


UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO RIO CACHOEIRA–BAHIA


USE OF REMOTE SENSING FOR THE IDENTIFICATION OF AQUATIC
MACROPHYTES IN THE CACHOEIRA RIVER–BAHIA

UTILISATION DE LA TELEDETECTION POUR L'IDENTIFICATION DES
MACROPHYTES AQUATIQUES DANS LE FLEUVE CACHOEIRA–BAHIA

João Gabriel de Moraes Pinheiro¹

 0000-0002-9941-2018
joao.g.pinheiro@edu.ufes.br

André Luiz Nascentes Coelho²

 0000-0001-9068-495X
alnc.ufes@gmail.com

30
Anos

Ano XXIX - Vol. XXIX - (1): Janeiro/Dezembro - 2025

CIÊNCIA
Geográfica
ISSN Online: 2675-5122 • ISSN-L: 1413-7461
www.agbauru.org.br

1 Mestrando em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo-UFES. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9941-2018>. E-mail: joao.g.pinheiro@edu.ufes.br.

2 Pós-doutor em Geografia, Professor Associado da Universidade Federal do Espírito Santo-UFES. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9068-495X>. E-mail: alnc.ufes@gmail.com.

Artigo recebido em maio de 2025 e aceito para publicação em junho de 2025.



RESUMO: O lançamento de esgoto doméstico e efluentes industriais nos corpos hídricos provoca diversos problemas ambientais, como o acúmulo de nitrogênio e fósforo, resultando na eutrofização e na conseqüente proliferação de macrófitas aquáticas. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo a utilização do sensoriamento remoto para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a identificação de macrófitas aquáticas no rio Cachoeira, no sul do estado da Bahia. O NDVI é um índice que identifica as condições da vegetação fotossinteticamente ativa; em ambientes hídricos, espera-se que os valores do índice sejam negativos em função da presença de água pura. Para a identificação das macrófitas aquáticas, bem como dos indicadores de eutrofização, utilizaram-se imagens do satélite Sentinel-2, da Agência Espacial Europeia, com resolução de 10 metros na banda 4 – vermelho – e na banda 8 – infravermelho próximo. Por meio da determinação do NDVI, constatou-se que o trecho do rio Cachoeira presente nos municípios de Itabuna e Ilhéus (os mais populosos da bacia) apresenta níveis críticos de eutrofização, nos quais a maioria da frequência do NDVI esteve concentrada no intervalo de 0,1 a 0,5, sendo este intervalo indicativo da presença de macrófitas flutuantes, submersas e esparsas.

Palavras-chave: Eutrofização. Geoprocessamento. Bacias Hidrográficas.

ABSTRACT: The discharge of domestic sewage and industrial effluents into water bodies causes several environmental problems, such as the accumulation of nitrogen and phosphorus, leading to eutrophication and the consequent proliferation of aquatic macrophytes. In this context, the present study aimed to use remote sensing to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the identification of aquatic macrophytes in the Cachoeira River, located in the southern region of the state of Bahia, Brazil. The NDVI is an index that identifies the condition of photosynthetically active vegetation; in aquatic environments, index values are expected to be negative due to the presence of pure water. To identify aquatic macrophytes, as well as indicators of eutrophication, images from the Sentinel-2 satellite, operated by the European Space Agency, were used, with a 10-meter resolution in band 4 – red – and band 8 – near-infrared. Through the determination of NDVI, it was found that the section of the Cachoeira River located in the municipalities of Itabuna and Ilhéus (the most populous municipalities in the basin) presents critical levels of eutrophication, where most of the NDVI frequency was concentrated in the range of 0.1 to 0.5, an interval indicative of the presence of floating, submerged, and sparse macrophytes.

Keywords: Eutrophication. Geoprocessing. Watersheds.

RÉSUMÉ: Le rejet d'eaux usées domestiques et d'effluents industriels dans les cours d'eau provoque divers problèmes environnementaux, tels que l'accumulation d'azote et de phosphore, entraînant l'eutrophisation et la prolifération conséquente de macrophytes aquatiques. Dans ce contexte, le présent travail a pour objectif l'utilisation de la télédétection pour le calcul de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) afin d'identifier les macrophytes aquatiques dans le fleuve Cachoeira, au sud de l'État de Bahia. Le NDVI est un indice permettant d'identifier les conditions de la végétation photosynthétiquement active ; dans les milieux aquatiques, on s'attend à ce que les valeurs de l'indice soient négatives en raison de la présence d'eau pure. Pour identifier les macrophytes aquatiques ainsi

