construção de vias importantes de conexão para mobilidade entre o centro comercial de São Luís e o sistema costeiro das praias ao norte da Ilha do Maranhão. Mudanças intensas no traçado de mobilidade da Ilha. Entre 1970 e 2000, ocorre em São Luís, um processo de urbanização modernista influenciado por um impulso econômico incentivado pelo Estado, associado à industrialização, onde captaram-se fluxos migratórios em decorrência dos projetos industriais daquele período (Santos, Hardt e Hardt, 2023).

Na década de 1990 a população do município mais importante político-administrativamente, São Luís, apresentou percentual de crescimento de 209,6%. Em 2006, são instituídos os planos diretores municipais dos municípios da área de estudo, incluindo o da capital São Luís, preservando sua função como principal instrumento normativo e orientador da política de desenvolvimento urbano e rural, estando embasado na sustentabilidade socioambiental. Em 2015, foram realizadas audiências públicas com o objetivo de discutir nova revisão do plano diretor de São Luís, em um contexto em que estavam em altas as discussões sobre os índices de crescimento urbano (Santos, Hardt e Hardt, 2023).

A área de estudo possui importantes unidades de conservação, tanto de proteção integral como de uso sustentável. A Área de Proteção Ambiental (APA) Upaon-Açu Piritiba, cujo traçado corta o litoral leste da Ilha do Maranhão e estende-se pelo sistema costeiro oriental do Estado do Maranhão, APA do Itapiracó, atualmente inserida em um contexto de constante pressão da mancha urbana no entorno, detectada na classificação realizada na pesquisa, sendo um remanescente florestal cuja a borda encontra-se enquadrada na classe 5 do mapeamento apresentado, A Estação Ecológica Sítio Rangedor, a APA do Maracanã, o importante parque Estadual Bacanga, que abriga a reserva do Batatã a o alto curso da bacia hidrográfica do Rio Bacanga, cuja margem do estuário corresponde à o que é atualmente o centro comercial/histórico de São Luís.

Dessa forma, vale destacar a relevância e a riqueza de análises para a gestão territorial, que podem ser subsidiadas por procedimentos metodológicos apresentados na pesquisa em questão. A discussão sobre a eficiência de métodos de mapeamento das transformações das tipologias de uso e cobertura, desencadeiam discussões sobre os instrumentos que subsidiam a gestão territorial.

É importante considerar instrumentos como esses, no planejamento de estratégias, nos planos diretores municipais, nos planos de arborização, no PDDI (Plano Diretor de Desenvolvimento da Região Metropolitana Grande São Luís), e nas ações de mitigação de impacto ambiental e dos efeitos das mudanças climáticas. Por meio de outros procedimentos, como a análise de conectividade entre fragmentos de coberturas naturais e análises métricas, é possível mensurar o efeito de tais modificações apresentadas nesses dados, para o meio biótico, potencial de fluxo que espécies têm na área de estudo.

A pesquisa em questão não objetiva esgotar as discussões e análises em torno dos dados oriundos do procedimento metodológico de uso e cobertura apresentado, mas enfatiza a importância de estratégias metodológicas de complementação, mapeamento de ilhas de calor, de alterações em fatores atmosféricos e definição de áreas prioritárias para estudos em escalas mais detalhadas.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O Procedimento metodológicos de mapeamento de uso e cobertura de paisagens, contextualizadas em regiões úmidas, apresentado no estudo, possuem diversos aspectos positivos, no que tange o melhoramento da compreensão visual e coleta de amostras para a classificação automática de composições RGB, e apresenta uma proposta relevante de efetuar a classificação com base em índices que se propõem a destacar alvos de interesse para análises e discussões de desenvolvimento de estratégias e instrumentos subsidiarem a gestão territorial.

Os resultados também apresentam alguns aspectos que podem ser mais bem discutidos e aprimorados, sobretudo no que tange a precisão da detecção e diferenciação de manchas urbanas em áreas densamente edificadas com coberturas arenosas densas, como as dunas na Ilha de Curupu, no município da Raposa.

A área de estudo, de 1984 a 2023 perdeu mais da metade de suas coberturas vegetais úmidas enquanto a mancha de áreas antropizadas cresceu consideravelmente. Tais resultados e suas análises detalhadas, possuem um grande potencial para contribuições frente aos desafios da gestão territorial, implantação de ações, planos e instrumentos que visem um eficiente ordenamento territorial face a preservação de recursos e patrimônio natural, a paisagem.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, A., PELEGRINA, M. A., JULIÃO, R. P. Gestão Territorial e seus desafios. In: Cadastro e gestão territorial: uma visão luso-brasileira para a implementação de sistemas de informação cadastral nos municípios [online]. São Paulo: **Editora Unesp Digital**, 2018, pp. 15-19. ISBN: 978-85-9546-282-3.

BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, 45, 5-32, 2001.

FAGUNDES, W.S. ALIXANDRINI JÚNIOR, M. J. Evolução das Técnicas de Classificação de Imagens do Sensoriamento Remoto Utilizadas na Produção Científica Brasileira. São Paulo, UNESP, **Rev. Geociências**, v. 41, n. 3, p. 593 - 604, 2022.

GAO, B.C. NDWI A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996.

JENSEN, J.R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. **Ed. Parêntese**. Tradução da Segunda Edição. University of South Carolina. São José dos Campos, SP, Brasil, 2009.

LEMONS, R.S. MAGALHÃES JUNIOR, A. P. WSTANE, C. Planejamento e gestão territorial: reflexões a partir da modernidade, da ciência e da participação social. **Rev. Caderno de Geografia**, v.29, n.58, p. 726-745, 2019. ISSN 2318-2962.

MOREIRA FILHO, J. C. C. J. R. TAVARES JUNIOR. Avaliação da precisão temática de composições de NDBI, NDVI, NDWI. **Rev. Bras. Geom.**, v.4, n. 1, p.3-14, jan/abr. 2016.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. Teoria dos Geossistemas o legado de Sochava: fundamentos teórico-metodológicos. Fortaleza: **Editora UFC**, 2019.

ROUSE, J. W. HAAS, J. R. H. WELL, J. A. DEERING. and D. W. Monitoring Vegetation Systems in The Great Plains With ErtS. **Remote Sensing center**, Texas A&M hivemity, Colfegp Station, Texas.

SANTOS, S.R. HARDT, L.P.A. HARDT, C. Aspectos didáticos da evolução urbana de São Luís, Maranhão, Brasil. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v.15, n.10, p. 11296-11322, 2023.

TEIXEIRA, S.G. SOUZA FILHO, P. W. M. Mapeamento de Ambientes Costeiros Tropicais (Golfão Maranhense, Brasil) Utilizando Imagens de Sensores Remotos Orbitais. **Revista Brasileira de Geofísica**. (2009) 27(Supl. 1): 69-82.



XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27:14, 3025-3033, 2006.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index (NDBI) in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 3, p. 583-594, 2003.

**Contato dos autores/as:**

**autor:** Gabriel Costa da Costa

**e-mail:** gabrielcosttac@gmail.com

**autor:** André Luís Silva dos Santos

**e-mail:** andresantos@ifma.edu.br

**autor:** Ulisses Denache Vieira Souza

**e-mail:** ulisses.denache@ufma.br

**autora:** Ana Carolina Sousa Santos

**e-mail:** acssagro@gmail.com

Manuscrito aprovado para publicação em: 26/11/2025