MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA: APLICAÇÃO DO *ALGAEMAP* PARA ANÁLISE DE ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO E OCORRÊNCIA DE FLORAÇÕES ALGAIS NO LAGO GUAÍBA (RS)

Paula Ivana Riediger[1], Vinicius Melgarejo Montenegro Silveira[2] e Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues[3]

Abstract

This study assesses the application of *AlgaeMap* for monitoring water quality in Lake Guaíba using remote sensing and in situ data. The methodology was based on the analysis of Sentinel-2 imagery to estimate the Normalized Difference Chlorophyll Index (NDCI), chlorophyll-a (Chl-a), and the Trophic State Index (TSI) from 2015 to 2024, using outputs processed by Google Earth Engine (GEE). The results were compared with water quality monitoring data provided by the State Environmental Protection Foundation Henrique Luis Roessler (FEPAM). The tool showed sensitivity in identifying critical areas and periods of algal bloom, based on comparisons between *AlgaeMap* estimates and in situ measurements. The study highlights the potential of remote sensing tools as a complementary approach to in situ water quality monitoring.

Resumo

Este estudo avalia a aplicação do *AlgaeMap* para o monitoramento da qualidade da água do Lago Guaíba, utilizando sensoriamento remoto e dados *in situ*. A metodologia baseou-se na análise de imagens Sentinel-2, para a estimativa do índice *Normalized Difference Chlorophyll Index* (NDCI), clorofila-a (Chl-a) e do Índice de Estado Trófico (IET) no período de 2015 a 2024, a partir dos resultados processados pelo GEE. Os resultados foram comparados a dados de monitoramento da qualidade da água disponibilizados pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM). A ferramenta demonstrou sensibilidade para identificar áreas e períodos críticos de florações algais, a partir da comparação entre as estimativas do *AlgaeMap* com dados *in situ.* O estudo mostra o potencial da ferramenta de sensoriamento remoto como complemento ao monitoramento *in loco* da qualidade da água.

Palavras-chave: Lago Guaíba; sensoriamento remoto; clorofila-a

INTRODUÇÃO

O monitoramento da qualidade da água por sensoriamento remoto permite a avaliação das condições hídricas em grandes escalas espaciais e temporais, sendo uma ferramenta complementar aos métodos tradicionais. Essa tecnologia possibilita a coleta de dados com maior abrangência espacial e temporal, superando limitações dos métodos convencionais, que são dispendiosos e pontuais (Gholizadeh *et al.*, 2016). Substâncias opticamente ativas, como fitoplâncton, sedimentos em suspensão e matéria orgânica dissolvida, interferem no espectro de absorção e espalhamento da radiação na água, alterando sua coloração (Barbosa *et al.*, 2019). Essas interações são essenciais para a identificação de padrões espectrais e indicadores de qualidade da água. Neste sentido, componentes

[1] Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Paula.riediger@gmail.com

[2]Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

[3] Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

como clorofila-a, sedimentos em suspensão e matéria orgânica dissolvida são usados para modelar parâmetros de qualidade, como turbidez e produtividade biológica (Wang *et al.*, 2015).

O monitoramento de produção primária, concentração de nutrientes e clorofila-a (eutrofização) também se baseia na detecção de padrões espectrais associados aos constituintes opticamente ativos presentes na coluna d'água. O fitoplâncton, representado pela clorofila-a, apresenta alta absorção nas faixas azul e vermelha e maior refletância no verde, caracterizando, assim, sua assinatura espectral (Wang *et al.*, 2015). Essa propriedade permite sua identificação e quantificação por sensores remotos. A clorofila-a atua como um indicador da produtividade primária e da disponibilidade de nutrientes, sendo também utilizada para monitorar o risco de eutrofização, um processo que pode levar à proliferação de algas, algumas espécies potencialmente tóxicas, e à degradação da qualidade da água (Wang *et al.*, 2015). A obtenção contínua de dados espectrais permite acompanhar essas dinâmicas, prever impactos ecológicos e apoiar a formulação de estratégias de gestão para mitigar os efeitos negativos (Barbosa *et al.*, 2019).

O *Normalized Difference Chlorophyll Index* (NDCI), proposto por Mishra e Mishra (2012), é um índice utilizado para estimar concentrações de clorofila-a (Chl-a) a partir de dados de sensoriamento remoto em águas turvas e enriquecidas. O NDCI utiliza o pico de reflectância da Chl-a em 708 nm e a forte característica de absorção no vermelho (665 nm).