que les signes d'eutrophisation, des images du satellite Sentinel-2 de l'Agence Spatiale Européenne ont été utilisées, avec une résolution de 10 mètres pour la bande 4 – rouge – et la bande 8 – proche infrarouge. À travers la détermination du NDVI, il a été constaté que le tronçon du fleuve Cachoeira traversant les municipalités d'Itabuna et Ilhéus (les plus peuplées du bassin) présente des niveaux critiques d'eutrophisation, où la majorité des fréquences du NDVI se concentraient dans l'intervalle de 0,1 à 0,5, cet intervalle étant indicatif de la présence de macrophytes flottantes, submergées et dispersées.

Mots-clés: Eutrophisation. Géotraitement. Bassins hydrographiques.

INTRODUÇÃO

A poluição dos corpos hídricos, decorrente do lançamento de esgoto doméstico e de efluentes industriais de forma in natura, gera diversas consequências ambientais, dentre as quais se destaca a eutrofização (Lloret *et al.*, 2015). O fenômeno da eutrofização consiste no aumento da concentração de nutrientes nos mananciais hídricos. As principais espécies químicas responsáveis por esse processo são o nitrogênio e o fósforo que, em sua forma de nutrientes, provocam o aumento da produtividade primária, o desequilíbrio da cadeia trófica e dos ciclos biogeoquímicos (Gadelha *et al.*, 2021). Dentre os efeitos deletérios da eutrofização estão a depleção do oxigênio dissolvido, a perda da biodiversidade e a proliferação de macrófitas aquáticas.

As macrófitas aquáticas são organismos vivos fotossintéticos, com morfologia visível a olho nu, que crescem e se desenvolvem de maneira permanente ou periódica submersas, flutuantes ou presentes na superfície da lâmina de água (Fleming; Dibble, 2015). Mecanismos de adaptação desenvolvidos por essas plantas permitem que elas apresentem uma resposta adaptativa ideal à heterogeneidade ambiental e habitem diversos ambientes aquáticos, incluindo águas doces, úmidas, pântanos e corpos hídricos poluídos por esgotos domésticos e efluentes industriais (Lesiv; Polishchuk; Antonyak, 2020; Minhoni, 2017). De acordo com Thomaz e Esteves (2011), existem cinco principais grupos ecológicos de macrófitas aquáticas, a saber: i) emersas – espécies enraizadas no sedimento de fundo; ii) macrófitas com folhas flutuantes – cujas folhas estão ligadas aos rizomas por longos pecíolos; iii) submersas enraizadas – espécies enraizadas no sedimento de fundo, crescendo abaixo da superfície; iv) submersas livres – plantas com rizoides pouco desenvolvidos, normalmente presas a outras macrófitas; e v) flutuantes livres – nas quais as raízes permanecem livres na água.

Embora as macrófitas aquáticas desempenhem diversas funções ecológicas importantes para os recursos hídricos, sua proliferação por meio da reprodução desordenada, decorrente da eutrofização do ambiente aquático, resulta na obstrução do fluxo de água, na diminuição da biodiversidade aquática em função do aumento da biomassa, na redução do oxigênio dissolvido e no aumento da demanda bioquímica de oxigênio (Madzivanzira *et al.*, 2023). Outra consequência relevante da proliferação dessas espécies é a perda das trocas gasosas que ocorrem na interface água–ar, além de alterações no ambiente e na qualidade das águas, configurando-se também como um problema de saúde individual e coletiva (Miranda; Costa *et al.*, 2015). Por conseguinte, a aplicação do sensoriamento remoto em ambientes hídricos torna-se uma ferramenta útil para o monitoramento do crescimento das macrófitas aquáticas, bem como para a detecção de particulados em suspensão e da vegetação aquática em geral (Sagan *et al.*, 2020). O sensoriamento remoto, por sua vez, é uma ferramenta relevante na

investigação de fenômenos associados a grandes comunidades de vegetação aquática. O uso de índices de vegetação configura-se como uma metodologia capaz de compreender as propriedades espectrais da vegetação (Luo, 2015).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo aplicar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a avaliação da eutrofização do rio Cachoeira, localizado na região Sul da Bahia, sendo o principal curso d'água da Bacia Hidrográfica do rio Cachoeira, bem como identificar as áreas críticas de eutrofização e as fontes pontuais e difusas de poluição. Este estudo justifica-se pela capacidade do sensoriamento remoto aplicado a ambientes aquáticos de contribuir para o monitoramento e o planejamento ambiental, além de oferecer subsídios às práticas de conservação dos recursos hídricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

