



COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-A COM O USO DE SENSORIAMENTO REMOTO

Janaina Castro de Mendonça¹, Éder Ramon Feitoza Ledo², Maria Gina Torres Sena³,
Fernando Bezerra Lopes⁴, Eunice Maia de Andrade⁴

RESUMO: Diversos métodos têm sido propostos para a estimativa da concentração de clorofila-a, utilizando dados de sensores remotos, desse modo buscou-se avaliar o desempenho de oito métodos. Dados limnológicos e espectrais foram coletados em quatro pontos no Reservatório General Sampaio, em seis coletas, entre 2015 e 2016. Aplicou-se as oito equações propostas pela literatura e comparou-as à estimativa com os dados medidos. Na avaliação do desempenho dos modelos foram utilizados o coeficiente de determinação, o coeficiente de correlação, o índice de concordância, coeficiente de Nash-Sutcliffe, erro médio absoluto, e o raiz quadrada do erro médio quadrático. Com base nos resultados, pode se observar que o modelo que apresentou menor erro na estimativa da concentração de clorofila-a foi o proposto por Moses, enquanto que o pior desempenho foi observado na metodologia sugerida por Huang. A maioria dos modelos testados foram desenvolvidos em reservatórios de condições bem distintas, porém todos eles apresentaram uma eficiência aceitável, explicando sempre valores acima de 79% dos dados de clorofila medidos.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade de água, componente opticamente ativo, reservatórios superficiais.

COMPARISON OF METHODS OF ESTIMATION OF THE CONCENTRATION OF CHLOROPHYLL-A WITH THE USE OF REMOTE SENSING

ABSTRACT: Several methods have been proposed for the estimation of chlorophyll-a concentration, using remote sensing data, considering this important attribute in the monitoring of the water quality in surface reservoirs, we aimed to evaluate the performance of eight methods. Limnological and spectral data were collected at five points in the General Sampaio Reservoir, in six missions, between 2015 and 2016. The eight equations proposed in the literature were applied and the estimation was compared with the measured data. The coefficient of determination, correlation coefficient, concordance index, Nash-Sutcliffe coefficient, absolute mean error, and square root mean square error were used in the evaluation of the performance of the models. Based on the results, it can be observed that the model that presented a smaller error associated with the estimation of chlorophyll-a concentration was the one proposed by Moses, whereas the worse performance was verified when testing the methodology suggested by Huang. Most of the models tested were developed in reservoirs of very different conditions, but all of them presented an acceptable efficiency, always explaining values above 79% of measured chlorophyll data.

KEYWORDS: water quality, optically active component, surface reservoirs

¹ Enga. Agrônoma, mestranda em Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceará, CEP:60.455-970, Fortaleza, CE. Fone (85) 99839-5479. e-mail: janainacastromendonca@hotmail.com

² Doutorando em Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

³ Graduanda em Agronomia. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

⁴ Profs. Drs. Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE



INTRODUÇÃO

O gerenciamento adequado dos recursos hídricos fundamenta-se, cada vez mais, no desenvolvimento de estudos que permitam conhecer a distribuição espacial e temporal dos indicadores de qualidade da água, principalmente no caso de águas continentais destinadas ao consumo da população (Ennes et al., 2010).

Diversas pesquisas relacionam a concentração de clorofila em solução aquosas e medidas de reflectância utilizando sensores remotos multiespectrais e hiperespectrais, (Dall'olmo & Gitelson, 2005; Huang et al. 2012; Moses et al., 2012; Lopes et al., 2016; Mendonça et al., 2017) fornecem evidências que um modelo com três bandas espectrais, originalmente desenvolvido para estimar pigmentos fotossintetizantes de vegetação terrestre (Gitelson et al., 2003), também poderia ser usado para clorofila-a em águas superficiais.

Nesse contexto, objetivou-se testar diferentes modelos bio-ópticos de três bandas, através do uso de sensoriamento remoto para estimar concentrações de clorofila-a, aplicando as equações propostas em dados de águas superficiais em reservatório da região semiárida.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no Reservatório General Sampaio (Figura 1), inserido na Bacia Hidrográfica do rio Curu. Localizado no Município de General Sampaio, Ceará. O reservatório tem capacidade máxima de armazenamento de 322,2 hm³. Na maior parte da bacia, segundo a classificação de Köppen apresenta clima BSh'w, semiárido quente, com chuvas de outono, temperaturas médias sempre superiores a 18°C e precipitação anual média de 755 mm (Lopes et al., 2015).