Estudos no Lago Guaíba, localizado no sul do Brasil, mostraram a viabilidade de integrar dados de sensoriamento remoto a medições *in situ* para monitorar florações algais e indicadores de qualidade da água. Corazza (2015) avaliou episódios de florações de algas por imagens Landsat e dados limnológicos, destacando o papel de fatores climáticos como precipitação e luminosidade na dinâmica dessas florações. Toniolo *et al.* (2018) caracterizou propriedades ópticas do lago, mostrando que baixas concentrações de sedimentos e clorofila-a podem dificultar a modelagem espectral. Veettil *et al.* (2014) analisaram variações sazonais na qualidade da água, identificando despejos urbanos como os principais causadores de redução de qualidade durante a estação chuvosa.

O avanço das técnicas de sensoriamento remoto tem ampliado a cobertura espacial e a frequência temporal de aquisição de dados, consolidando-se como uma ferramenta essencial para o monitoramento de ambientes aquáticos (Topp *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2022). Plataformas como o Google Earth Engine (GEE) permitem o processamento eficiente de grandes volumes de imagens de satélite, viabilizando análises temporais em larga escala. Estudos recentes demonstram que o uso do GEE, aliado a sensores como Sentinel-2 e Landsat, tem facilitado o mapeamento da clorofila-a (Chl-a), a estimativa da abundância de fitoplâncton e a avaliação do estado trófico das águas interiores (Atay & Kaplan, 2023; Singh *et al.*, 2023).

O aplicativo *AlgaeMap* (Lobo *et al.* 2021), desenvolvido no GEE, utiliza imagens Sentinel-2 corrigidas para efeitos atmosféricos e de brilho solar para gerar uma coleção de imagens do NDCI, a partir de 2015, com resolução temporal de dois a três dias. O aplicativo realiza estimativas da concentração de Chl-a por meio de um modelo de ajuste não linear e do Índice de Estado Trófico (IET) (CETESB, 2017), utilizando um modelo de decisão em árvore. O aplicativo disponibiliza informações como o NDCI, concentração de clorofila e IET para diversos lagos e reservatórios da América Latina, incluindo o Lago Guaíba.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo analisar as informações disponíveis para o Lago Guaíba por meio do *AlgaeMap* (Lobo *et al.*, 2021), identificar regiões e períodos de maiores níveis de trofia, bem como avaliar seu potencial de utilização como ferramenta complementar para monitoramento da qualidade da água, a partir da validação com resultados de monitoramento *in situ.*

MATERAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O Lago Guaíba drena as águas de aproximadamente um terço do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo áreas urbanas e rurais com intensa atividade agrícola, industrial e doméstica (Andrade *et al.*, 2019). A qualidade da água do lago é influenciada pelas bacias hidrográficas de montante e pela própria bacia do lago, recebendo cargas provenientes dos rios Jacuí, Caí, Sinos e Gravataí. Esses aportes, combinados com o lançamento de efluentes domésticos e industriais, impactam a qualidade das águas (Guerra, 2015; Bendati *et al.*, 2003).

A região metropolitana de Porto Alegre, onde está concentrada a maior parte da população do estado, contribui com os maiores volumes de esgotos domésticos e resíduos sólidos, resultando em aportes de matéria orgânica e nutrientes que afetam os usos da água. Entre os principais efeitos desse cenário estão as florações algais, que no Lago Guaíba são relacionadas a condições como alta insolação, temperaturas elevadas, baixa vazão dos rios afluentes e alta concentração de nutrientes (Paz *et al.*, 2005, Ribeiro *et al.*, 2012, Riediger *et al.*, 2017). Desde a década de 1970, esses eventos têm sido registrados, sendo intensificados no final da década de 1990, com a presença de cianobactérias do gênero Planktothrix, conhecidas pela liberação de metabólitos, como metil-isoborneol (MIB) e geosmina, que afetam as características sensoriais da água (Rossi & Suminsky, 2007, Bendati *et al.*, 2005). A Figura 1 apresenta a área de estudo e os pontos de monitoramento da qualidade da água no Lago Guaíba (FEPAM, 2024), utilizados neste estudo.

Figura 1. Área de estudo – Lago Guaíba e pontos de monitoramento da Fepam (2024).



Fonte: Elaboração própria a partir de Fepam (2024).