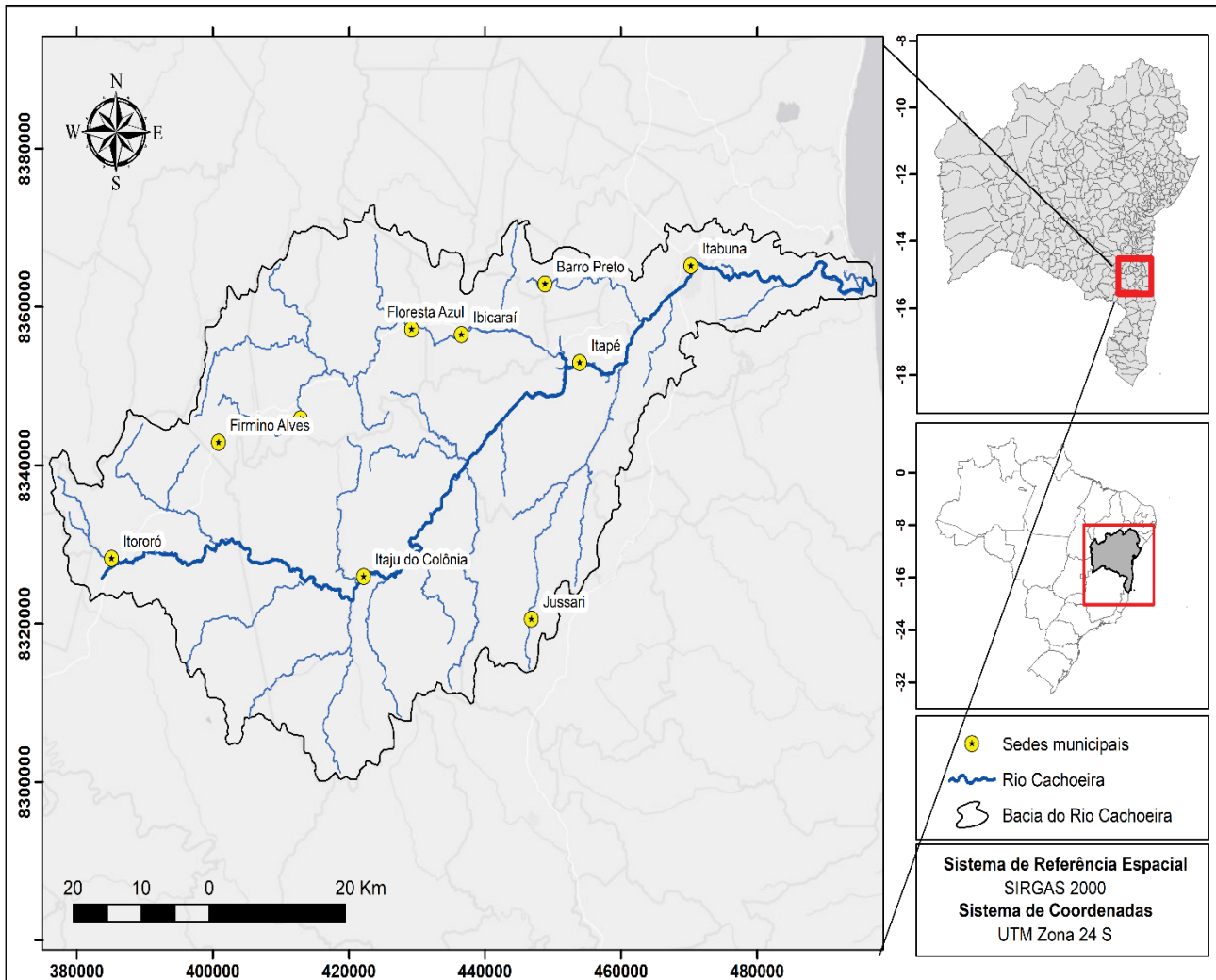
Características da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do rio Cachoeira (BHRC) está localizada na região sul do estado da Bahia, possuindo uma extensão territorial de 4.288,69 km², com o seu curso principal apresentando 179 km de comprimento, sendo a foz da bacia no município de Ilhéus. A BHRC é limitada, ao norte, pelas bacias dos rios de Contas e Almada; ao sul, pelas bacias dos rios Pardo e Una; a leste, pela bacia do rio Pardo; e a oeste, pelo Oceano Atlântico. É formada por dez municípios: Ilhéus, Itabuna, Ibicaraí, Itapé, Jussari, Itaju do Colônia, Floresta Azul, Itororó, Itapetinga e Firmino Alves (Figura 1). De acordo com o Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2022, os dez municípios abrangidos pela bacia possuem, ao todo, 403.539 habitantes. No que se refere à gestão, a BHRC está inserida na Região de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA) Leste (VII RPGA), instituída pela Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), conforme a Lei nº 11.612, de 2009.

