

CLASSIFICAÇÃO SEMIAUTOMATIZADA UTILIZANDO IMAGEM SENTINEL - 2 PARA O MAPEAMENTO DE FLORESTA DE MANGUE NA MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA

Patricia Mamede da Silva¹, Camila Lauria Zenke da Cruz², Adriano de Oliveira Vasconcelos³, Luiz Landau⁴.

^{1,2,3,4}Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia – LAMCE/COPPE/UFRJ, Bloco I-2014, Cidade Universitária – 21.941-915 ¹patmamed@lamce.coppe.ufrj.br, ²camilalzenke@gmail.com; ³adriano@lamce.coppe.ufrj.br e ⁴landau@lamce.coppe.ufrj.br

RESUMO

Os manguezais são importantes ecossistemas, ricos em biodiversidade e recursos naturais que são berçários para variadas espécies marinhas e a base da subsistência de muitas comunidades tradicionais. Neste contexto, buscou-se compreender a distribuição espacial dos manguezais de macromaré, em um trecho de 5.224 km² localizado na Costa nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, através da utilização de Imagem Sentinel-2 e classificação não supervisionada com o algoritmo ISODATA, que apresentou resultados satisfatórios na identificação e individualização da classe mangue. Este estudo foi realizado no âmbito do Projeto Costa Norte, que visa o desenvolvimento de metodologias para o mapeamento dos ecossistemas costeiros e usos do solo das Bacias do Pará-Maranhão e Foz do Amazonas.

Palavras-chave — Sensoriamento Remoto, Manguezal, Geoprocessamento, Amazônia, Meio Ambiente.

ABSTRACT

Mangroves are one of the most important ecosystems, being rich in biodiversity and natural resources that are a cradle for many marine species and a base of many subsistence traditional folk. This work aimed to understand the spatial distribution of macro-tide mangroves, on a 5,224 km² area located on the northeast coast of Pará and northwest of Maranhão, through the use of Sentinel-2 Image and unsupervised classification with the ISODATA algorithm, which presented satisfactory results in identification and individualization of the mangrove class. It was carried out within the framework of the Costa Norte Project, which aims to develop methodologies for the mapping of coastal ecosystems and land uses of the Pará-Maranhão and Foz do Amazonas basins.

Key words — Remote Sensing, Mangroves, Geoprocessing, Amazon, Environment.

1. INTRODUÇÃO

O manguezal, por ser um dos ecossistemas mais importantes em termos de biodiversidade e serviços ambientais, ganha destaque no atual debate socioambiental do país. Seu reflexo alcança temas sociais e econômicos que envolvem questões como o uso sustentável e a proteção – integral ou com manejo – de seus recursos naturais [1] [2] [3]. O estágio atual de conservação desse bioma é sensível, tendo em vista que se encontra cada vez mais vulnerável às intervenções antrópicas e mudanças climáticas.

De acordo com o Atlas de Manguezais [4], o Brasil apresenta grande extensão de áreas de mangue (13.400 km²), com destaque para os manguezais de macromaré da costa nordeste do Pará e noroeste do Maranhão (Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia – CMMA), que se estendem da Baía de Marajó (PA) até a Baía de São José (MA). A CMMA possui 650 km de extensão e sua distribuição se dá de forma irregular, endentada e com a formação de inúmeros estuários [5], portanto rica em biodiversidade e recursos naturais.

Apesar de sua importância, a CMMA é um ecossistema vulnerável a uma série de ameaças, como a perda e fragmentação da cobertura vegetal e a deterioração da qualidade dos habitats aquáticos; devido, sobretudo, à ocupação desregular, poluição e às mudanças na hidrodinâmica. Esses processos acarretam à menor oferta de recursos dos quais muitas comunidades tradicionais dependem diretamente para subsistência [6].

