

REFLECTÂNCIA DA ÁGUA EM FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA-A EM UM COMPARTIMENTO AQUÁTICO DO RESERVATÓRIO DE ITAIPU

Joceli Augusto Gross¹, Gustavo Rodrigues Toniolo², William Gaida¹, Douglas Stefanello Facco², Felipe Correa dos Santos¹, Waterloo Pereira Filho¹

¹Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Av. Roraima, 1000 – Campus Sede
97105-900 – Santa Maria – RS, Brasil. E-mail: {joceliaugusto; ufsm.william; felipecorrea.geo}@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Campus do Vale
91501-970 – Porto Alegre – RS, Brasil. E-mail: {gustavotoniolo1; douglas.s.facco}@gmail.com.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi verificar a sensibilidade do sensor Operational Land Imager a bordo do satélite Landsat-8 para a recuperação da clorofila-a em águas com baixas concentrações dessa variável. Para isso, dados de concentrações de clorofila-a foram submetidos a diferentes análises, incluindo as de correlação e regressão com os dados de reflectância obtidos pelo sensor OLI em treze estações amostrais em um compartimento aquático do reservatório de Itaipu. Os resultados mostraram que o referido sensor não foi sensível as variações da clorofila-a a baixas concentrações, o que influenciou para coeficientes de correlação e determinação baixos, principalmente para todo o conjunto de dados. Por outro lado, considerando os dados de determinadas datas de campanha de campo, separadamente, os ajustes entre as variáveis foram melhores, devido em grande parte a maior variação das concentrações de clorofila-a, para as quais as retas de regressão foram ajustadas.

Palavras-chave — clorofila, reflectância da água, sensor OLI.

ABSTRACT

The objective of this study was verifying the sensibility of Operational Land Imager sensor onboard the Landsat-8 satellite to recover of chlorophyll-a in waters with low concentrations of this variable. For that, chlorophyll-a concentration data were submitted to various analyses, including the correlation and regression with reflectance data obtained by the OLI sensor in thirteen sampling stations in an aquatic compartment at Itaipu reservoir. The results showed that the referred sensor was not sensitive to the chlorophyll-a in low concentration. That fact influenced low correlation and determination coefficients, mainly to the total amount of data. On the other hand, considering data of given dates of field campaign, separately, the adjustments between the variables were the most satisfactory ones, mainly due to the greatest variation of the chlorophyll-a concentration, to which the regression lines were adjusted.

Keywords - chlorophyll, water reflectance, OLI sensor.

1. INTRODUÇÃO

A clorofila-a é o pigmento mais abundante do fitoplâncton, sendo utilizado conjuntamente com as concentrações de fósforo total e transparência da água para a determinação do Índice de Estado Trófico [1]. Neste sentido, é desejável monitorar as variações deste tipo de pigmento fitoplanctônico em ambientes aquáticos para verificação da qualidade das águas, tendo como base as concentrações de nutrientes que influenciam diretamente a comunidade fitoplanctônica.

No entanto, monitorar grandes corpos de água, a exemplo, do reservatório de Itaipu, a partir de amostragens pontuais torna-se inviável, devido aos recursos técnicos, humanos e financeiros necessários para cobrir toda a variabilidade temporal e espacial em termos de concentração de clorofila-a nas águas. Neste sentido, a utilização de dados de sensores orbitais parece ser uma alternativa viável. Por outro lado, é preciso conhecer as relações entre as variáveis indicativas da qualidade das águas e os dados de reflectância dos referidos sensores orbitais, para a recuperação das mesmas.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo verificar a sensibilidade do sensor OLI a bordo do satélite Landsat-8 para a recuperação da clorofila-a em águas com baixas concentrações desta variável.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Os resultados apresentados neste trabalho fazem parte de um projeto de pesquisa conjunto entre a Universidade Federal de Santa Maria e Itaipu Binacional, que tem por objetivo desenvolver uma metodologia para a estimativa do Índice de Estado Trófico (IET) das águas do reservatório de Itaipu. Neste sentido, uma área piloto para os estudos foi determinada, sendo esta, o compartimento aquático do reservatório de Itaipu referente à entrada das águas do rio São Francisco Verdadeiro no Estado do Paraná, conforme Figura 1.