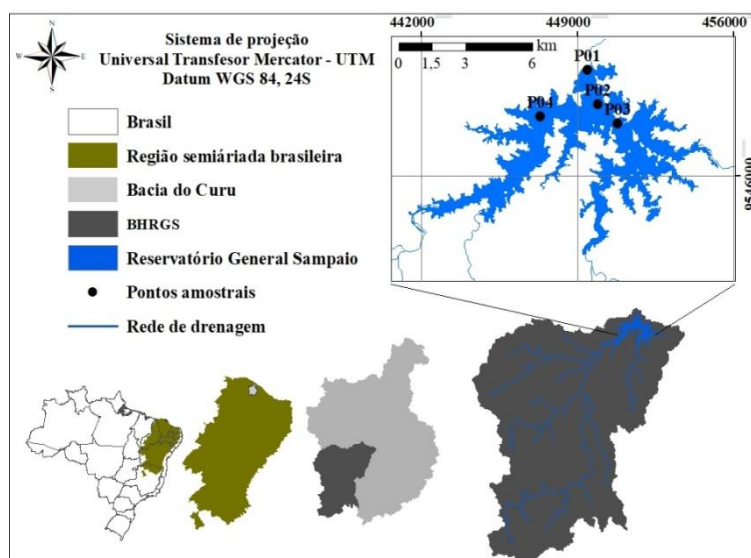


Figura 1. Localização da área de estudo.



As coletadas dos dados espectrais foram realizadas simultaneamente as coletas de água no período de abril de 2015 a setembro de 2016, em quatro pontos do reservatório (Figura 1), com um total de seis campanhas. Os leituras de dados espectrais foram realizadas utilizando-se do espectrorradiômetro ADS FieldSpec® Hi-Res com campo de visada de 25°, resolução espectral de 1,4 nm, com medidas radiométricas no intervalo que varia de 350 – 2500 nm.

As amostras de água foram coletadas a uma profundidade de 30 cm da superfície em recipiente separados e específicos adequadamente descontaminados. Após a coleta as amostras são acondicionadas em caixas isotérmicas e conduzidas aos. A Clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$) foi determinado com o uso do espectrofotométrico, realizando extração a quente com Metanol (Jones, 1979).

Os modelos semi-analíticos de três bandas espectrais para estimativa de clorofila-a correlaciona a contração dos pigmentos fotossintetizantes para reflectâncias $R_{rs}(\lambda_i)$ em três faixas espectrais λ_i . Para que se tenha um modelo que resulte numa relação direta com a absorção, usa-se o inverso da reflectância $R_{rs}^{-1}(\lambda_i)$:

$$a_{chla}(\lambda) = [R_{rs}^{-1}(\lambda_1) - R_{rs}^{-1}(\lambda_2)] \cdot R_{rs}(\lambda_3) \quad (1)$$

Os modelos de estimativas das concentrações de clorofila-a a partir dos dados de sensoriamento remoto de campo testados estão descritos na Tabela 1.

A avaliação de desempenho dos modelos baseou-se no: coeficiente de determinação (R^2); significância da relação entre as variáveis: medida e estimada (p); coeficiente de correlação de Pearson (r); índice de Willmontt (d); coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE); Erro Médio Absoluto (EMA); e Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (REMQ).

Tabela 1. Modelos investigados com as bandas propostas e o coeficiente de determinação alcançado

Bandas propostas (nm)			R^2	Referências
λ_1	λ_2	λ_3		
665	708	753	0,85	Lopes et al. (2016)
660	690	717	0,84	Lopes (2013)
685	707	722	0,79	Huang et al. (2012)
665	708	753	0,85	Moses et al. (2012)
665	708	753	0,85	Yacobi et al. (2011)
684	690	718	0,74	Chen et al. (2011)
675	695	730	0,83	Gitelson et al.(2007)
671	710	740	0,84	Dall’Olmo & Gitelson (2005)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos validados no trabalho (Tabela 1) apresentaram coeficientes de determinação (R^2) aceitáveis e com valores semelhantes e sempre acima de 0,79. Entre os oito modelos testados (Figura 2), o que apresentou maior eficiência foi o de Moses et al. (2012), que em seu



trabalho usou dados das bandas do sensor MERIS e apresentou R^2 de 0,91; já para a validação usando apenas dados do espectrorradiômetro foi de R^2 de 0,85. Embora com valores inferiores, as concentrações de clorofila-a estimadas por esse modelo são próximas das concentrações *in situ*, apresentando um erro médio amostral de $1,5 \mu\text{g L}^{-1}$.