Obtenção e análise dos dados

Foram analisadas imagens Sentinel-2 processadas pelo aplicativo *AlgaeMap* (Lobo *et al.*, 2021), abrangendo o período de 2015 a 2024, com estimativas de concentração de clorofila-a (Chl-a), Índice de Estado Trófico (IET) e NDCI. O objetivo foi identificar períodos críticos de florações algais, avaliar os graus de trofia no Lago Guaíba e verificar a correspondência das estimativas do *AlgaeMap* com dados de monitoramento *in situ*.

Devido às limitações do aplicativo no processamento de grandes corpos d'água, a análise foi restrita a um polígono de interesse, localizado em área com os maiores valores históricos de NDCI e Chl-a. Nessa região, foram avaliadas as séries temporais de NDCI, Chl-a e IET com base na Tabela 1, com o objetivo de identificar os períodos mais críticos.

Tabela 1. Limiares de concentração de Chl-a para os níveis de estado trófico segundo a CETESB

Estado Trófico	Chlorophyll-a (µg/L)
Ultraoligotrófico	Chl-a < 1,17
Oligotrófico	1,17 < Chl-a < 3,24
Mesotrófico	3,24 < Chl-a < 11,03
Eutrófico	11,03 < Chl-a < 30,55
Supereutrófico	30,55 < Chl-a < 69,05
Hypereutrófico	69,05 <Chl-a

Fonte: Lobo *et al.* (2021)

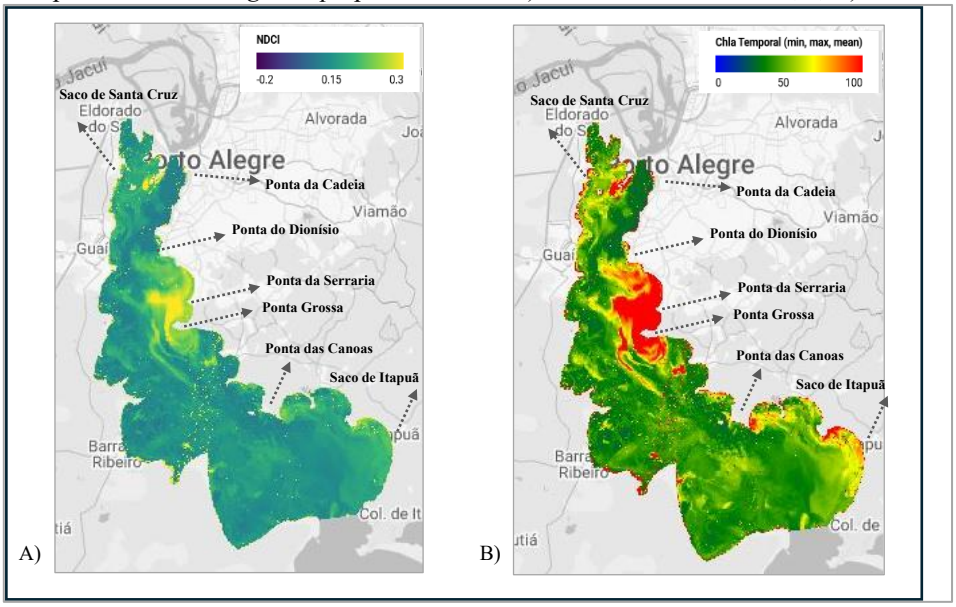
Por fim, os resultados do *AlgaeMap* foram comparados aos dados de monitoramento da FEPAM (2024), com o intuito de avaliar a capacidade do aplicativo em captar eventos de florações algais e níveis elevados de trofia no período analisado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Identificação de áreas e períodos críticos

