

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Monitoramento da Qualidade da Água com Sentinel-2: Uma Aplicação no Âmbito do Projeto HidroSat da ANA

Henrique Dantas Borges^{1}; Taína Martins Magalhães¹; Matheus Henrique Tavares²; David Guimarães²; Dhalton Luiz Tosetto Ventura¹; Rita de Cássia Cerqueira Condé¹; Diego Raphael Alves e Santos¹; Joana Roussillon²; Jean-Michel Martinez² & Walszon Terllizzie Araújo Lopes¹*

Abstract: Monitoring water quality is fundamental to the management of water resources. Remote sensing provides a cost-effective and spatially comprehensive alternative. Developed within the HidroSat project, a collaboration between Brazil's National Water and Sanitation Agency (ANA), the Brazilian Cooperation Agency (ABC), and the French National Research Institute for Sustainable Development (IRD) to advance hydrological monitoring techniques, this study presents a methodology for deriving Chlorophyll-a and Turbidity concentrations from Sentinel-2 imagery that is applicable across multiple water bodies. The workflow includes atmospheric correction, water-body mapping, and estimation of water-quality parameters (chlorophyll-a and turbidity) through an Optical Water Type classification coupled with Remote Sensing Reflectance (Rrs) inversion algorithms. A key advantage is the ability to process many reservoirs within a single satellite scene, including small ones, which supports extensive regional monitoring. As a case study, the methodology was applied to the Castanhão Reservoir in Ceará, Brazil, covering the period from 2018 to 2024 and producing time series of chlorophyll-a and turbidity concentrations. The results show substantial temporal variability in these parameters that aligns with expected ranges. The approach proved effective and delivered valuable information for management, with strong potential for broader application, although large-scale deployments, such as at state or basin level, will require considerable computational resources and additional in situ validation.

Resumo: O monitoramento da qualidade da água é fundamental para a gestão dos recursos hídricos. O sensoriamento remoto oferece uma alternativa com bom custo-benefício e espacialmente abrangente. Inserido no contexto do projeto HidroSat, uma colaboração entre a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a Agência Brasileira de Cooperação (ABC) e o *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD) para o desenvolvimento de técnicas de monitoramento hidrológico, este estudo apresenta uma metodologia para estimar concentrações de clorofila-a e turbidez a partir de imagens Sentinel-2, concebida para ser aplicada em múltiplos corpos d'água. O fluxo de trabalho envolve correção atmosférica, delimitação das superfícies de água e a estimativa dos parâmetros de qualidade de água empregando uma classificação por Tipos Ópticos de Água aliada ao uso de algoritmos de inversão da Reflectância de Sensoriamento Remoto (Rrs). Destaca-se a capacidade da metodologia para o processamento simultâneo de numerosos reservatórios dentro de uma cena de imagem de satélite, incluindo os de menor porte, oferecendo potencial para um monitoramento regional extensivo. Como estudo de caso, a metodologia foi aplicada ao Açude Castanhão, no Ceará, para o período entre 2018 e 2024, gerando séries temporais de concentração de clorofila-a e turbidez. Os resultados demonstram variabilidade significativa destes parâmetros ao longo do tempo, em concordância com os valores esperados. A abordagem mostrou-se eficaz, fornecendo informações valiosas para a gestão e demonstrando potencial para aplicação mais ampla,

1) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Setor Policial, Área 5, Quadra 3 - Brasília-DF, 70610-200. *henrique.borges@ana.gov.br.

2) Institut de recherche pour le Développement, Laboratoire Géosciences Environnement Toulouse, 31400 Toulouse, França.

embora a implementação em larga escala demande esforço computacional significativo e validação adicional com dados in situ.

Palavras-Chave – Sensoriamento Remoto, Qualidade da Água, Sentinel-2, Clorofila-a, Turbidez.

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento contínuo da qualidade da água em reservatórios é essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos, subsidiando a tomada de decisão em múltiplos usos, como abastecimento humano, irrigação e preservação de ecossistemas aquáticos. Métodos tradicionais de coleta e análise laboratorial, embora precisos, apresentam limitações em termos de cobertura espacial e frequência temporal, além de custos elevado, dificultando a obtenção de informações sobre qualidade da água. Neste contexto, o sensoriamento remoto orbital surge como uma ferramenta complementar, capaz de fornecer informações abrangentes e recorrentes sobre grandes corpos d'água.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) tem apoiado tecnologias para aprimorar o monitoramento hidrológico no Brasil. Nesse contexto, destaca-se o projeto HidroSat - Monitoramento Hidrológico de Rios e Lagos por meio de Satélites, conduzido em cooperação técnico-científica Brasil-França com o *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD) e a Agência Brasileira de Cooperação (ABC). A iniciativa integra dados de altimetria espacial e sensoriamento remoto óptico para derivar informações sobre níveis d'água, transporte de sedimentos e qualidade da água. Esses produtos são disponibilizados através do portal HidroSat (hidrosat.ana.gov.br), que oferece dados de quantidade (nível da água) e qualidade (sólidos em suspensão, clorofila-a e turbidez) para bacias hidrográficas nacionais e transfronteiriças (Figura 1). Desenvolvido no âmbito da parceria, um diferencial da plataforma é a disponibilização de produtos de dados obtidos e processados pela própria Agência, o que garante maior adequação às demandas de monitoramento do país. Desta forma, o HidroSat integra e fortalece o conjunto de sistemas de informação da ANA sobre o ciclo da água.