Delimitação da bacia hidrográfica

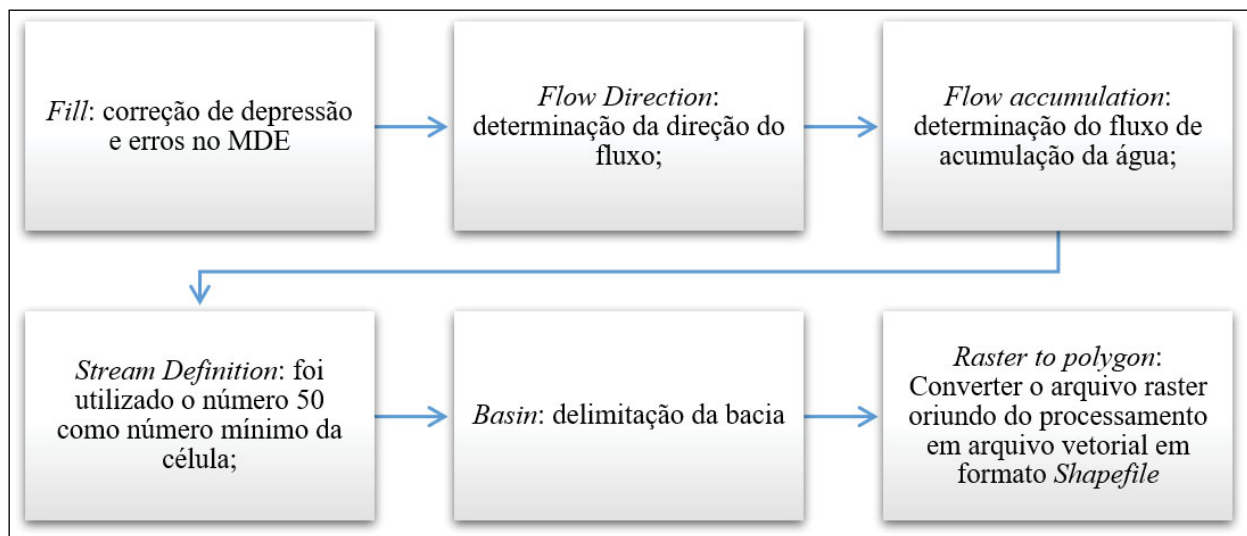
Para a delimitação da bacia hidrográfica, utilizou-se como base o Modelo Digital de Elevação (MDE) do TOPODATA, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O MDE do TOPODATA possui resolução espacial de 30 metros, sendo seu acesso e obtenção gratuitos e instantâneos, disponíveis ao público por meio do sítio eletrônico: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>.

Todo o processo de delimitação foi realizado de forma automática, por meio da parametrização em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). O processamento e a (re)projeção espacial da imagem seguiram a metodologia proposta por Valeriano (2008). Para a delimitação da BHRC, utilizou-se a função de delimitação automática, por meio das ferramentas de hidrologia do *software* ArcMap 10.8. As ferramentas hidrológicas empregadas e suas respectivas funções seguiram a metodologia descrita por Di Luzio et al. (2002), conforme representado na Figura 2.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do rio Cachoeira – Bahia.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 2. Síntese da metodologia de delimitação automática de bacias hidrográficas.

Determinação do NDVI

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), foi calculado com o objetivo de identificar a presença de vegetação fotossinteticamente ativa no rio. O cálculo foi realizado a partir das as imagens do satélite Sentinel -2 da Agência Espacial Europeia (ESA), que possuem resolução espacial de 10 metros. As imagens são gratuitas e de acesso instantâneo e estão disponíveis no portal da ESA através do site *Copernicus Open Access Hub*, na qual foram utilizados como critérios de inclusão: i) cobertura de nuvens menor que 10%, ii) contemplar toda a área de estudo e iii) sensor SAR. Foram selecionadas imagens referentes ao período de dezembro de 2023 a março de 2024, sendo este período com menor pluviosidade e com maior propensão à proliferação e macrófitas.