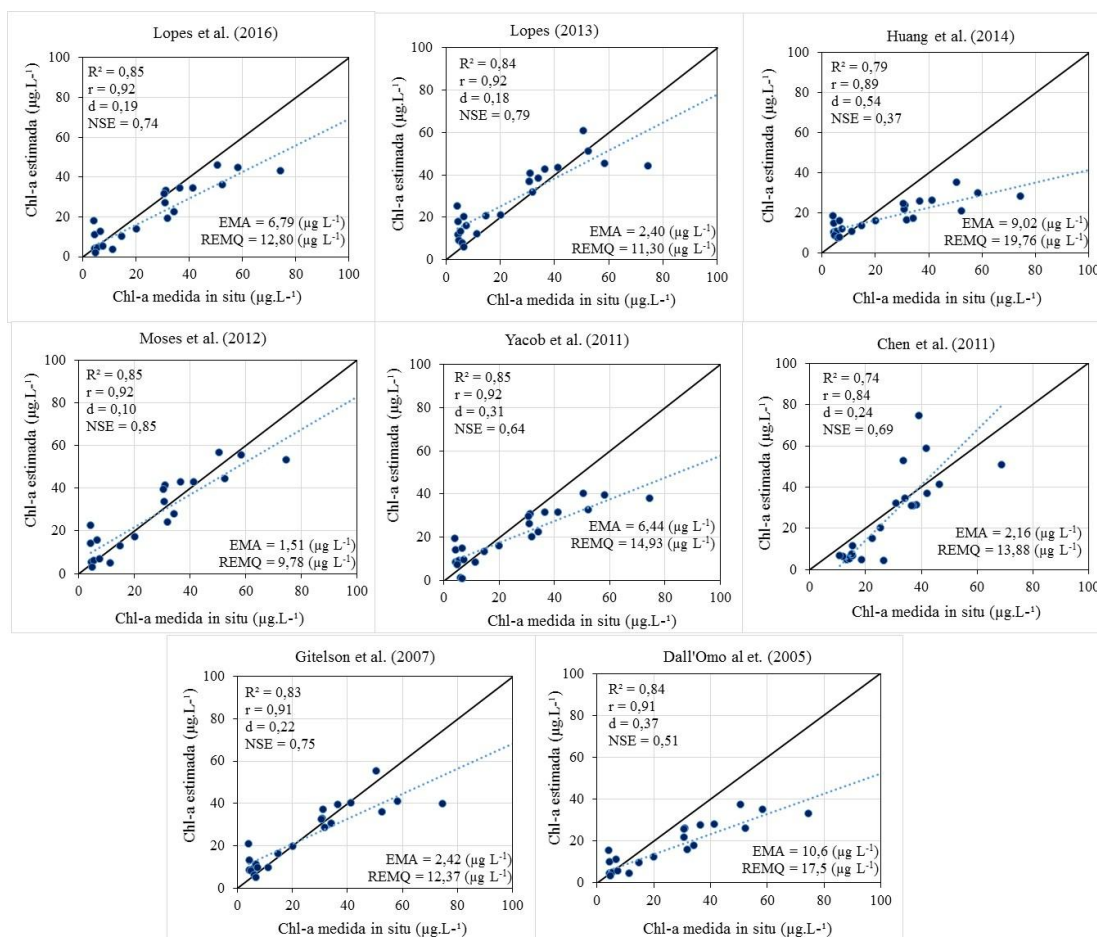


Figura 2. Modelos validados e aplicados às águas do Reservatório General Sampaio

Os modelos de (Lopes, 2013) e (Lopes et al., 2016), ambos desenvolvidos para o Reservatório Orós, região semiárida do Ceará, também simulando as bandas do sensor MERIS, apresentando valores favoráveis, mas com valores de EMA e REMQ mais elevados que de (Moses et al., 2012). Porém, apresentando um valor de R^2 inferior e superior respectivamente, ao do próprio modelo, que em aplicação ao estudo apresentaram 0,84 e 0,85, respectivamente. Os outros modelos apresentam coeficiente aceitáveis, mas com erros mais elevados, sendo o modelo de Huang et al. (2012) o que apresenta pior desempenho, com R^2 muito abaixo ao do modelo que foi de 0,90, e na validação de 0,79. E o um valor de NSE quase fora do aceitável que é de 0,36.