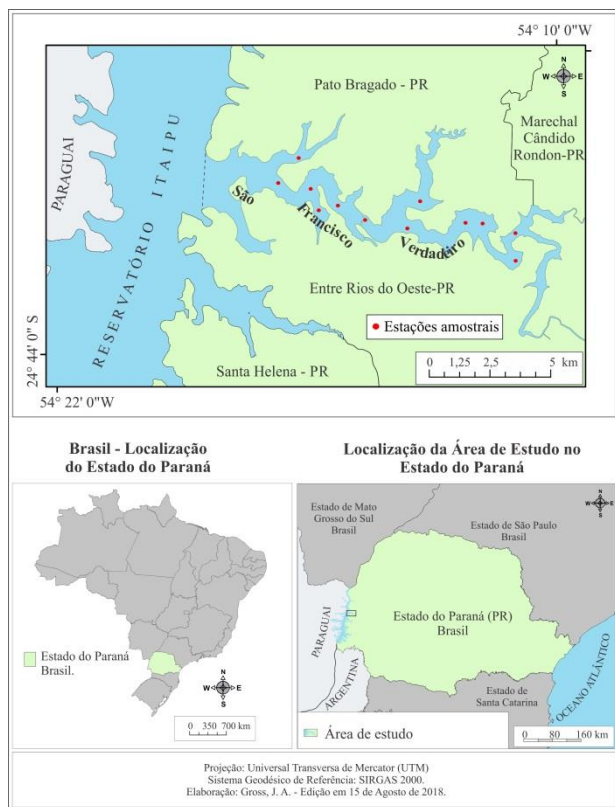


Figura 1. Localização da área de estudo.

2.2. Coleta de dados

Os dados referentes às concentrações de clorofila-*a*, coletados em treze estações amostrais sobre a área de estudo (Figura 1) em dez campanhas de campo, realizadas pela equipe da Itaipu Binacional foram utilizados nas análises do presente trabalho. Todas as campanhas de campo foram realizadas nas datas de passagem do satélite Landsat – 8 sobre a área de estudo (Orbita 224/ Ponto 077), sendo os dados de reflectância de seu sensor *Operational Land Imager* (OLI) utilizados nas análises. As datas das campanhas de campo estão expostas na Tabela 2. As imagens foram adquiridas a partir do repositório de dados espaciais *Earth Explorer* do *United States Geological Survey* (USGS) [2].

Tabela 2 - Datas das campanhas de campo e imagens utilizadas.

Campanhas de campo	Datas
1	09/08/2015
2	05/04/2016
3	08/06/2016
4	11/08/2016
5	27/08/2016
6	28/06/2016
7	30/10/2016
8	11/06/2017
9	13/07/2017
10	29/07/2017

2.3. Análise dos dados

As concentrações de clorofila-*a* foram organizadas graficamente de forma a verificar as suas variações das menores concentrações para as maiores, conjuntamente com seus respectivos valores de reflectância para cada banda do sensor OLI. Esse primeiro procedimento foi realizado para demonstrar como a reflectância varia em função dos aumentos das concentrações clorofila-*a*, em uma análise gráfica, permitindo a visualização dos dados de ambas as variáveis em um único plano e a verificação da sensibilidade do sensor OLI em relação às variações da clorofila-*a* a baixas concentrações.

Além disso, para comparação com os resultados obtidos na primeira avaliação anteriormente descrita, os dados foram submetidos à análise de correlação de Pearson para verificar a banda do sensor OLI com o melhor ajuste em relação às concentrações de clorofila-*a*, considerando todo o conjunto de dados e para cada data de campanha de campo separadamente. Para a banda do sensor OLI com a melhor correlação com os dados de clorofila-*a*, a análise de regressão simples foi aplicada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 pode ser verificado que as concentrações de clorofila-*a* foram significativamente baixas, a julgar pela média e mediana de todo do conjunto de dados coletados. Variações significativas ocorreram somente em determinadas datas de campanha de campo e estações amostrais.