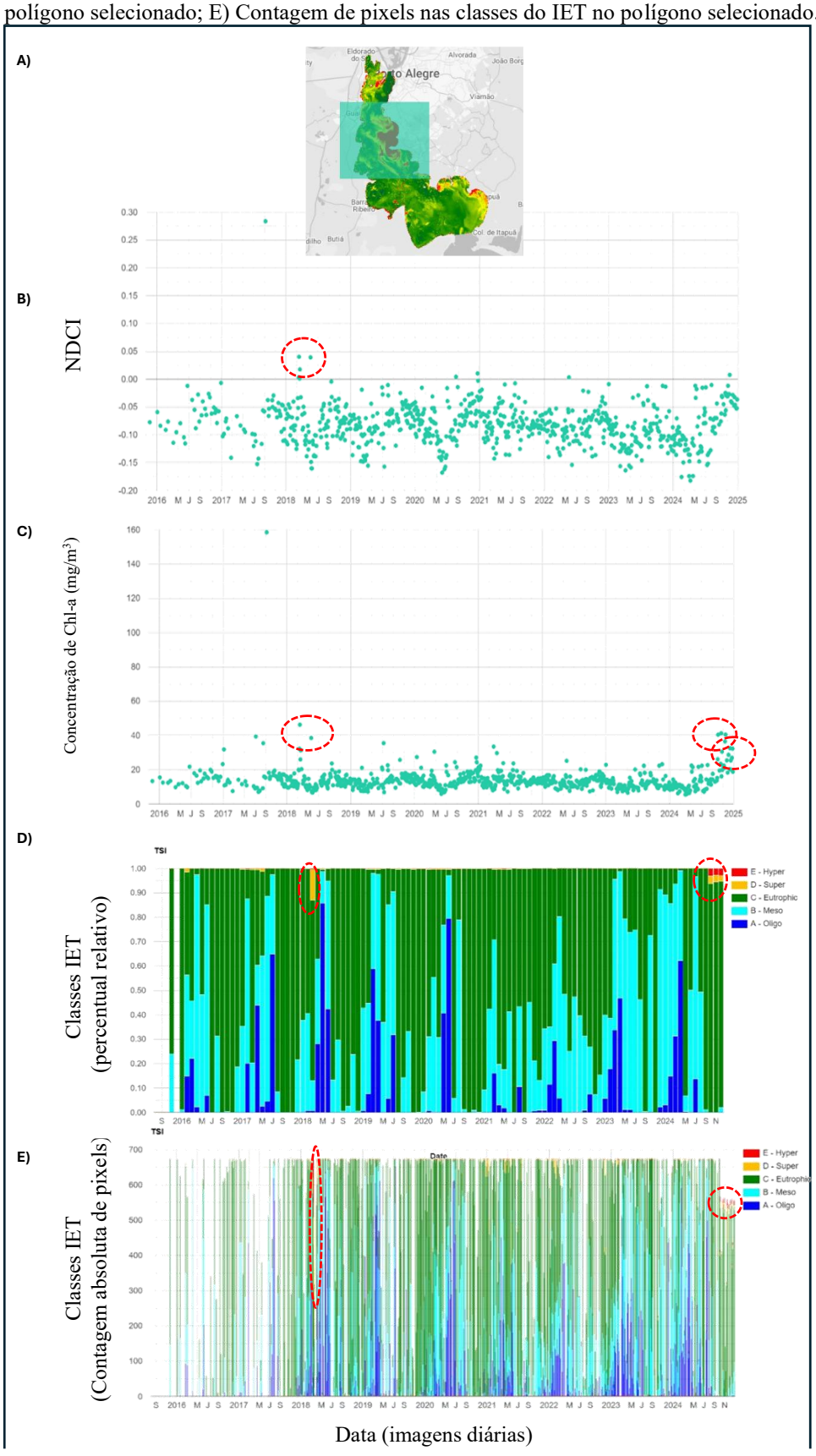
A Figura 2 apresenta o NDCI (A) e a concentração máxima (B) no período entre novembro de 2015 e dezembro de 2024. Esses resultados evidenciam os locais com as maiores concentrações de cianobactérias, com destaque para a margem direita, próximo à Eldorado do Sul, no Saco de Santa Cruz e da Ponta do Dionísio até a jusante da Ponta Grossa, além da região entre a Ponta das Canoas e o Saco de Itapuã. Essas regiões são caracterizadas pelas baixas velocidades, que variam entre 0,01 m/s e 0,03 m/s, de acordo com Paz *et al.* (2005), o que favorece a dinâmica associada à ocorrência das florações. A região que apresentou as maiores concentrações de cianobactérias está localizada na região compreendida entre a Ponta do Dionísio e a Ponta Grossa, local próximo ao emissário da ETE Serraria (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2015). Em função disso, essa região foi selecionada para análise dos períodos críticos no período de análise.

Figura 2 –Captura de tela do *AlgaeMap* apresentando o A) NDCI Máx. 2015-2024; e, B) Chl-a Máx. 2015-2024.