O Sentinel-2 é um satélite da missão europeia que utiliza imagens multiespectrais de alta resolução espacial. Ao todo, o satélite possuem treze bandas espectrais, a saber: quatro bandas com resolução de 10 metros, seis bandas com resolução de 20 metros e três bandas com resolução de 60 metros (Quadro 1). Os dois satélites que compõem a coleção Sentinel-2 possuem uma gama de utilizações, como monitoramento da superfície, mapeamento de riscos, mudança climática, controle de desastres, monitoramento marítimo e ajuda humanitária. Os dados deste satélite são disponibilizados de maneira gratuita e de maneira sistemática para fins de pesquisa científica e fins comerciais (ESA, 2025).

Quadro 1. Bandas e comprimentos de onda que compõem o Sentinel-2.

Resolução	Banda	Comprimento de onda (nm)
10 metros	B02 - Azul	490
	B03 - Verde	560
	B04 - Vermelho	665
	B08 - NIR (infravermelho próximo)	842
20 metros	B05 - NIR 1	705
	B06 - NIR 2	740
	B07 - NIR 3	783
	B08A - NIR 4	865
	B11 - SWIR 1 (infravermelho de ondas curtas)	1610
	B12 - SWIR 1 (infravermelho de ondas curtas)	2190
60 metros	B01 - Aerosol	443
	B09 - Vapor de água	940
	B10 - Cirrus	1375

Fonte: ESA, 2025.

Para o cálculo do NDVI, foram utilizadas as bandas 4 e 8, que são as bandas do espectro eletromagnético na faixa do vermelho (RED) e do infravermelho próximo (NIR), respectivamente, na qual ambas foram captadas pelo sensor *Synthetic Aperture Satellite* (SAR) do Sentinel-2. Dessa

forma, para o cálculo do NDVI utilizou-se a expressão proposta por Rouse *et al.* (1973), na qual a normalização é feita pela Equação 1:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

Sendo:

ρ_{NIR} = Reflectância para a banda do infravermelho próximo;

ρ_{RED} = Reflectância para a banda do vermelho.

Os resultados do NDVI variam de -1 a 1, na qual os valores mais próximos de 1 representam áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto os valores mais próximos de -1 representam áreas com menor quantidade de vegetação, ou mesmo área desprovidas de vegetação (Braz *et al.*, 2015). Por conseguinte, foi utilizada a álgebra de mapas, utilizando a calculadora raster do software *Quantum Gis* (Qgis) versão 3.32 para o cálculo do NDVI. Uma vez calculado, cada pixel gerado possuirá um valor de NDVI, este será sobreposto pelo *shapefile* de pontos de casos de arboviroses, na qual os valores do NDVI serão extraídos pela ferramenta *zonal statistics*.

Uma vez realizada a álgebra de mapas, tendo como produto o NDVI, foi feita a distinção das classes de água e macrófitas. Tal distinção foi realizada através da determinação de intervalos numéricos de NDVI que são denotativos da identificação das duas classes supracitadas, para isso foi utilizada a classificação de Rouse *et al.* (Tabela 1).

Tabela 1. Interpretação do NDVI segundo os intervalos de frequência.

Faixas do NDVI	Interpretação
-1,0 a 0,0	Água (superfícies líquidas limpas)
0,0 a 0,1	Solo exposto, áreas urbanas ou água turva
0,2 a \geq 0,5	Macrófitas flutuantes ou submersas densas
0,1 a 0,3	Macrófitas esparsas

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Rouse *et al.* (1974) e Mc Feeters (1996).