Tabela 1 - Estatística descritiva para série de dados de concentração de clorofila-*a* em todas as campanhas de campo realizadas.

Estatística descritiva	
Média	3,718
Mediana	2,070
Desvio padrão	4,414
Variância da amostra	19,482
Mínimo	0,000
Máximo	21,312
Contagem	125

A clorofila-*a* domina o coeficiente de atenuação da radiação na coluna de água, quando as suas concentrações são superiores a 20 mg/m³. No entanto, quando as concentrações deste pigmento são inferiores, o coeficiente de atenuação da radiação na coluna de água é dominado pelo *tripton* [3]. Esse conhecimento pode ser verificado, considerando todo o conjunto de dados coletados na área de estudo. Para as baixas concentrações de clorofila-*a* até cerca de 10 mg/m³ as variações da reflectância são totalmente aleatórias não demonstrando relação de causa e efeito com as concentrações de clorofila-*a* (Figura 2).

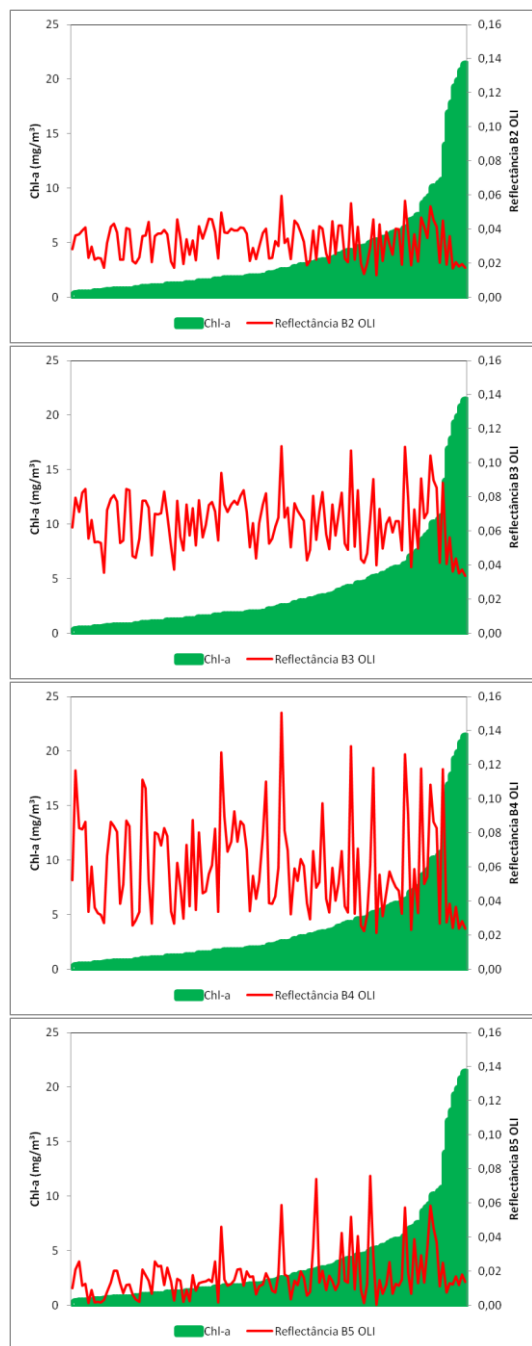


Figura 2 - Variação da reflectância das bandas 2, 3, 4 e 5 do sensor OLI em função das concentrações de clorofila-a.

Por outro lado, as maiores concentrações de clorofila-a parecem ter ocasionado efeito nos dados de reflectância do sensor OLI, ou seja, a sensibilidade do referido sensor foi verificada a concentrações a partir de 10mg/m³ ou maiores, como pode ser verificado na Figura 2, principalmente para os dados referentes a banda B3 do sensor OLI. Além disso, os dados do sensor OLI parecem mostrar o mesmo padrão em todas as bandas do visível, considerando o aumento nas concentrações de clorofila-a inferiores a 10 mg/m³, porém

oscilando em faixas de valores de reflectância maiores, a depender da banda espectral considerada.