Neste contexto, o mapeamento do manguezal através de Sensoriamento Remoto, aliado a Sistema de Informações Geográficas, pode contribuir não só para a identificação e caracterização da sensibilidade do ecossistema, mas também para a elaboração de estratégias de recuperação e manejo das florestas de mangue, bem como subsidiar a execução de projetos, ações e medidas voltadas para o planejamento ambiental, considerando as limitações e potencialidades dos recursos naturais e resultando em uma melhor qualidade de vida para a população. Dessa forma, este estudo tem como objetivo identificar a distribuição espacial dos manguezais de macromaré, através de técnicas semiautomatizadas de classificação utilizando imagem Sentinel - 2.

Este estudo foi realizado no âmbito do Projeto Costa Norte e compreende a uma das etapas de integração de

resultados, visando o desenvolvimento de metodologias para o mapeamento dos ecossistemas costeiros e usos do solo e a definição da vulnerabilidade ambiental das florestas de mangue das Bacias do Pará-Maranhão e Foz do Amazonas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

A pesquisa foi conduzida para um trecho de 5.224 km² localizado na Costa nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, onde se encontram os manguezais de macromaré, os quais estão inseridos na região conhecida como Margem Equatorial Brasileira, conforme Figura 1.

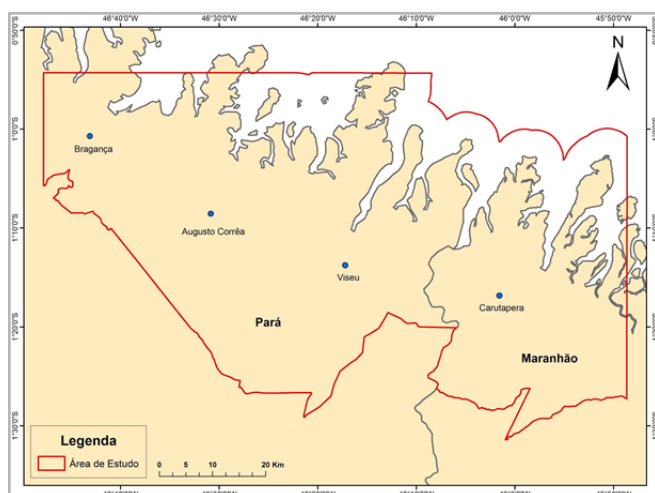


Figura 1. Localização da Área de Estudo.

A área de estudo compreende aos municípios de Bragança (PA), Augusto Corrêa (PA), Viséu (PA) e Carutapera (MA). Trata-se de uma região que apresenta fisiografia com baixo relevo, alta densidade de drenagem e processos ativos de erosão, sedimentação e neotectônica. A CMMA está sujeita a um regime de macromarés semidiurnas, podendo atingir até 4m de variação; o clima é quente e úmido, com estação seca (julho a dezembro) e chuvosa (janeiro a maio) bem definidas, com precipitação média anual variando de 2500 a 3000 mm e temperatura média em torno de 26°C [5].

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Sentinel-2

A imagem do sensor Sentinel-2 utilizada no presente estudo foi adquirida através da Agência Espacial Européia (ESA) (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), cujo satélite foi desenvolvido no quadro do programa da União Européia Copernicus [7] [8] [9] e conta com instrumentos de captura multiespectral. A cena datada em 12/06/2018 foi orientada ao Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000; apresenta Nível - 1C de processamento - correções

atmosférica e geométrica - e 12 bandas multiespectrais com resoluções espaciais de 10m, 20m e 60m.

2.2.2 Índice de Vegetação

A utilização do índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) no mapeamento de floresta de manguezal tem o objetivo de realçar a contribuição espectral da vegetação verde, bem como reduzir a influência da resposta do solo, da vegetação senescente, da atmosfera e do ângulo solar. Sabe-se que a vegetação absorve maior energia na faixa da luz vermelha (665nm), e apresenta maior reflectância na faixa do infravermelho próximo (NIR - com comprimento de onda de 842nm). No sensor Sentinel - 2, essas duas faixas do espectro correspondem, respectivamente, às Bandas 04 (*Red*) e 08 (*NIR*).

