

## **Análise da variação sazonal e espacial das macrófitas aquáticas presentes no reservatório da represa de Barra Bonita (SP) no ano hidrológico 2013-14**

Lucas Vituri Santarosa<sup>1</sup>  
Rodrigo Lilla Manzione<sup>2</sup>  
Vitor Fidelis Monteiro Gonçalves<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mestrando (Irrigação e Drenagem)  
Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” - UNESP  
Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu  
Fazenda Lageado - Rua José Barbosa de Barros, nº 1780 CEP: 18.610-307 - Botucatu, SP, Brasil  
[lucasviturisantarosa@gmail.com](mailto:lucasviturisantarosa@gmail.com)  
[vitorfmg3@gmail.com](mailto:vitorfmg3@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor Doutor  
Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – UNESP  
Campus de Ourinhos  
Av. Vitalina Marcusso, nº 1500 Bairro: Câmpus Universitário CEP: 19.910-206– Ourinhos, SP, Brasil  
[manzione@unesp.ourinhos.br](mailto:manzione@unesp.ourinhos.br)

**Abstract:** The eutrophication is a recurring problem in dams and reservoirs came from impacts caused by human activities, which, progressively, accumulates substances, or promotes modifications in the characteristics of water bodies, promoting the reduction of quality and availability of water resources. The problem become more worrying front the natural hydric deficit caused by climate variations or by the indiscriminately use of water resources. The aim of this work have analyzed the viability of remote sensing using to verify the proliferation of aquatic macrophytes in the reservoir of the Barra Bonita dam in hydrologic year 2013-14, through the maximum likelihood and unsupervised methods of Landsat 8 images classification. The results show major concentration of aquatic macrophytes in major flow period, consequently, the period, which occurs major deposition of polluting load generated in Piracicaba/Capivari/Jundiaí (UGRHI-5) and Tietê/Sorocaba (UGRHI-10) watersheds. From the used classification methods, the maximum likelihood method showed better results in classification, besides, it have been more practical and trustful. However, this work contributes to raise the monitoring forms of dams and reservoirs with technologies using able to provide constant data with low price.

**Palavras-chave:** Remote Sensing; Reservoirs monitoring; Aquatic macrophytes; eutrophication; Sensoriamento Remoto; monitoramento de reservatórios; Macrófitas Aquáticas; Eutrofização.

### **1. Introdução**

Diante dos impactos ocasionados pela atividade humana, cresce a preocupação com qualidade e disponibilidade da água em diversas partes do globo. De acordo com Tundisi (2008, p. 506):

O impacto das atividades humanas nos ecossistemas continentais tem produzido uma continua e inexorável deterioração da qualidade das águas e alteração profundas no ciclo hidrológico, nos ciclos biogeoquímicos e da biodiversidade. Esse processo de deterioração causa impactos econômicos e sociais e, em alguns casos, alterações permanentes e irreversíveis em lagos, rios e represas.

A construção dos reservatórios aumenta a capacidade de armazenamento de materiais orgânicos e inorgânicos originários de fontes pontuais e difusas da bacia de captação, intensificando o processo de eutrofização (PRADO, 2004). Represas e reservatórios interferem diretamente no funcionamento do sistema hidrológico, como, por exemplo, alterando a capacidade natural de depuração que ocorre ao longo dos cursos hídricos.

De acordo com Moura et al. (2009) a interferência causada pelo represamento dos corpos hídricos e o aumento da disponibilidade de nutrientes causada pela erosão do solo agricultável e pelo esgoto doméstico e industrial, têm provocado a eutrofização dos recursos hídricos. Ocasionalmente o desequilíbrio do ambiente aquático e a depleção da quantidade e qualidade da água nos mananciais e o comprometimento da fauna e flora associadas. Como sintoma desse processo tem-se a elevada proliferação de macrófitas aquáticas, que representam um entrave a diversos usos dos recursos hídricos como, por exemplo, a geração de energia, irrigação, navegação, pesca e recreação.

É fundamental a realização de estudos que sejam capazes de monitorar de forma contínua as áreas eutrofizadas para que medidas preventivas ou corretivas sejam tomadas e os danos socioeconômicos sejam reduzidos ou evitados.