A consolidação desta abordagem dá seguimento a uma trajetória no desenvolvimento de aplicações de sensoriamento remoto. Esforços anteriores incluíram a caracterização do fluxo de sedimentos em grandes bacias (Barcelos et al., 2017; Piscoya et al., 2013), a dinâmica de deposição em planícies aluviais (Mendes et al., 2017), a estimativa de clorofila-a em reservatórios (Ventura et al., 2013), bem como a geração de séries temporais de longa duração (Ventura et al., 2022) e a avaliação indireta da sedimentação (Condé et al., 2019). Todas essas frentes de trabalho utilizaram predominantemente dados do sensor MODIS (250 a 1000 m), cujas resoluções espacial e espectral impunham limitações.

Essa limitação dos sensores de média resolução motivou a avaliação do satélite Sentinel-2, operado pela Agência Espacial Europeia (ESA) no âmbito do programa Copernicus. Ele se destaca por sua constelação de três satélites com revisita média de cinco dias e 13 bandas multiespectrais nas faixas visível, red-edge, NIR e SWIR, com resoluções que variam de 10 m a 60 m. A alta resolução espacial (10 a 20 m nas bandas mais relevantes) permite monitorar açudes e pequenos reservatórios que antes não eram devidamente captados por sensores de média resolução, como o MODIS. Além disso, a disponibilidade de bandas específicas facilita a aplicação de modelos de inversão bio-óptica, possibilitando estimativas mais precisas de parâmetros como clorofila-a e turbidez. Essas características representam um avanço significativo em relação a missões anteriores, ampliando a capacidade de monitoramento remoto da qualidade da água em ambientes continentais. A avaliação destes dados beneficia-se de parcerias interinstitucionais, em particular com a FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos), que desenvolve o uso de técnicas espaciais para o monitoramento dos açudes no estado do Ceará junto ao IRD.

À luz dessas vantagens, foi aplicada uma metodologia integrada para o processamento de imagens de satélite Sentinel-2 visando a estimativa de indicadores de qualidade da água (clorofila-a e turbidez), com ênfase na sua robustez e potencial de aplicação para o monitoramento de múltiplos corpos d'água simultaneamente. A clorofila-a é um indicador da biomassa fitoplanctônica e do estado trófico, enquanto a turbidez está relacionada à presença de material particulado em suspensão, afetando a penetração de luz e a qualidade da água. A metodologia foi concebida para permitir a análise de diversos reservatórios e lagos contidos em uma única cena (tile) de imagem, incluindo corpos d'água de dimensões variadas, o que possibilita um monitoramento regional mais abrangente se replicada em múltiplas cenas (e.g., para um estado ou bacia hidrográfica).

Este trabalho detalha o fluxo metodológico para o processamento de imagens Sentinel-2, a estimativa de clorofila-a e turbidez, a agregação espacial para construção de séries temporais e a visualização dos resultados. Para demonstrar a aplicabilidade e os resultados detalhados do método, o Açude Castanhão, no estado do Ceará, um dos maiores reservatórios do Nordeste brasileiro e de importância estratégica para a região, é utilizado como estudo de caso principal. O período de análise compreende os anos de 2018 a 2024. Contudo, é importante ressaltar que, em princípio, o método pode ser escalonado para cobrir vastas áreas (como um estado inteiro), ainda que com um esforço computacional significativo.