Para geração do índice de vegetação NDVI, utilizou-se as bandas *Red* (04) e *NIR* (08), conforme expresso pela Equação 1.

$$NDVI = \frac{NIR - VERM}{NIR + VERM} \quad \text{Equação 1}$$

Esta fórmula resultará em valores entre -1 e 1, onde quanto mais próximo de 1, maior a densidade da cobertura vegetal, ou seja, ela apresenta-se em seu estágio denso, úmida e bem desenvolvida [10].

2.2.3 Algoritmo ISODATA

Para esta abordagem, convencionou-se o uso do classificador ISODATA, o qual identifica padrões típicos nos níveis de cinza, denominados *clusters*, que são classificados pela análise de agrupamentos (*cluster analysis*) [11] [12]. Neste caso, o usuário determina o número de classes e a quantidade de iterações, bem como o desvio padrão, o erro de distância mínima e outros parâmetros, para alcançar a classificação desejada. Ressalta-se que este algoritmo é muito sensível a esta configuração, podendo gerar classificações muito distintas quando são realizados diferentes testes para um mesmo conjunto de dados. No presente estudo, optou-se pelo método de classificação não-supervisionada.

2.3 Classificação da Imagem Sentinel-2

Para o início deste processo, tornou-se necessário como procedimento preliminar, a conversão radiométrica de 16 *bits* para 8 *bits* para todas as bandas da imagem Sentinel-2, visando a não sobrecarga do sistema para o processamento. Em seguida, realizou-se o cálculo do índice de vegetação (NDVI), o qual foi utilizado como dado de entrada para a classificação.

Foram utilizados como *inputs*, as bandas multiespectrais B02 (490 nm), B03 (560 nm), B04 (665 nm), B05 (705 nm), B06 (740 nm), B07 (783 nm), B08 (842 nm), B08A (865 nm), B11 (1610 nm), B12 (2190 nm) e o NDVI, inseridos no algoritmo classificador ISODATA.

Em seguida, aplicou-se um filtro de moda (*moder filter*) no resultado, com a janela 3x3, a fim de minimizar possíveis ruídos adquiridos ao longo do processo. Por fim, realizou-se a etapa de pós-classificação, cujos procedimentos incluem o uso de ferramentas de edição vetorial para correção de quaisquer inconsistências geradas pela classificação automatizada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises da classe mangue foram norteadas considerando as referências bibliográficas e a base de dados institucionais (IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; MMA - Ministério do Meio Ambiente; EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) adquiridas ao longo do desenvolvimento do presente trabalho, buscando uma melhor contextualização aos resultados e, concomitantemente, aferi-los com alguns mapeamentos existentes na região.

O resultado do processamento da imagem Sentinel-2 para geração do cálculo do índice de vegetação indicou altos valores de NDVI para a classe mangue, reforçando sua contribuição na classificação não-supervisionada para extração desta feição, conforme representa a Figura 2 abaixo.

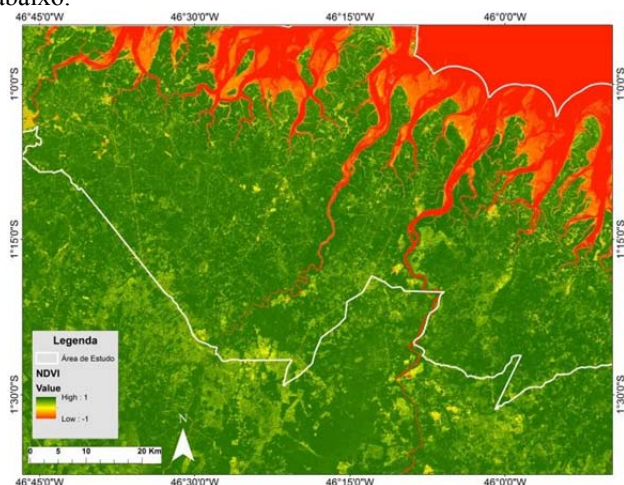


Figura 2. Composição do índice de vegetação (NDVI) para extração da classe mangue.