Assim, o reservatório da barragem de Barra Bonita (SP) foi analisado quanto a possíveis áreas de eutrofização devido a sua elevada vulnerabilidade quanto à poluição, pois recebe parte de carga poluidora das bacias hidrográficas do Piracicaba/Capivari/Jundiaí (UGRHI-5) e do Tietê/Sorocaba (UGRHI-10) que somam concentração populacional e de diversos usos industriais e agrícolas (PRADO, 2008). Em alguns braços do reservatório há sinais visíveis (Figura 1) de eutrofização com o acúmulo de macrófitas aquáticas (flutuantes e submersas).



Figura 1 - Macrófitas emersas na ponte da Rodovia SP-191 sobre o Rio Tietê (agosto de 2014)

Deste modo, este trabalho teve como objetivo avaliar a variação sazonal da proliferação de macrófitas aquáticas no reservatório da represa de Barra Bonita no ano hidrológico 2013-14 e a comparar os resultados das classificações supervisionadas e não supervisionada para classificação de imagens do satélite Landsat-8 utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG).

## 2. Materiais e métodos

A área estudada corresponde à área alagada da represa de Barra Bonita, limitada pela barragem até a região do Tanquã, no Rio Piracicaba, e, no rio Tietê, foi considerada também a área alagada da barragem de Anhembi.

Para verificar a presença de macrófitas no reservatório de Barra Bonita (SP) foram utilizadas duas imagens do satélite Landsat-8, referente à Órbita/Ponto 220/76 do *World Reference System* (WRS), correspondente a Latitude 23° 06' 59'' e Longitude 48° 04' 14'', recobrando toda área do reservatório com resolução espacial de 30 metros. As imagens adquiridas, que são disponibilizadas pelo *United States Geology Survey* (USGS) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), foram selecionadas levando em conta dois períodos, o inverno de 2013 com uma imagem de agosto que marcaria o final do ano hidrológico 2012-13, e o verão de 2014 com uma imagem de janeiro que marcaria o pico de proliferação desse tipo de vegetação ao longo do ano hidrológico 2013-14. A avaliação da proliferação das macrófitas aquáticas nos dois períodos utilizando as imagens Landsat-8 foi realizada com utilização do SIG Idrisi versão Selva.

Considerando que as substâncias presentes na água apresentam comportamentos espectrais diferentes, foram selecionadas para a análise, as bandas 3, 4 e 5 do sensor multiespectral *Operacional Terra Imager* (OLI), que correspondem respectivamente bandas espectrais verde, vermelho e infravermelho próximo. Estas bandas foram submetidas ao processo de composição que deu origem a uma imagem colorida falsa cor (figuras 2 e 3) que realça a vegetação em tons de verde e deixa a água com tonalidade escura. A opção da composição é baseada na baixa reflectância da água que absorve toda radiação entre 0,38 e 0,7 micrômetros (NOVO, 2008) e na reflectância de 0,67 a 0,81 micrômetros da vegetação aquática (LONDE et al., 2011).



Figura 2 - Composição falsa cor com as bandas 3, 4 e 5 da imagem do satélite Landsat-8 de agosto de 2013.



Figura 3 - Composição falsa cor com as bandas 3, 4 e 5 da imagem do satélite Landsat-8 de janeiro de 2014.

Foram realizados os procedimentos de classificação supervisionada utilizando a ferramenta *Maxlike* e classificação não supervisionada utilizando a ferramenta *Cluster* do SIG Idrisi, para fins de comparação entre os métodos e seleção do mais eficiente na detecção de vegetação aquática utilizando imagens Landsat-8.

A classificação supervisionada utiliza algoritmos cujo reconhecimento de padrões espectrais na imagem se faz com base numa amostra de área de treinamento feita pelo analista. A classificação Máxima Verossimilhança (*Maxlike*), agrupa as amostras dos atributos espectrais selecionados considerando a distribuição normal, ou gaussiana (MOREIRA, 2005). Já os classificadores não supervisionados (*Cluster*) utilizam os padrões de resposta espectral dominante gerando classes de informação (EASTMAN, 1998). É muito utilizado quando não se conhece a área de estudo e funciona com o fornecimento do número de classes espectrais, distância mínima desejada entre os valores dos níveis de cinza e o número de repetições da análise (MOREIRA, 2005).