A Figura 3 apresenta o polígono selecionado, bem como o NDCI, a concentração média de Chl-a, a média mensal do percentual das classes de IET e a contagem de pixels nas classes do IET. Os círculos vermelhos pontilhados na figura indicam apenas períodos com maiores NDCIs, concentração de Chl-a, e, por consequência, IETs em níveis maiores de trofia (Supereutrófico e Hipereutrófico).

Figura 3 – Capturas de tela do *AlgaeMap:* A) Polígono selecionado para apresentação dos resultados da série histórica; B) NDCI entre 2015 e 2024; C) Concentração média de Chl-a; D) Média mensal do percentual das classes de IET no polígono selecionado; E) Contagem de pixels nas classes do IET no polígono selecionado.



Fonte: Elaborado a partir do aplicativo *AlgaeMap* (LOBO *ET AL.*, 2021).

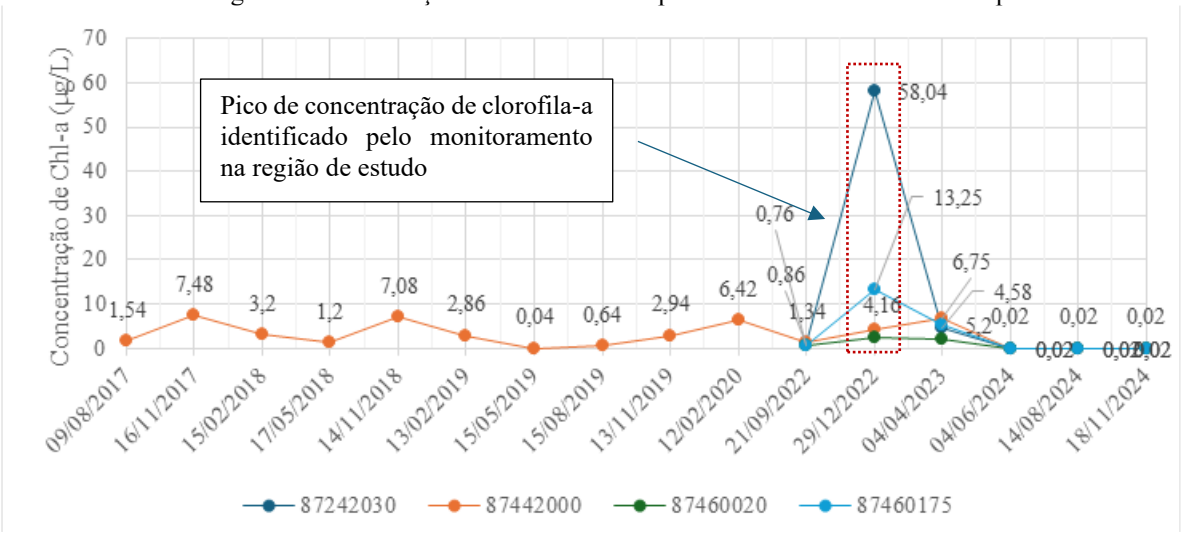
Com base nas informações apresentadas, observa-se na Figura 3 A, que os valores máximos de clorofila-a concentram-se na região entre a Ponta do Dionísio e a Ponta Grossa. A série histórica indica ocorrência de florações, a partir das maiores concentrações de Chl-a Figura 3 C, e maiores percentuais de pixels nas classes de IET Hipereutrófico e Supereutrófico (Figura 3 D e E) em março de 2018 e nos meses finais de 2024. Apesar desses eventos, predominam no polígono selecionado os estados tróficos Eutrófico e Mesotrófico, que remetem à necessidade de controle dos fatores causadores das florações, como o aporte de nutrientes no manancial.

Comparação com dados *in situ*

A base de dados públicos consultada (FEPAM, 2024) passou a disponibilizar dados do monitoramento do Lago em 2022, conforme a Figura 4, com frequência variável, de até três campanhas anuais. O ponto 87442000, situado no Canal dos Navegantes, com dados a partir de 2017, não é abrangido pelos resultados do *AlgaeMap*, portanto, não pôde ser considerado nas análises.

A análise dos resultados do monitoramento da qualidade da água (Figura 4) evidenciou que as maiores concentrações de clorofila-a (Chl-a) foram obtidas no dia 29/12/2022, com valores de 58 µg/L no ponto 87242030 (Itapuã), 13,25 µg/L, no ponto 87460175 (próximo à Ponta Grossa) e 2,46 µg/L no 87460020 (Vila Assunção).

Figura 4. Concentração de clorofila-a nos pontos de monitoramento da Fepam.