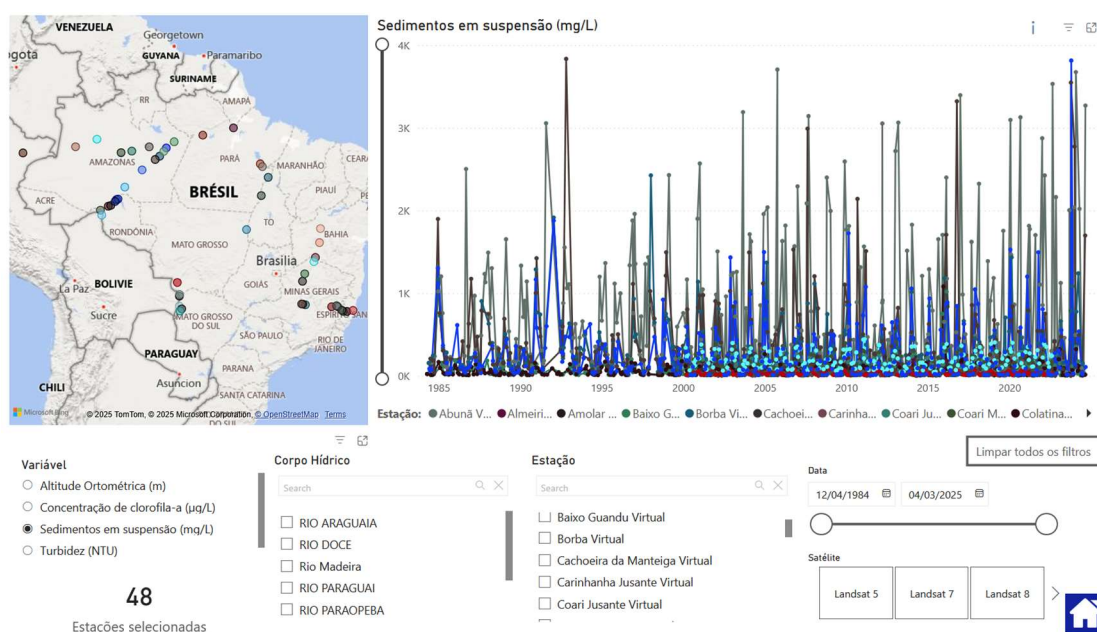


Figura 1: Portal HidroSat de disponibilização de dados espaciais para o monitoramento hidrológico, sedimentar e de qualidade de água. Página disponibilizando estimativas de sedimentos em suspensão (mg/L) geradas por satélite. Acessível em hidrosat.ana.gov.br.

2. METODOLOGIA

O fluxo metodológico adotado (Figura 2) compreendeu três etapas principais: (1) processamento das imagens de satélite para estimativa dos parâmetros de qualidade da água; (2) processamento dos rasters de qualidade da água para agregação espacial e construção de séries temporais; e (3) elaboração de mapas e visualização dos dados em painel interativo.

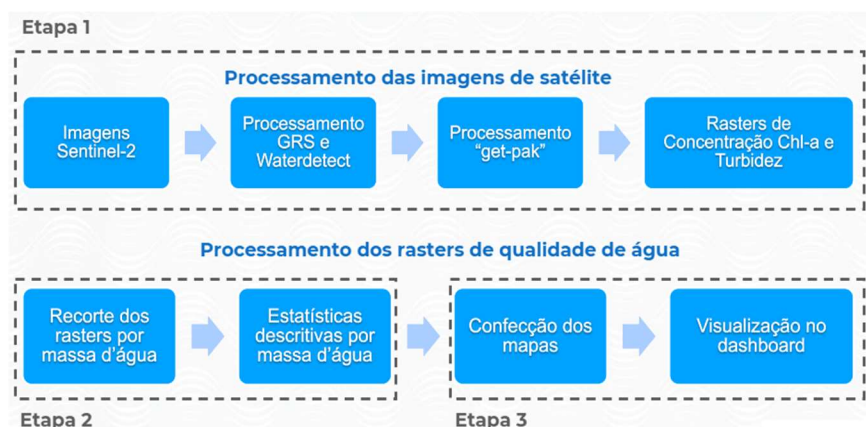


Figura 2 - Etapas do processamento, tratamento e visualização de dados de satélite para monitoramento de clorofila-a e turbidez.

2.1. Estimativa de parâmetros de qualidade da água a partir de imagens de satélite

A análise da qualidade da água por sensoriamento remoto apresenta desafios únicos, como a baixa reflectância dos alvos aquáticos e a interferência do reflexo especular da luz solar (*sunlint*). A superação desses obstáculos requer abordagens da cor da água, disciplina do sensoriamento remoto focada em extrair o sinal da coluna d'água. Nesse sentido, as imagens Sentinel-2 foram submetidas à correção atmosférica e de efeitos de superfície com o algoritmo GRS (HARMEL et al., 2018), que é especializado na obtenção da reflectância de sensoriamento remoto (R_{rs}) sobre superfícies aquáticas.

Paralelamente, para a delimitação precisa das superfícies aquáticas, utilizou-se o algoritmo WaterDetect (CORDEIRO et al. 2021). Este algoritmo gera máscaras do espelho d'água a partir de imagens Sentinel-2 pré-processadas pelo MAJA L2-A, que realiza correções atmosféricas e detecção de nuvens e sombras. As imagens MAJA foram obtidas sob demanda através da plataforma GEODES do CNES.

A intersecção da máscara de água (WaterDetect) com a imagem de reflectância de superfície (GRS) permite extrair a R_{rs} exclusivamente para os pixels classificados como água, minimizando interferências de nuvens, sombras e bordas terrestres.

A estimativa dos parâmetros de qualidade da água (clorofila-a e turbidez) foi realizada com a ferramenta de processamento de dados GETpak que inclui diversos processamentos apresentados em Tavares et al. (submetido) e Tavares et al. (2025). Em resumo, a ferramenta é capaz de obter valores de concentração de clorofila-a e turbidez a partir dos dados de R_{rs} . A partir dos dados de R_{rs} , obtidos após correção atmosférica e delimitação das superfícies aquáticas, a ferramenta realizou uma etapa de filtragem dos dados para assegurar a qualidade das informações utilizadas. Nesta etapa, foram removidos pixels que apresentem reflectâncias negativas ou extremamente baixas ($R_{rs} < 0,002 \text{ sr}^{-1}$), além daqueles com comportamentos espectrais atípicos, garantindo que apenas áreas representativas de corpos d'água sejam consideradas, reduzindo assim interferências atmosféricas residuais e efeitos de borda.