As maiores concentrações de clorofila-a influenciaram a reflectância que aparentemente, para os dados coletados, reduzem as faixas de valores de reflectância de oscilação da mesma e a matem mais baixa. No entanto, para os dados do infravermelho próximo, parece ocorrer um tênue aumento de reflectância à medida que as concentrações de clorofila-a aumentam, principalmente em concentrações de clorofila-a superiores aos mencionados 10 mg/m³, o que se deve provavelmente ao espalhamento celular dos organismos fitoplanctônicos.

Os efeitos das baixas concentrações de clorofila-a sobre os dados de reflectância aqui analisados, provavelmente foram às causas dos coeficientes de correlação baixos entre os dados das variáveis, considerando todo o conjunto de dados.

O coeficiente de correlação mais significativo para todo o conjunto de dados foi verificado para os dados de reflectância da banda B3 (faixa do verde) do sensor OLI (Figura 3). Por outro lado, considerando os dados em cada campanha de campo, verificaram-se coeficientes de correlação significativamente superiores, especialmente para os dados coletados em 28/09/2016 e para a banda B5 (faixa do infravermelho próximo) do sensor OLI (Figura 3), o que, no entanto, não ocorreu para todas as datas de campanhas de campo, provavelmente devido as concntrações de clorofila-a baixas em todas as estações amostrais, ou seja, sem ocorrência de grandes variações nas concentrações do referido pigmento (Figura 3).

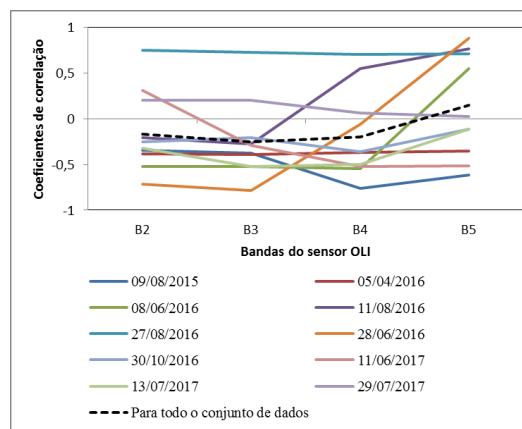


Figura 3 - Coeficientes de correlação de Pearson entre os dados de reflectância do sensor OLI e concentrações de clorofila-a.

Por fim, são apresentados a seguir os diagramas de dispersão resultantes das análises de regressão simples para os dados com os melhores coeficientes de correlação verificados, tanto para todo o conjunto de dados como para os dados de cada data de campanha de campo separadamente (Figura 4).