Fonte: Elaborado a partir de Fepam (2024).

Foram analisadas imagens do Sentinel-2 processadas pelo *AlgaeMap*, selecionando-se os dias sem cobertura de nuvens (25/12/2024, 30/12/2024 e 04/01/2025) para os três pontos de coleta *in situ*. As imagens correspondem a datas próximas ao monitoramento de campo, com o objetivo de verificar e comparar os resultados. As concentrações estimadas por imagem e os valores medidos estão apresentados na Tabela 2, bem como o resultado da média das concentrações obtidas nas três imagens e a diferença percentual em relação aos valores medidos.

Tabela 2. Comparação dos resultados do monitoramento *in situ* com os resultados das imagens

Código	Concentração (µg/L)					Diferença percentual
	Coleta *in situ** 29/12/2025	imagem 25/12/2025	imagem 30/12/2025	imagem 04/01/2025	Média das imagens	
87460020	2,46	9,68	7,41	7,82	8,30	237,57%
87460175	13,25	14,06	17,12	14,35	15,18	14,58%
87242030	58,04	17,31	13,18	21,67	17,39	-70,04%
Legenda de cores	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Supereutrófico		

Fonte: Elaborado a partir de Fepam (2024)* e *AlgaeMap* (LOBO *ET AL.*, 2021)

A comparação entre os valores medidos de clorofila-a e as estimativas obtidas a partir do *AlgaeMap* revelou variações na concordância entre os métodos, a depender do ponto analisado. No ponto 87460175 (próximo à Ponta Grossa), a diferença percentual entre o valor medido e a média das imagens foi de aproximadamente 15%, indicando boa aproximação entre os dados de campo e os estimados por sensoriamento remoto. Já no ponto mais a montante, 87460020 (região da Vila Assunção), observou-se uma superestimação de 237% em relação à média dos valores das imagens. Por outro lado, no ponto 87242030 (localizado em Itapuã), a subestimação foi próxima de 70%. Nota-se que a concentração elevada de clorofila -a neste ponto mais a jusante é bastante elevada e atípica (com base nos resultados do monitoramento existente), indicando a necessidade de verificação de outros parâmetros em conjunto para melhor compreender os fenômenos que possam ter causado essa concentração elevada, bem como erros laboratoriais.

Nota-se que, no ponto 87460175, classificado como eutrófico, houve maior concordância entre os valores medidos e estimados por sensoriamento remoto. No entanto, onde as concentrações de clorofila-a foram menores, como no ponto 87460020 (classificado como Oligotrófico), as imagens indicaram um estado trófico superior, correspondente à condição mesotrófica. Da mesma forma, no ponto 87242030 (classificado como Supereutrófico), as imagens apontaram um estado trófico inferior, enquadrando-o como eutrófico.

Os resultados indicam que os produtos derivados de sensoriamento remoto apresentam potencial para apoiar o monitoramento da qualidade da água, especialmente em locais onde a variação espacial é relevante e a cobertura espacial das amostras é limitada, como é o caso analisado. No entanto, sua utilização deve ser feita de forma complementar, e o desenvolvimento de modelos de calibração específicos que levem em consideração a dinâmica do Lago pode melhorar a confiabilidade das estimativas.

Além disso, a implementação de sistemas de monitoramento periódico e contínuo é cada vez mais importante diante do agravamento dos problemas relacionados à qualidade da água. A estimativa da qualidade é fundamental para a gestão dos recursos hídricos e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos. Métodos tradicionais, embora precisos, apresentam limitações espaciais e temporais por serem pontuais. Por isso, a ampliação do uso de tecnologias que proporcionem maior abrangência espacial e temporal pode suprir lacunas importantes no monitoramento, permitindo inclusive a identificação de eventos de florações (Galodha *et al.*, 2023, Singh *et al.*, 2022).

Nesse contexto, destaca-se a relevância de plataformas como o Google Earth Engine (GEE), que viabilizam o processamento de grandes volumes de dados de sensoriamento remoto com imagens corrigidas e alta frequência temporal. A utilização do GEE em conjunto com dados dos sensores Landsat-8/9 e Sentinel-2 possibilita a geração de modelos empíricos para parâmetros como clorofila-a, turbidez e sólidos suspensos. Além disso, a plataforma permite a visualização de variações espaciais e temporais por meio de mapas temáticos e gráficos de séries temporais, bem como o desenvolvimento de aplicações web voltadas ao monitoramento da qualidade da água (Atay & Kaplan, 2023; Galodha *et al.*, 2023; Singh *et al.*, 2023).