Em seguida, os pixels válidos foram classificados de acordo com seus Tipos Ópticos de Água (Optical Water Types – OWT), utilizando uma abordagem baseada na similaridade espectral com classes previamente definidas na literatura. Para cada tipo identificado, foram aplicados modelos bio-ópticos específicos para estimar as concentrações de clorofila-a e turbidez, sendo as diferenças excessivas entre múltiplas estimativas removidas por meio de critérios de consistência. Um método de combinação ponderada dos diferentes modelos utilizados gerou os mapas finais de concentração de

clorofila-a e turbidez, compatíveis com reservatórios de diferentes tamanhos dentro de uma mesma cena de satélite, prontos para análise temporal e avaliação da qualidade da água.

2.2. Agregação espacial e construção de séries temporais

Para cada raster de clorofila-a e turbidez gerado, foi feito o recorte dos dados para polígonos correspondentes a massas d'água de interesse. Em seguida, foram calculadas estatísticas descritivas espaciais (média, mediana, contagem de pixels válidos) para cada corpo d'água. Este procedimento foi repetido para cada data disponível, construindo séries temporais dos indicadores de qualidade da água para cada reservatório. A contagem de pixels válidos por imagem forneceu uma métrica da representatividade espacial do dado diário.

2.3. Geração de produtos e visualização

Os dados processados foram disponibilizados através de um painel de visualização (dashboard) web, permitindo a seleção interativa do corpo hídrico, parâmetro (clorofila-a ou turbidez), estatística (média ou mediana) e período de análise. O painel exibiu gráficos de séries temporais e permitiu a visualização dos mapas de concentração correspondentes a datas específicas, além de composições médias mensais, trimestrais e anuais.

O Índice de Estado Trófico (IET) foi calculado adaptando metodologia proposta pela CETESB (2013), que classifica o estado trófico em categorias como ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico. Destaca-se que o modelo original utiliza dados de concentração de fósforo e clorofila-a para a determinação do IET. Neste trabalho, o modelo foi adaptado para utilizar apenas os dados de clorofila-a. Relatórios em formato PDF também foram gerados automaticamente, contendo gráficos, tabelas resumo e mapas de IET. Os parâmetros estatísticos mensais foram calculados ponderando-se a contribuição de cada raster pela respectiva quantidade de pixels válidos, evitando a supervalorização de imagens com pouca cobertura útil (e.g., alta presença de nuvens).

3. ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS

O estudo concentrou-se no Açude Castanhão, localizado na bacia do Médio Jaguaribe, no estado do Ceará, Brasil. Trata-se do maior açude de múltiplos usos do país, com capacidade máxima de 6,7 bilhões de m³. As análises foram realizadas utilizando imagens Sentinel-2 da cena 24MWU, cobrindo o período de 2018 a 2024. Um total de 560 imagens foi processado na Etapa 1 para esta cena. Para a Etapa 2, e para demonstrar a capacidade de processamento para múltiplos reservatórios, foram selecionadas as 10 maiores massas d'água dentro da área da cena para agregação espacial e construção de séries temporais, sendo o Açude Castanhão o principal foco dos resultados detalhados apresentados neste artigo. A metodologia permite, em princípio, o processamento de todos os corpos d'água identificáveis na cena, inclusive os de menor porte.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As séries temporais de concentração média de clorofila-a e turbidez para o Açude Castanhão, de 2018 a 2024, são apresentadas nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

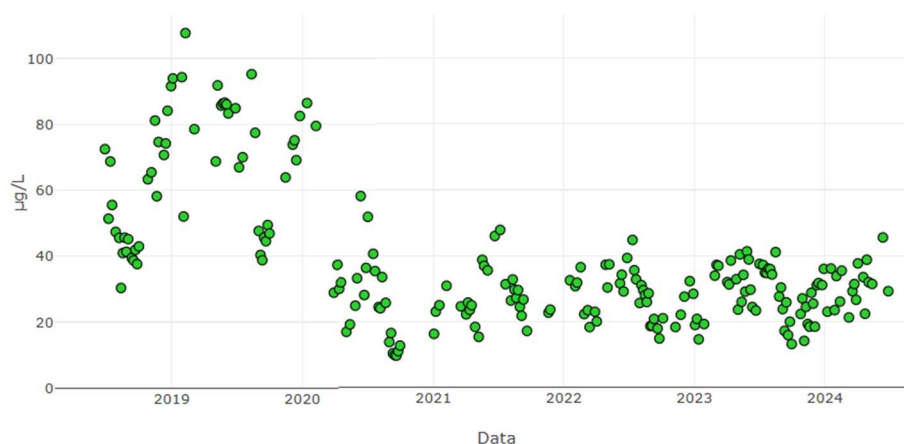


Figura 3 – Concentração de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) no Açude Castanhão de 2018 a 2024.