A classificação supervisionada (*Maxlike*) foi empregada utilizando três áreas de treinamento ou assinatura espectral para realizar as classificações. Foram selecionadas amostras de água livre de macrófitas, de macrófitas flutuantes e de áreas com macrófitas submersas. Já a classificação não supervisionada utilizando o *Cluster* foi ajustada no modo Broad, com o máximo de três *Clusters* a serem definidos. O processamento foi feito com uma máscara com a área alagada, priorizando os padrões espectrais da água e das macrófitas.

### 3. Resultados e discussão

A partir das análises realizadas foram gerados mapas para cada período com cada um dos métodos de classificação (*Cluster* e *Maxlike*) resultando em quatro mapas. Esses mapas seguem acompanhados com tabelas contendo os dados de áreas, em hectares, de cada uma das classes calculadas pelo SIG.

Observando as figuras 4 e 5, é possível verificar a variação sazonal das macrófitas. Sendo o período com menor área de macrófitas flutuantes o de agosto de 2013 e o com maior área o de janeiro de 2014, respectivamente 3.605 e 6.282 hectares, que representa um aumento de 57,38% no período.

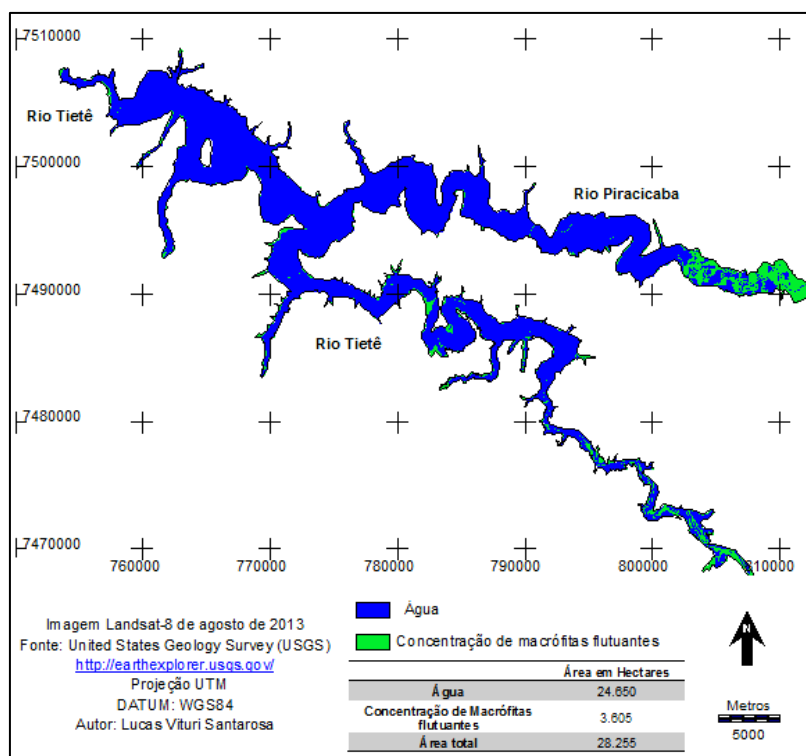


Figura 4 – Mapa da concentração de macrófitas em agosto de 2013, obtido através do *Cluster*.