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que as estimativas de clorofila-a por sensoriamento remoto apresentaram melhor aderência nos locais com estado trófico eutrófico. Em pontos com concentrações mais baixas (Oligotróficos) ou mais elevadas (Supereutróficos), observaram-se discrepâncias relevantes, sugerindo a necessidade de ajustes no modelo de estimativa para diferentes faixas de trofia. A ampliação da análise para um maior número de datas pode contribuir para avaliar a consistência temporal das estimativas e refinar a interpolação de dados em períodos sem imagens disponíveis.

Apesar das limitações observadas, os dados obtidos por sensoriamento remoto demonstram ganho para o acompanhamento dos graus de trofia ao longo do tempo, especialmente pela ampla cobertura espacial e frequência de aquisição. No entanto, para que as concentrações estimadas por satélite sejam mais representativas, é necessário calibrar os modelos com base em dados locais, obtidos em diferentes condições ambientais. A incorporação de séries de monitoramento de companhias de saneamento, como do DMAE e Corsan pode viabilizar a verificação em maior número de pontos e fortalecer a integração entre dados *in situ* e estimativas por sensoriamento remoto.

Os resultados deste estudo indicaram que o *AlgaeMap*, ferramenta baseada em sensoriamento remoto, permitiu a identificação de períodos e locais com maiores concentrações de clorofila-a com alta resolução espacial e temporal, com destaque para a região compreendida entre a Ponta do Dionísio e a Ponta Grossa. Os resultados da série histórica evidenciam diferentes períodos com florações em março de 2018 e nos meses finais de 2024.

Entre as limitações observadas no uso de imagens, destaca-se a ausência de aquisição na mesma data da coleta de campo. A média de três datas próximas foi utilizada como alternativa para compensar essa limitação, embora tal abordagem possa atenuar picos de concentração.

Estudos futuros poderão investigar a relação entre variabilidade climática e alterações na dinâmica das florações algais, com ênfase nos impactos sobre os usos da água, após a calibração do modelo e novos estudos mais detalhados para o Lago Guaíba. Também se recomenda a análise de tendências e modificações no comportamento das florações após eventos extremos, como as inundações de 2024 no Rio Grande do Sul, que influenciaram a composição e a concentração de plâncton e sedimentos, com possível efeito sobre a ressuspensão de nutrientes. A ampliação do uso da ferramenta para outros sistemas hídricos e a integração com novas tecnologias de sensoriamento remoto e processamento em nuvem podem contribuir para o aprimoramento do monitoramento e da gestão dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. C. DE; RODRIGUES, L. R.; ANDREAZZA, R.; CAMARDO, F. A. DE O. (2019). "Lago Guaíba: uma análise histórico-cultural da poluição hídrica em Porto Alegre, RS, Brasil". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 24, e52.* Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-41522019155281

ATAY, M. A.; KAPLAN, G. (2023). "Large-Scale Mapping of Inland Waters with Google Earth Engine Using Remote Sensing". In: *Enviroment Sciences Proceedings, 25, 52.* Disponível em: https://doi.org/10.3390/ECWS-7-14171

BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. DE M.; MARTINS, V. S. (2019). *Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações.* INPE.

BENDATI, M. M.; MAIZONAVE, C. R. M.; FACCHIN, J. M. J.; *ET AL.* (2005). "Ocorrência de floração de cianobactéria Planktothrix mougeotti no Lago Guaíba em 2004: atuação do DMAE no abastecimento público". In: *XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Campo Grande: ABES.*

BENDATI, M. M.; SCHWARZBACH, M.; MAIZONAVE, C.; ALMEIDA, L.; BRINGHENTI, L. (2003). "Avaliação da qualidade da água do Lago Guaíba. Subsídios para a gestão da bacia hidrográfica". *Revista Pesquisa ECOS. Porto Alegre - RS. Ano 4. Nº7.*

CETESB. (2017). *Indice de Estado Trófico.* Relatório técnico. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf

CORAZZA, R. (2015). *Identificação de florações de algas no lago Guaíba com uso de imagens de satélite e espectrorradiometria de campo.* Tese de doutorado.