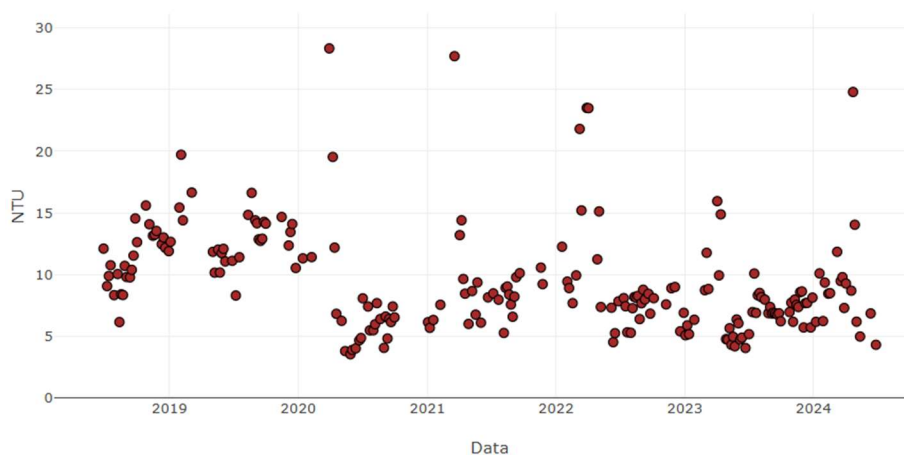


Figura 4 – Turbidez (NTU) no Açude Castanhão de 2018 a 2024.

Observou-se uma variabilidade interanual e sazonal em ambos os parâmetros. Picos de clorofila-a, frequentemente ultrapassando $60 \mu\text{g/L}$, foram registrados principalmente em 2019 e início de 2020, períodos caracterizados por menores volumes no reservatório. A turbidez também apresentou variações, embora com menor amplitude que a clorofila-a no período analisado.

A Figura 5 ilustra a distribuição espacial da concentração média de clorofila-a no Açude Castanhão para agosto de 2019 (a) e agosto de 2023 (b).

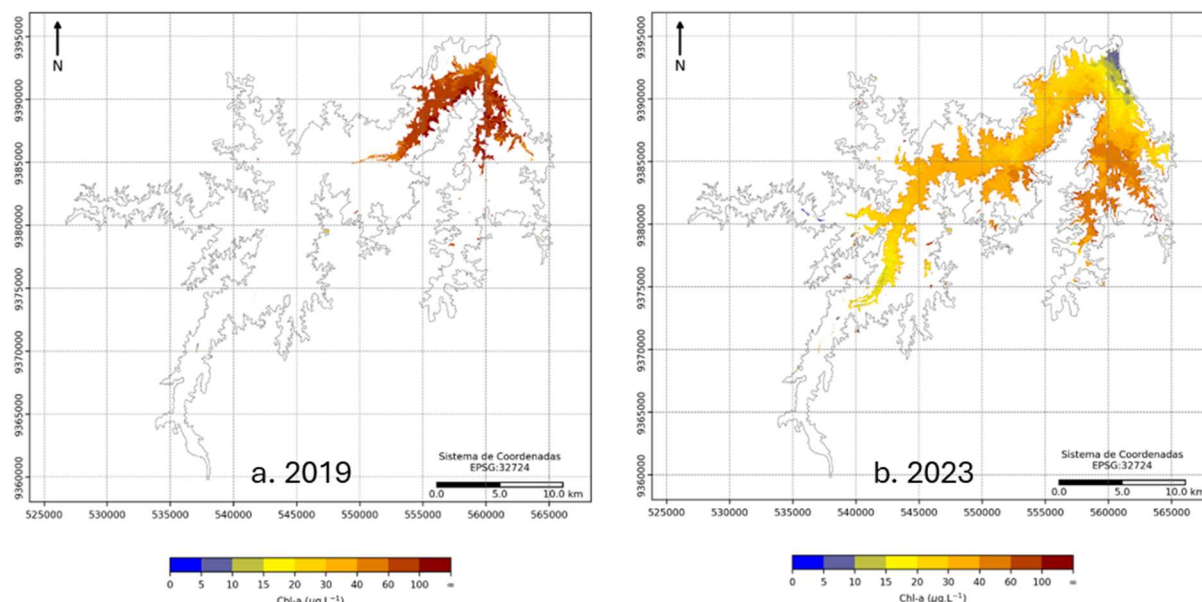


Figura 5 – Concentração média de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) no Açude Castanhão em: (a) agosto de 2019 e (b) agosto de 2023.

Em agosto de 2019, período de seca com espelho d'água reduzido, as concentrações de clorofila-a foram elevadas em extensas áreas do reservatório, com valores superando $100 \mu\text{g/L}$, indicando condições de eutrofização severa. Em contraste, em agosto de 2023, com o reservatório em níveis mais altos, houve uma redução geral nas concentrações de clorofila-a, especialmente na porção mais próxima à tomada d'água, onde os valores se situaram abaixo de $15 \mu\text{g/L}$. Essa diferença pode estar associada tanto ao efeito de diluição pelo maior volume de água quanto a possíveis variações no aporte de nutrientes.