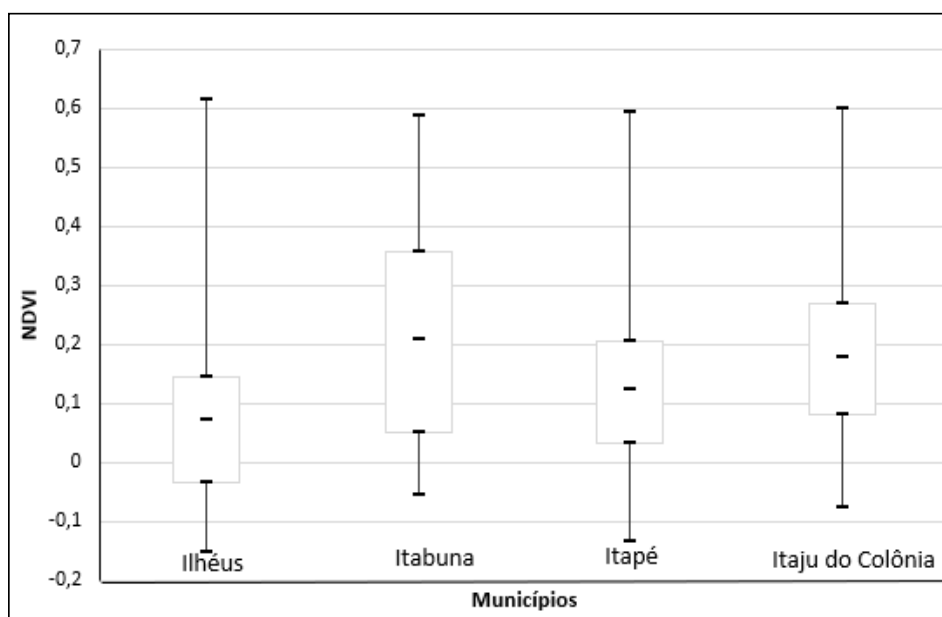
RESULTADOS E DISCUSSÃO

As macrófitas aquáticas, assim como o restante da vegetação, apresentam uma resposta espectral com variações características ao longo do espectro eletromagnético. As características espectrais das macrófitas refletem a absorção da radiação eletromagnética pelos pigmentos na região do visível – entre 400 e 700 nm – a reflectância da radiação na região do infravermelho próximo – entre 700 e 1200 nm – em função da estrutura anatômica, e a absorção pela água na região do infravermelho médio (1200 a 2500 nm) (Aparicio; Bitencourt, 2015).

Dos dez municípios contemplados pela BHRC, quatro são banhados pela drenagem principal do rio Cachoeira, sendo eles: Itaju do Colônia, Itapé, Itabuna e Ilhéus, este último correspondendo à foz do rio. Ao determinar o NDVI no rio Cachoeira, por meio das imagens do Sentinel-2, observou-se uma variação dos valores no intervalo de -0,15 a 0,61.

Na análise da Figura 3, percebe-se que, no município de Ilhéus, a mediana das amostras encontra-se ligeiramente acima de 0,1, indicando a presença de macrófitas aquáticas em parte considerável do rio. A amplitude dos dados varia aproximadamente entre -0,15 e 0,6. Ao analisar a frequência relativa dos dados, observa-se que o intervalo de 0,1 a 0,5 apresenta uma frequência de 31,2%, correspondendo à presença de macrófitas flutuantes, submersas e esparsas; já o intervalo de NDVI entre -1 e 0,0, que se refere à água, corresponde a 68,8% das amostras.

O trecho do rio Cachoeira situado no município de Itabuna apresenta o maior estado crítico em relação à eutrofização. A mediana do NDVI apresenta valores próximos de 0,2, com grande parte da distribuição concentrando-se em faixas superiores a 0,1. No que tange à frequência relativa da distribuição dos valores, o intervalo de 0,1 a 0,5 representa 64,0% das amostras, enquanto o intervalo que representa a água, de -1,0 a 0,0, corresponde a 36,0%, denotando uma maior presença de macrófitas em relação à superfície de água no rio.