Através de uma análise qualitativa e comparativa entre o resultado da classificação, consultas às fontes bibliográficas mencionadas e o mapeamento de floresta de manguezal realizado pelo IBAMA (2005), verificou-se que a utilização do classificador ISODATA para imagem Sentinel-2 foi eficaz na extração da classe mangue dos demais ecossistemas costeiros da região, possibilitando ainda mensurar sua distribuição espacial, que é equivalente a uma área de 1.108 km². A Figura 3 a seguir atesta a consistência dos resultados adquiridos.

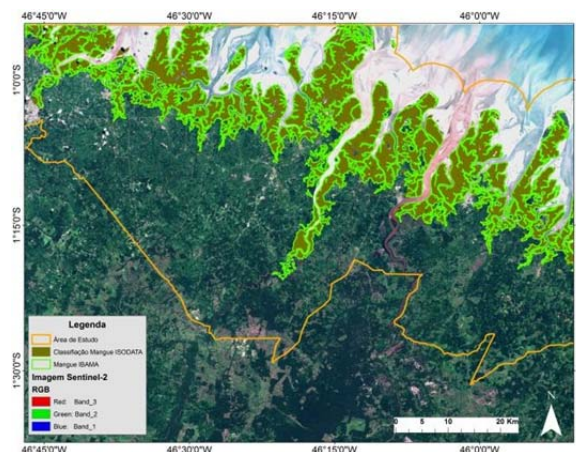


Figura 3. Resultado da classificação ISODATA e comparação com o mapeamento realizado pelo IBAMA (2005).

Apesar da potencialidade do método, foi verificada a ocorrência de uma não conformidade em um dos trechos de manguezal quando sobreposta a classificação ISODATA com o mapeamento do IBAMA. Essa individualização sugere uma alteração na vegetação que ocasionou diferentes respostas espectrais, não configurando, portanto, uma inconsistência do resultado. Diante do exposto, sugere-se, em trabalhos futuros, uma investigação mais aprofundada deste trecho, podendo ser realizada com subsídios de imagens de maior resolução espacial ou visitas de campo. Na Figura 4, são apresentados, em destaque, dois exemplos (4A e 4B), que configuram respectivamente a consistência e a não conformidade do resultado.

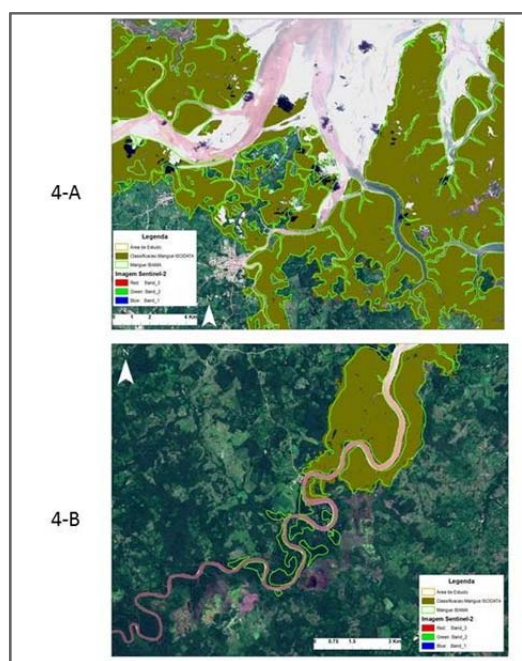


Figura 4. Resultado da classificação ISODATA, em detalhe: 4-A - Exemplo de correspondência com a classificação do IBAMA (2005); 4-B - Exemplo do trecho sem correspondência com a classificação do IBAMA (2005).