A avaliação do Índice de Estado Trófico (IET), apresentada na Figura 6, corrobora essas observações.

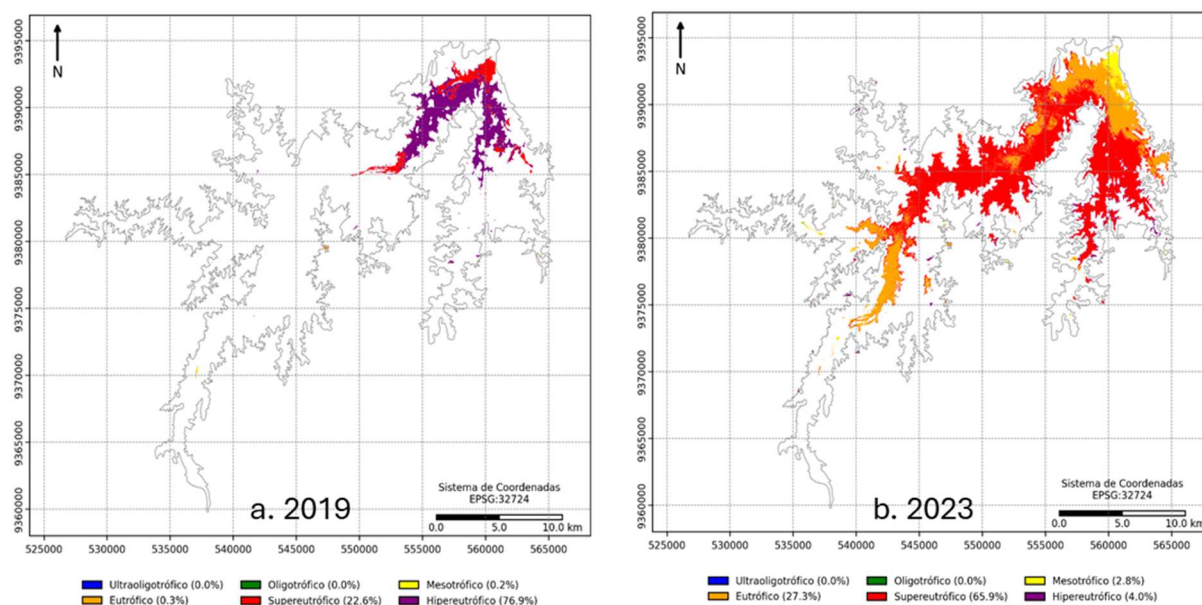


Figura 6 – Índice do Estado Trófico (IET) para concentração média de clorofila-a no Açude Castanhão em: (a) agosto de 2019 e (b) agosto de 2023.

Em agosto de 2019, aproximadamente 76,9% da área do espelho d'água foi classificada como hipereutrófica e 22,6% como supereutrófica. Já em agosto de 2023, embora ainda predominasse o estado supereutrófico (65,9%), houve um aumento da classe eutrófica (27,3%) e o surgimento de áreas mesotróficas (2,8%), principalmente na região de captação, indicando uma melhora relativa na qualidade da água.

A Figura 7 apresenta o mapa de permanência de 90% para a concentração de clorofila-a no período 2018-2024, indicando as áreas onde a clorofila-a excedeu um determinado valor em 90% do tempo. Este produto é útil para identificar zonas cronicamente afetadas por altas concentrações de algas, auxiliando no planejamento de ações de manejo e monitoramento.

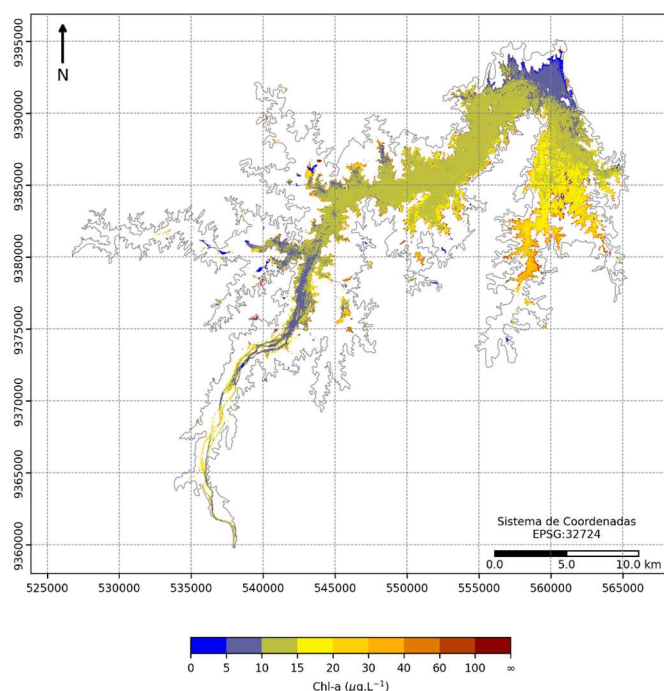


Figura 7 – Permanência 90% da concentração média de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) no Açude Castanhão entre 2018 e 2024.