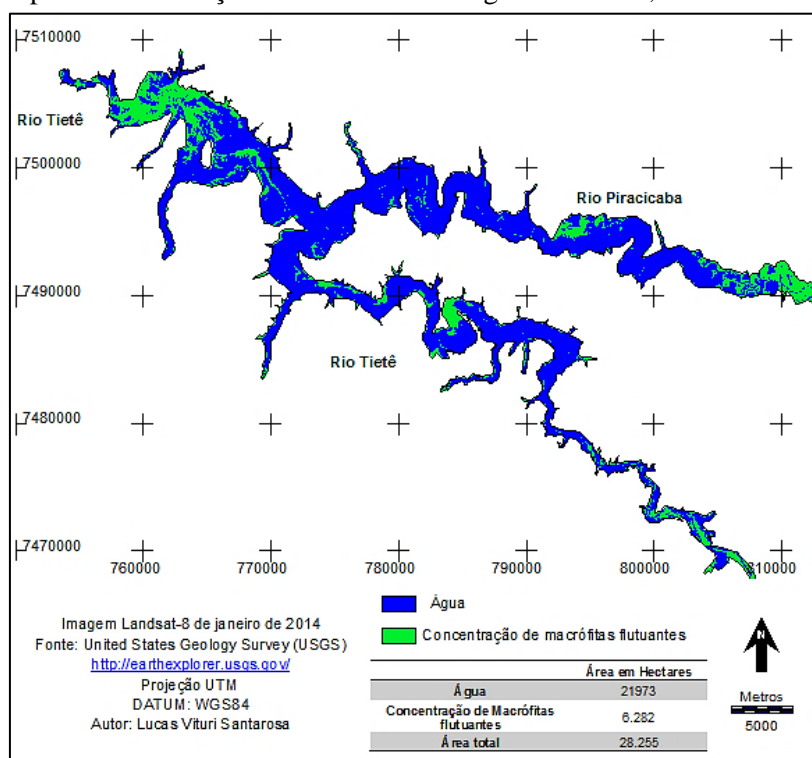


Figura 5 - Mapa da concentração de macrófitas em janeiro de 2014, obtido através do *Cluster*.

As concentrações de macrófitas são visíveis em áreas com vazão reduzida em meandros e áreas alagadas, bem como nas pontes e nas barragens. Sobre os aumentos das áreas ocupadas pelas macrófitas, é importante considerar que no verão, com o aumento das chuvas, a quantidade de carga poluidora também aumenta. Segundo Tundisi (2008), a concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo) é o principal fator limitante para a proliferação da macrófitas.

Sabendo também que a capacidade reprodutiva da macrófitas aquáticas é resultado da alta capacidade de absorção de nutrientes e de radiação solar (ANTUNES, 2009), infere-se que o aumento na quantidade de macrófitas pode ter influência da diferença do fotoperíodo e da intensidade da radiação, que são maiores no verão. Como efeito disso, as altas temperaturas também favorecem a propagação das macrófitas.

Diferente da classificação supervisionada, o *Cluster* não reconheceu algumas áreas identificadas com concentração de macrófitas submersas, ficando restrita a análise das macrófitas flutuantes.

O método supervisionado, utilizando a ferramenta *Maxlike*, teve como resultado mapas mais confiáveis (figuras 6 e 7), tendo em vista que foram selecionadas várias assinaturas espectrais com os padrões correspondentes com a área livre de macrófitas, área com macrófitas flutuantes e áreas com macrófitas submersas. Esta classe é genérica, pois engloba organismos fitoplânctônicos e cianobactérias devido à proximidade dos padrões espectrais (LONDE et al., 2011).



A concentração de macrófitas flutuantes também sofreu alteração de um período para o outro, sendo a área encontrada de 4.800 hectares em agosto de 2013 e 10.145 hectares em janeiro de 2014, representando uma variação de 47,31% no período.

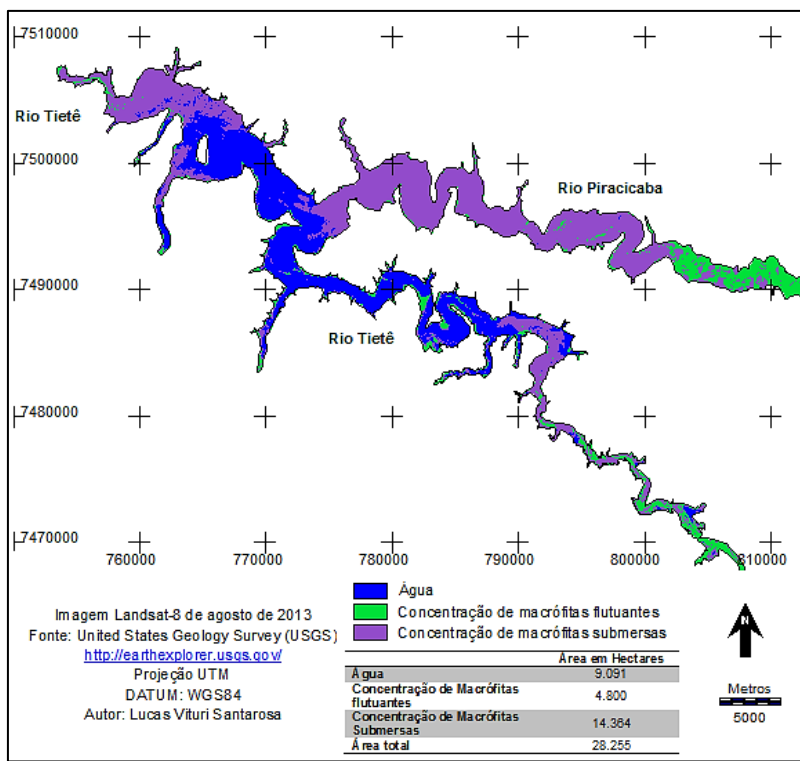


Figura 6 - Mapa da concentração de macrófitas em agosto de 2013, obtido através do Maxlike.