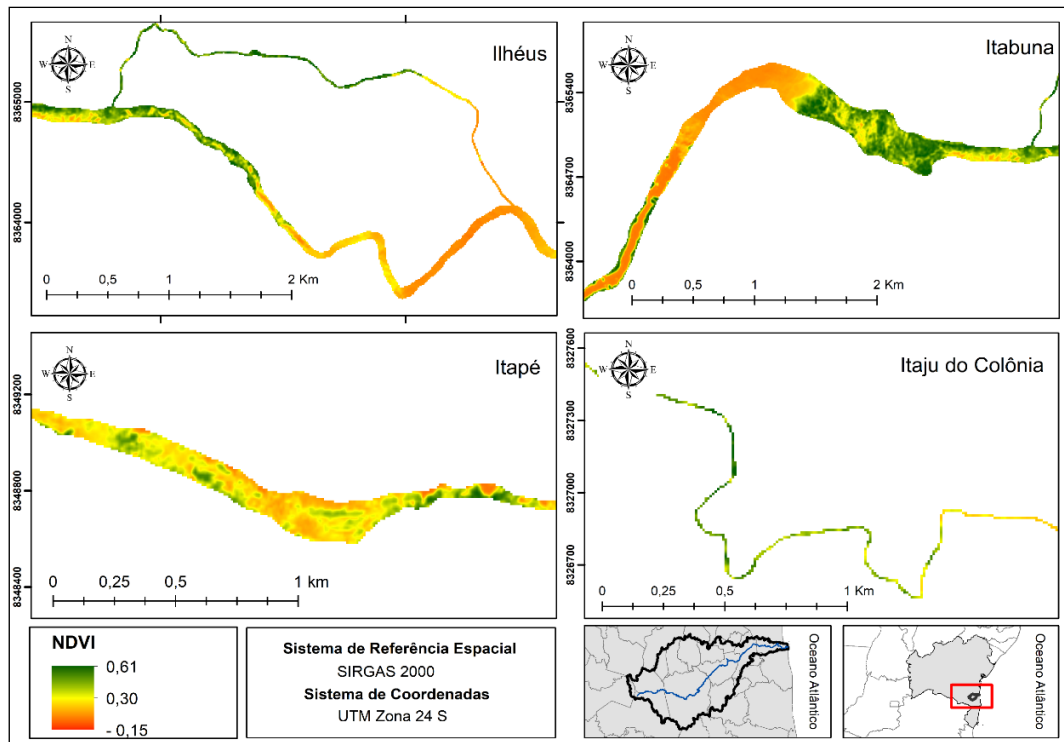


Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3. Distribuição dos valores de NDVI do rio Cachoeira por municípios

O município de Itapé apresenta uma mediana de NDVI similar à de Ilhéus, próxima de 0,1. Embora existam trechos com valores negativos, indicativos de água livre, a maior parte da distribuição do NDVI sugere uma tendência à eutrofização, haja vista que, na análise da frequência relativa, a faixa de 0,1 a 0,5 apresenta frequência de 45,8%, enquanto a faixa correspondente à água (-1,0 a 0,0) apresenta frequência de 54,2%. Em Itaju do Colônia, observa-se uma mediana elevada, próxima de 0,2, e uma concentração considerável de valores de NDVI entre 0,05 e 0,4. Esse padrão indica a ampla presença de macrófitas aquáticas, apontando para uma situação de eutrofização significativa nos trechos fluviais analisados.

No município de Itabuna, a maior concentração de macrófitas ocorreu no trecho do rio Cachoeira situado na mancha urbana do município (Figura 4). A principal espécie de macrófita que prolifera no rio Cachoeira é a *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, conhecida popularmente como baronesa (Figura 5). A baronesa é caracterizada como a espécie que mais causa prejuízos em âmbito nacional, sendo capaz de dobrar sua área aproximadamente a cada 6 ou 7 dias durante a sua reprodução. Quando existem condições propícias para sua proliferação, pode alcançar até 480 toneladas de biomassa por hectare em um ano (Moura *et al.*, 2009).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4. Concentração de macrófitas aquáticas em trechos do rio Cachoeira.

Na Figura 4, as maiores concentrações de baronetas ocorrem em trechos do rio Cachoeira onde há intensa atividade urbana e industrial, além de áreas rurais com maior concentração de lavouras e animais. Em Itabuna, a parte eutrofizada encontra-se na área central da cidade, onde o aporte de espécies químicas, como nitrogênio e fósforo, ocorre em abundância no corpo hídrico. No trecho do rio presente no município de Ilhéus, a concentração de macrófitas ocorreram próximo aos aglomerados urbanos como os bairros Salobrinho, Vila Cachoeira e Banco da Vitória, onde a atividade doméstica e industrial ocorre próxima ao rio. O fósforo pode ser encontrado na água sob diversas formas, como ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico. A ocorrência natural de fósforo nos corpos hídricos dá-se pela dissolução dos solos e pela decomposição da matéria orgânica; todavia, sua ocorrência antropogênica decorre do uso de fertilizantes, do lançamento de esgoto doméstico, de efluentes industriais, de tensoativos e de excrementos de animais. O nitrogênio, por sua vez, pode ser encontrado no ambiente aquático sob as formas de nitrito, nitrato, nitrogênio orgânico, molecular e amoniacal. Sua origem antropogênica também se deve aos lançamentos domésticos e industriais, à lixiviação de fertilizantes químicos para o corpo hídrico e à liberação de excrementos de animais (Sperling, 2005).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Figura 5. *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (baronesas) no rio Cachoeira.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação do NDVI para o monitoramento das macrófitas aquáticas no rio Cachoeira revelou diversos pontos críticos de eutrofização, ocasionados pelo lançamento de esgoto doméstico e efluentes industriais no corpo hídrico. No trecho do rio localizado no município de Itabuna, a classe de frequência de 0,1 a 0,5 foi a mais prevalente, apresentando 63,4% de macrófitas aquáticas, o que indica a abundância de baronesas na superfície da lâmina d'água. O trecho do rio Cachoeira, no sentido da foz, no município de Ilhéus, apresentou pontos críticos de eutrofização em áreas com aglomerados urbanos. A análise do boxplot revelou que os demais municípios também apresentam uma tendência à eutrofização crítica, nos mesmos padrões constatados em Ilhéus e Itabuna.