A distribuição temporal do IET (Figura 8) evidencia a predominância de condições eutróficas a hipereutróficas em 2019 e 2020, com uma transição para condições majoritariamente supereutróficas e eutróficas nos anos subsequentes, com variações sazonais.

Embora os resultados detalhados aqui se concentrem no Açude Castanhão, a aplicação da metodologia aos outros nove corpos d'água selecionados na mesma cena (não detalhados individualmente por questões de brevidade, mas cujos dados foram gerados) produziu séries temporais e mapas consistentes, reforçando a capacidade do método para um monitoramento mais amplo e sua adaptabilidade a diferentes tamanhos e características de reservatórios.

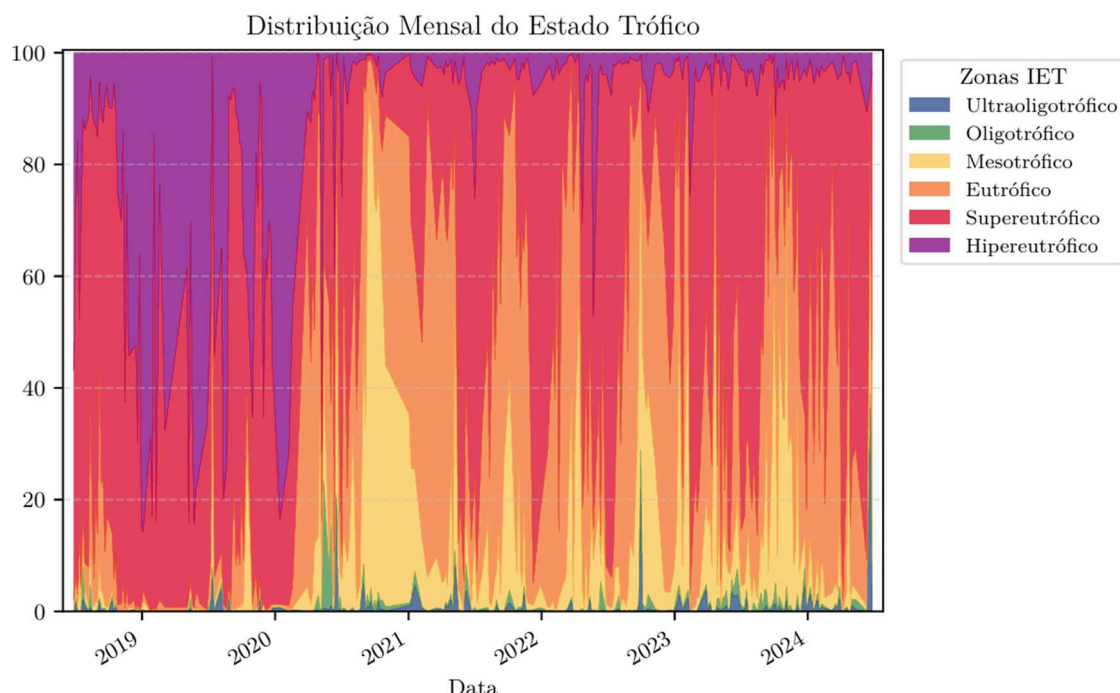


Figura 8 – Distribuição temporal do Índice de Estado Trófico (em %) para concentração de clorofila-a no reservatório do Castanhão.

5. CONCLUSÕES

A metodologia de processamento de imagens Sentinel-2 demonstrou-se uma ferramenta eficaz para a estimativa de concentrações de clorofila-a e turbidez e para o monitoramento da qualidade da água no Açude Castanhão. A combinação do algoritmo GRS, do algoritmo WaterDetect e da ferramenta GETpak permitiu a geração de produtos espaciais e temporais consistentes. A metodologia aqui apresentada, baseada no Sentinel-2 e na classificação por Tipos Ópticos de Água, representa um avanço em relação aos esforços anteriores para estimar clorofila-a, que se baseavam no sensor MODIS (Ventura et al., 2013). A resolução espacial superior do Sentinel-2 permite o monitoramento mais detalhado da variabilidade interna de múltiplos reservatórios simultaneamente, incluindo corpos d'água de menor porte, superando limitações das abordagens anteriores e ampliando o potencial de aplicação.

Os resultados para o Açude Castanhão revelaram uma dinâmica complexa da qualidade da água, influenciada por variações hidrológicas, com períodos de seca associados a uma deterioração mais acentuada, caracterizada por elevadas concentrações de clorofila-a e estado trófico predominantemente hipereutrófico. A recuperação do volume do reservatório em anos subsequentes coincidiu com uma melhora relativa, embora condições eutróficas e supereutróficas ainda persistam em grande parte do corpo d'água.