FEPAM/DIPLAN. (2024). *Pontos de monitoramento da qualidade da água superficial no RS.* FEPAM (2024). Disponível em: https://gis.fepam.rs.gov.br/RSAgua/#

GALODHA, A. *ET AL.* (2023). "Spatio-temporal, geospatial, and time series analysis of water quality estimation using Landsat 8,9, Sentinel-2, and MODIS series for the region of India: A Google Earth Engine based web-application". *EGUsphere.* Disponível em: http://dx.doi.org/10.5194/egusphere-egu23-16876

GHOLIZADEH, M. H.; MELESSE, A. M.; REDDI, L. (2016). "A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques". *Sensors, 16(8), 1298.* Disponível em: https://doi.org/10.3390/s16081298

GUERRA, T. (2015). *O comitê de gerenciamento do Lago Guaíba.* Disponível online. Disponível em: http://www.ecologia.ufrgs.br/ecologia/ea/comite_lago_guaiba.pdf

LOBO, F. D. L. *ET AL.* (2021). "*AlgaeMap*: Algae Bloom Monitoring Application for Inland Waters in Latin America". *Remote Sensing, 13(15), 2874.* Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs13152874

MISHRA, S.; MISHRA, D. R. (2012). "Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters". *Remote Sens. Environ., 117, pp. 394–406.*

PAZ, A. R.; REIS, L. G. M.; LIMA, H. V. C. (2005). "Uso de modelagem hidrodinâmica visando a segmentação de corpos d'água rasos para enquadramento: o caso do Lago Guaíba (RS)". In: *XVI Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, 20 a 24 de novembro de 2005.*

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. (2015). *Plano Municipal de Saneamento Básico; Diagnóstico.* Disponível online. Disponível em: https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu_doc/sites/dmlu/Plano%20Municipal%20de%20Saneamento%20B%C3%A1sico/01pmsb.pdf

RIBEIRO, G. F.; ANDRADE, R. R.; MAIZONAVE, C. R. M.; CROSSETT, L. O. (2012). "Effects of cyanobacterial summer bloom on the phytoplankton structure in an urban shallow lake, Guaíba Lake, southern Brazil". *Neotropical Biology and Conservation, 7(2), 78–87.* Disponível em: https://doi.org/10.4013/nbc.2012.72.01

RIEDIGER, P. I.; RODRIGUES, L. R.; MARQUES, D. M. (2017). "Predição das variáveis explicativas relacionadas à dinâmica da clorofila-a no Lago Guaíba (RS) por meio de modelo multiplicativo não-paramétrico". In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – XXII, Florianópolis. Anais [...]. Porto Alegre: ABRH.*

ROSSI, R.; SUMINSKY, M. (2007). "Experiência do DMAE com a aplicação de dióxido de cloro na fase de pré-tratamento da ETA Tristeza: atuação sobre propriedades organolépticas e "fouling" de mexilhão dourado". In: *Assembleia Nacional da ASSEMAE: 37°, Guarulhos/SP.*

SINGH, G. (2023). "Spatio-temporal, geospatial, and time series analysis of water quality estimation using Landsat 8,9, Sentinel-2, and MODIS series for the region of India: A Google Earth Engine based web-application". *EGUsphere.* Disponível em: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-16876

SINGH, N. *ET AL.* (2022). "Potential of Open Source Remote Sensing Data for Improved Spatiotemporal Monitoring of Inland Water Quality in India: Case Study of Gujarat". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 88(3), 155–163.*

TONIOLO, G. R.; GUASSELLI, L. A.; ARRUDA, D. C. DE; FILHO, W. P. (2018). "Identificação de constituintes opticamente ativos na água do Lago Guaíba a partir de dados de sensores orbitais e espectrorradiometria de campo". *Pesquisas em Geociências, 45(2), e0635.* Disponível em: https://doi.org/10.22456/1807-9806.88645

TOPP, S. N. *ET AL.* (2020). "Research trends in the use of remote sensing for inland water quality science". *Water, 12(1), 169.* Disponível em: https://doi.org/10.3390/W12010169

VEETTIL, B. K.; BIANCHINI, N. (2014). "A Remote Sensing Approach for Monitoring Seasonal Variations in the Water Quality of Lake Guaiba, Southern Brazil". *Recent Trends in Civil Engineering & Technology, 4, 1–10.*

WANG, S. *ET AL.* (2015). "MODIS-based Radiometric color extraction and classification of inland water with the Forel-Ule scale: A case study of lake Taihu". *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 8(2), 907–918.*