A utilização de ferramentas de geoprocessamento, bem como do sensoriamento remoto, demonstrou ser uma metodologia eficiente para subsidiar o monitoramento dos recursos hídricos. O controle e o monitoramento da poluição pontual e difusa são imprescindíveis para a recuperação da qualidade do rio Cachoeira e para a promoção de sua autodepuração. Dessa forma, os instrumentos de gestão preconizados na Política Nacional de Recursos Hídricos e na Política Estadual de Recursos Hídricos precisam ser implementados no âmbito da bacia hidrográfica, considerando-a como unidade de planejamento, sendo as ações e diretrizes voltadas à conservação validadas pelo comitê de bacias hidrográficas em todas as suas instâncias.

REFERÊNCIAS

- APARICIO, C.; BITENCOURT, M. D. “Resposta Espectral de Macrófitas Aquática”. In: POMPEO, M. et al. **Ecologia de reservatórios e interfaces**. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências, 2015.
- BRAZ, A. M. et al. “Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e Índice de Área Foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego ribeirãozinho, município de Selvíria–MS”. **Revista Percurso**, v. 7, n. 2, p. 5-22, 2015.
- DI LUZIO, M. et al. Integration of watershed tools and swat model into basins 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 38, n. 4, p. 1127-1141, 2002.
- ESA. ESPATIAL EUROPEAN AGENCY. **Sentinel -2 Documentation**. Paris, 2025. Disponível em: <https://documentation.dataspace.copernicus.eu/Data/SentinelMissions/Sentinel2.html>. Acesso em: 05 maio. 2025.
- FLEMING, J. P.; DIBBLE, E. D. Ecological mechanisms of invasion success in aquatic macrophytes”. **Hydrobiologia**, v. 746, p. 23-37, 2015.
- GADELHA, José Eduardo Ferreira Da Silva et al. Consequências da eutrofização em corpos hídricos. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 3, n. 1, 2022.
- LESIV, M. S.; POLISHCHUK, A. I.; ANTONYAK, H. L. Aquatic macrophytes: ecological features and functions. **Studia Biologica**, v. 14, n. 2, p. 79-94, 2020.
- LLORET, J. et al. An underwater wireless group-based sensor network for marine fish farms sustainability monitoring. **Telecommunication Systems**, v. 60, p. 67-84, 2015.
- LUO, C. et al. Applying remote sensing techniques to monitoring seasonal and interannual changes of aquatic vegetation in Taihu Lake, China. **Ecological Indicators**, Coimbra, v. 60, p.503–513, 2015.
- MADZIVANZIRA, T. C. et al. Factors structuring aquatic macrophytes. In: **Aquatic macrophytes: Ecology, functions and services**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. p. 21-52.
- MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International journal of remote sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.
- MINHONI, R. T. A. et al. Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento de macrófitas aquáticas no Reservatório de Barra Bonita, SP. **Irriga**, v. 22, n. 2, p. 330-342, 2017.
- MIRANDA, J. C. S; COSTA, S. M. F. (2015). Estudo de macrófitas aquáticas utilizando imagens orbitais em um trecho do rio Paraíba do Sul. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 17, p. 3972-3979, 2015.
- ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, 3, Washington, 1973. Proceedings... Whashington: NASA, 1974, v.1, p.309-317, 1973.
- SAGAN, V. et al. Monitoring inland water quality using remote sensing: Potential and limitations of spectral indices, bio-optical simulations, machine learning, and cloud computing. **Earth-Science Reviews**, v. 205, p. 103187, 2020.
- SPERLING. M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. Ed. Belo Horizonte : UFMG, 2005. 452 p.
- THOMAZ, S. M.; ESTEVES, F. A. Comunidade de macrófitas aquáticas. In: ESTEVES, F.A. (coordenador) **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011
- VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Guia para Utilização de Dados Geomorfológicos Locais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São Paulo: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/documentos.php>. Acesso em: 25 abr. de 2025.