Os produtos gerados, incluindo séries temporais, mapas de distribuição espacial e de estado trófico, fornecem subsídios valiosos para a gestão dos recursos hídricos, permitindo a identificação de áreas e períodos críticos e o acompanhamento da eficácia de medidas de controle. A expansão desta abordagem para monitoramento em larga escala (e.g., estadual ou de bacias hidrográficas), mediante o processamento de múltiplas cenas, é tecnicamente possível e contribuiria para o monitoramento da qualidade da água. Trabalhos futuros podem direcionar-se à otimização do processamento para grandes volumes de dados e à validação com um conjunto mais amplo de dados in situ.

AGRADECIMENTOS

Os dados de reflectância corrigidos Sentinel-2 utilizados neste trabalho foram gerados no âmbito do “Projeto de Apoio à Melhoria da Segurança Hídrica e Fortalecimento da Inteligência na Gestão Pública do Estado do Ceará - Monitoramento da Qualidade de Água por Satélite em Reservatórios do Estado do Ceará” liderado pela FUNCEME.

REFERÊNCIAS

- BARCELOS, R.B.C.; PISCOYA, R.C.C.C.; MARTINEZ, J.M.; MENDES, R.A.; BARAN, C.T.; OLIVEIRA, J.F.L.; SERAFIM, T.A.M.; GONÇALVES, P.B.C.; LEMOS, C.M.L.; COCHONNEAU, G.; OLIVEIRA, E.; LOPES, W.T.A. (2017). “Utilização de dados do sensor espacial MODIS para caracterização do fluxo de sedimentos no rio Tocantins” in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, 2017, pp. 1-8.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (2013). “IET – Índice do Estado Trófico”. São Paulo: CETESB, nov. 2013. 4 p. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/04.pdf>. Acesso em: 22 maio 2025.
- CONDÉ, R.D.C.; MARTINEZ, J.M.; PESSOTTO, M.A.; VILLAR, R.; COCHONNEAU, G.; HENRY, R.; STEVAUX, J.C.; NOGUEIRA, M. (2019). “Indirect assessment of sedimentation in hydropower dams using MODIS remote sensing images”. Remote Sensing, v. 11(3), p. 314.
- CORDEIRO, M.C.; MARTINEZ, J.M.; PEÑA-LUQUE, S. (2021). “Automatic water detection from multidimensional hierarchical clustering for Sentinel-2 images and a comparison with Level 2A processors”. Remote Sensing of Environment, v. 253, p. 112209.
- HARMEL, T.; CHAMI, M.; TORMOS, T.; BORDE, A.; DABROWSKI, O. (2018). “Sunglint correction of the Multi-Spectral Instrument (MSI)-SENTINEL-2 imagery over inland and sea waters from SWIR bands”. Remote Sensing of Environment, v. 204, pp. 308-321.
- MENDES, R.A.; PISCOYA, R.C.C.C.; MARTINEZ, J.M.; SILVA, I.R.O.; SERAFIM, T.A.M.; BARAN, C.T.; GONÇALVES, P.B.C.; COCHONNEAU, G.; OLIVEIRA, E.; CARVALHO, J.C.; LOPES, W.T.A. (2017). “Utilização de dados do sensor espacial MODIS para caracterização do fluxo de sedimentos na bacia do rio Araguaia” in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, 2017, pp. 1-8.
- PISCOYA, R.C.C.C.; MARTINEZ, J.M.; LOPES, W.T.A.; COCHONNEAU, G.; NOGUEIRA, M.G.; VENTURA, D.L.T.; OLIVEIRA, E. (2013). “Caracterização do fluxo de sedimentos no reservatório da UHE Jurumirim utilizando dados do sensor espacial MODIS” in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, 2013, pp. 1-8.
- TAVARES, M.H.; GUIMARÃES, D.; BAUTE, V.; ROUSSILLON, J.; MARTINEZ, J.M. (2025). “Assessment of adjacency effect and its impact on retrieving turbidity over small lakes using Sentinel-2 MSI data” in Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, 2025.
- TAVARES, M.H.; GUIMARÃES, D.; ROUSSILLON, J.; BAUTE, V.; CUCHEROUSSET, J.; BOULÊTREAU, S.; MARTINEZ, J.M. “A Framework to Retrieve Water Quality Parameters in Small, Optically Diverse Freshwater Ecosystems Using Sentinel-2 MSI Imagery”. Submetido a Remote Sensing.
- VENTURA, D.L.T.; MARTINEZ, J.M.; GONÇALVES, J.F.; VILLAR, R.A.E.; ATTAYDE, J.L.; PISCOYA, R.C.C.C.; OLIVEIRA, E. (2013). “Modelos para predição da concentração de clorofila a por sensoriamento remoto em açudes do semiárido” in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, 2013, pp. 1-8.
- VENTURA, D.L.T.; MARTINEZ, J.M.; DE ATTAYDE, J.L.; MARTINS, E.S.P.R.; BRANDINI, N.; MOREIRA, L.S. (2022). “Long-term series of chlorophyll-a concentration in Brazilian semiarid lakes from Modis imagery”. Water, v. 14(3), p. 400.