Conforme Augusto-Silva et al. (2014), o sucesso nos resultados das aplicações de modelos, ou seja, dos algoritmos, depende de alguns fatores, como as características biogeoquímicas dos corpos de água estudados. Além de observar que as bandas dos modelos



que apresentaram melhores desempenhos são muito próximas.

Augusto-Silva et al. (2014) na aplicação de um modelo, observa que devido ao resultado obtido, o modelo tem uma concentração limite abaixo da concentrações de clorofila-a encontradas. Dall’Olmo & Gitelson (2005) relatam bons desempenhos em modelos que utilizaram bandas em 675 nm e outra acima de 725 nm.

CONCLUSÕES

Os modelos bio-ópticos avaliados demonstraram que embora os modelos testados tenham sido desenvolvidos em regiões diferentes, os mesmos conseguem apresentar eficiência em suas aplicações.

REFERÊNCIAS

AUGUSTO-SILVA, P. B.; OGASHAWARA, I.; BARBOSA, C. C. F.; CARVALHO, L. A. S.; JORGE, D. S. F.; FORNARI, C. I.; STECH, J. L. Analysis of MERIS Reflectance Algorithms for Estimating Chlorophyll-*a* Concentration in a Brazilian Reservoir. **Remote Sensing**, v. 6, p. 11689-11707. 2014.

CHEN, S.; FANG, L.; LI, H.; CHEN, W.; HUAN W. Evaluation of a three-band model for estimating chlorophyll-*a* concentration in tidal reaches of the Pearl River Estuary, China. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.66, p.356-364, 2011.

DALL’OLMO, G.; GITELSON, A. A. Effect of bio-optical parameter variability on the remote estimation of chlorophyll-*a* concentration in turbid productive waters: experimental results. **Applied Optics**, v. 44, n. 3, p. 412–422, 2005.

GITELSON, A. A.; GRITZ, Y.; MERZLYAK, M. N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, n. 3, p. 271–282, 2003.

GITELSON, A. A.; SCHALLES, J. F.; HLADIK, C. M. Remote Chlorophyll-*a* retrieval in turbid, productive estuaries: Chesapeake Bay case study. **Remote Sensing of Environment**, n. 109, p. 464-472, 2007.

HUANG, C.; ZOU, J.; LI, Y.; YANG, H.; SHI, K.; LI, J.; WANG, Y.; CHENA, X.; ZHENG, F. Assessment of NIR-red algorithms for observation of chlorophyll-*a* in highly turbid inland waters in China. **ISPRS J. Photogramm**, v.93, p.29–39, 2014.

JONES, J. G. **A guide to methods for estimating microbial numbers and biomass in fresh waters**. London: Fresh Waters Biological Association, 1979

LOPES, Fernando Bezerra. **Uso de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil**. 2013. 202 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2013.



LOPES, F. B.; SENA, M. G. T.; OLIVEIRA, C. M. B.; LIMA, F. J. O.; ANDRADE, E. M.; BECKER, H. (2015). Eutrofização em reservatórios da região semiárida. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 3. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: INOVAGRI/INCT-EI, 2015. p. 3569-3579.

LOPES, F. B.; NOVO, E. M. L. M.; BARBOSA, C. C. F.; ANDRADE, E. M.; FERREIRA, F. D. Simulation of spectral bands of the MERIS sensor to estimate chlorophyll-a concentrations in a reservoir of the semi-arid region. **Agro@ambiente On-line**, v. 10, p. 96-106, 2016.

MENDONÇA, J. C.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E.M.; LIMA, F. J.; SILVA, F. H. O. Monitoring Water Quality in a Reservoir of the Semi-arid Region Using Remote Sensing. *Journal of Experimental Agriculture International*, v. 19, p. 1-12, 2017

MOSES WJ, GITELSON AA, BERDNKOV S, SAPRYGIN V AND POVAZHNYI V. Operational MERIS based NIR-red algorithms for estimating chlorophyll-a concentrations in coastal waters – the Azov Sea case study. **Remote Sens Environ** 121: 118-124. 2012.

YACOBI, Y. Z.; MOSES, W. J.; KAGANOVSKY, S.; SULIMANIA, B. Nir-red reflectance-based algorithms for chlorophyll-a estimation in mesotrophic inland and coastal waters: Lake Kinneret case study. **Water Research**, v. 45, n. 7, p. 2428–2436, 2011.