A classificação isodata possibilitou ainda a individualização de outras classes e usos do solo como agricultura, água, floresta, áreas úmidas e urbanas. Contudo, ressalta-se que o resultado deste trabalho não se configura como um produto final, já que ele constitui uma das etapas integrantes do Mapeamento de Uso e Cobertura do Solo da Margem Equatorial Brasileira do Projeto Costa Norte.

4. CONCLUSÕES

A utilização do sensor Sentinel - 2 e do algoritmo ISODATA para o mapeamento de floresta de manguezal, aliados a um Sistema de Informações Geográficas, constituem uma importante ferramenta para identificação e análise de ecossistemas costeiros. Particularmente, o mangue tem uma importância que vai além do aspecto ecológico, pois sua degradação promove não apenas a diminuição da biodiversidade, mas também impactos sociais e econômicos.

Segundo [5], medidas voltadas para a conservação da CMMA e pesquisas que busquem a melhor compreensão deste complexo ecossistema devem ser desenvolvidas. Neste cenário, os mapeamentos temáticos se destacam como importantes subsídios às tomadas de decisão e análises de risco.

O produto adquirido com a referida classificação atende escalas de até 1:100.000 e pode ser utilizado como suporte ao planejamento de contingência e para a implementação de ações de resposta a possíveis intervenções antrópicas e mudanças climáticas, permitindo identificar os ambientes com prioridade de proteção e também prover melhores formas de manejo e gestão dos recursos naturais disponíveis.

5. REFERÊNCIAS

[1] Wachid, M.N. Hapsara, R.D., Cahyo, R.D., Wahyu, G.N., Syarif, A.M., Umarhadi, D.A., Fitriani, A.N., Ramadhanningrum, D.P., Widyatmanti, W. “Mangrove canopy density analysis using Sentinel-2A imagery satellite data”. *Earth and Environmental Science*, v. 70, pp. 012-020, 2017.

[2] Prates, A.P.L.; Gonçalves, M.A.; Rosa, M.R., “Panorama da Conservação dos Ecossistemas Costeiros e Marinheiros no Brasil”, *Ministério do Meio Ambiente*, 2. ed. rev. ampliada, Brasília, pp. 152, 2012.

[3] Menezes, M. P. M.; Berger, U.; Mehlig, U., “Mangrove canopy density analysis using Sentinel-2A imagery satellite data”, *Acta Amazonica*, v. 38, n. 3, pp. 403 - 420, 2008.

[4] Spalding, M., Blasco, F., Field, C. “World mangrove atlas”. ISME, Okinawa, pp. 178, 1997

[5] Souza Filho, P.W.M. “Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia: Cenários Morfológicos, Mapeamento e Quantificação de áreas usando dados de Sensores Remotos”, *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23, n. 4, pp. 427-435, 2005.

[6] MMA e ICMBIO. “Atlas dos Manguezais no Brasil”. Brasília, 2018.

[7] Drusch, M. et al., “Sentinel-2: ESA’s optical high-resolution mission for GMES operational services”, *Remote Sensing of Environment*, v. 120, pp. 25-36, 2012.

[8] Hagolle, O. et al., “SPOT-4 (Take 5): simulation of Sentinel-2 time series on 45 large sites”, *Remote Sensing*, v. 7, n. 9, pp. 12242-12264, 2015.

[9] SegL, K. et al., “S2eteS: An end-to-end modeling tool for the simulation of Sentinel-2 image products”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 53, n. 10, pp. 5560-5571, 2015.

[10] Melo, E.T., Sales, M.C.L., Oliveira, J.G.B. “Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para Análise da Degradação Ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús - CE”. *RA’EGA: O Espaço Geográfico em Análise*. Curitiba. Ed. 23. P. 520 - 533. 2011.

[11] Schowengerdt, R.A., “Remote Sensing: models and methods for image processing”, *San Diego: Academic Press*, 2º ed., pp. 522, 1997.

[12] Gonzales, R.C.; Woods, R.E., “Processamento de imagens digitais”, *São Paulo: Edgard Blücher*, pp. 509, 2000.