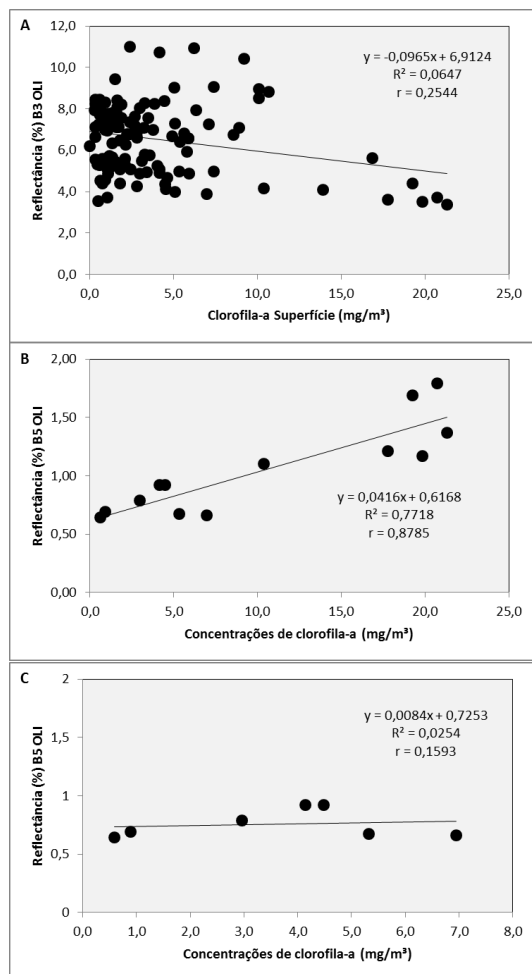


Figura 4 - (A) Diagrama de dispersão entre as concentrações de clorofila-a e reflectância da banda B3 do sensor OLI, para todo o conjunto de dados. (B) Análise para os dados coletados na campanha de campo realizada em 28/09/2016 nas treze estações amostrais. (C) Análise para os dados coletados na campanha de campo realizada em 28/09/2016, considerando a exclusão daqueles referentes às maiores concentrações de clorofila-a verificadas, verifica-se que a reta se ajustou novamente a maior concentração de clorofila-a nesta análise, ou seja, 10,36 mg/m³.

Verificou-se extrema variabilidade dos dados de reflectância sobre as menores concentrações de clorofila-a e menores variações para as maiores concentrações, no que se refere a todo o conjunto de dados, ou seja, muitos resíduos ocorreram sobre as menores concentrações de clorofila-a. Neste sentido, a disposição dos pontos em torno da reta de regressão, indica heteroscedasticidade e não normalidade dos resíduos (*Testes não realizados*), sendo a equação de regressão (Figura 4A) provavelmente tendenciosa que pode superestimar ou subestimar as concentrações de clorofila-a, principalmente se aplicadas sobre imagens do sensor OLI de outras datas, que não as utilizadas no presente trabalho e outras condições das águas, referentes às concentrações de clorofila-a e também aos demais componentes opticamente

ativos das águas. Além disso, o coeficiente de determinação foi muito baixo.

Para os dados da campanha de campo realizada em 28/09/2016, sobre os quais os maiores coeficientes de correlação foram obtidos com a banda B5 (Infravermelho próximo) do sensor OLI, verificou-se que a reta de regressão ajustando-se em direção as maiores concentrações de clorofila-a gerou um coeficiente de determinação expressivo (Figura 4B). No entanto, se as concentrações de clorofila-a superiores a 10 mg/m³, verificadas para a referida data de campanha de campo forem excluídas da análise, o coeficiente de determinação é extremamente afetado (Figura 4C), se tornando muito inferior, ou seja, o melhor coeficiente de correlação verificado neste trabalho, somente foi obtido, devido as maiores concentrações de clorofila-a nesta data de campanha de campo em particular, que proporcionaram melhores ajustes entre as variáveis. O sensor OLI não foi sensível as menores concentrações de clorofila-a, considerando os dados e as análises do presente trabalho.

4. CONCLUSÕES

O sensor OLI, não foi sensível às baixas concentrações de clorofila-a, ou inferiores a 10 mg/m³, considerando os dados e análises realizados neste trabalho. As maiores concentrações de clorofila-a parecem ter ocasionado efeito sobre os dados de reflectância do sensor OLI, reduzindo as oscilações dos valores para faixas de valores menores em todas as bandas do visível e infravermelho próximo.

Os melhores ajustes entre as variáveis foram possíveis somente devido as maiores variações nas concentrações de clorofila-a em determinadas datas de campanha de campo. Para baixas concentrações de clorofila-a, bons ajustes com os dados de reflectância são prejudicados devido a não sensibilidade do sensor OLI as mesmas, em todas as bandas do visível em infravermelho próximo.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Carlson, R. E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, n. 22, p. 361-369, 1977.
- [2] United States Geological Survey. *Landsat 8 OLI/TIRS Collection 1 data*. Earth Explorer. 2018. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 15 out. 2018.
- [3] Tundisi, J. G.; Tundisi, T. M. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.