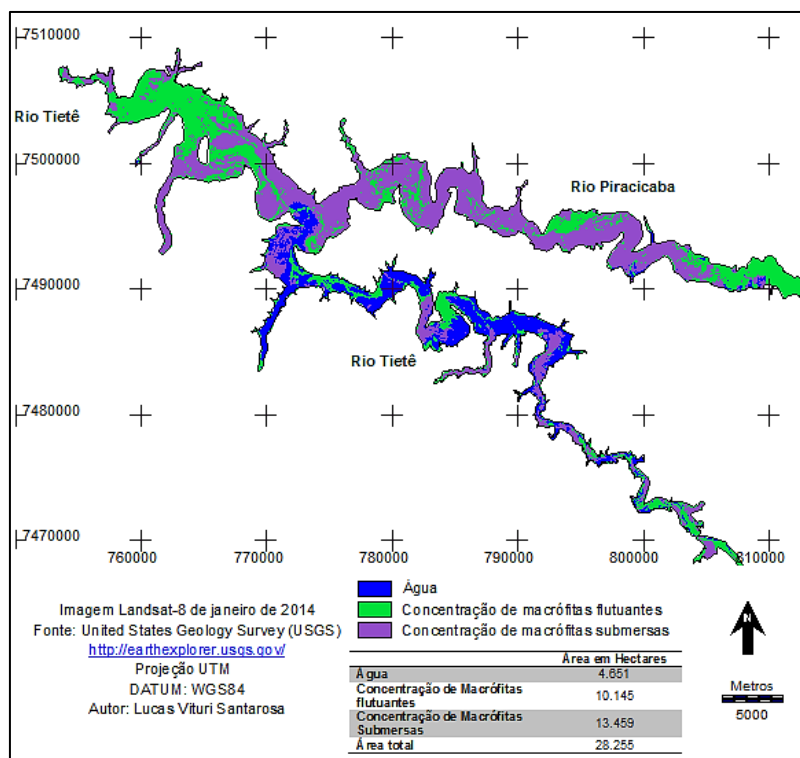


Figura 7 - Mapa da concentração de macrófitas em janeiro de 2014, obtido através do Maxlike.

As macrófitas submersas também variaram, entretanto houve redução no período, em agosto de 2013 a área de macrófitas submersas foi de 14.364 hectares e em janeiro de 2014 a área calculada foi de 13.459 hectares.

Provavelmente a redução ocorreu por uma superestimação da macrófitas aquáticas submersas na classificação da imagem de agosto de 2013, que classificou as áreas livres de macrófitas como áreas com presença de macrófitas submersas. Outra explicação para o fato é o acúmulo de macrófitas flutuantes em janeiro de 2014 em áreas que continham as macrófitas submersas.

Dentre os métodos empregados, o supervisionado (*Maxlike*) apresentou melhores resultados na classificação por sua praticidade e confiabilidade, pois não necessita de vários processamentos e pode ser feito em poucas horas com maior segurança, por definir previamente cada uma das classes a serem identificadas. Já o método não supervisionado (*Cluster*), exige vários testes que necessitam de mais tempo para execução e não produz resultados precisos, superestimando ou subestimando as diferentes classes identificadas. Entretanto, ambos os métodos exigem bom treinamento do operador do SIG e conhecimento da área estudada para reduzir os erros.

As metodologias adotadas exigem poucas horas de processamento, desde a aquisição e tratamento de imagens até a classificação, que ocupa pouco mais que um terço do processamento, considerando a classificação e análise, isso se os procedimentos forem conhecidos. Mas é importante mencionar que para a elaboração dos resultados apresentados foram necessários mais dias de trabalho para definir os melhores métodos de classificação (principalmente na aplicação do *Cluster*), vetorizar a área estudada, verificar os resultados, fazer comprovação in loco da situação em áreas acessíveis (como na ponte sobre o rio Tietê e Piracicaba na SP 191 e na barragem de Anhembí), entre outros.

Cabe mencionar ainda que a situação atual do reservatório é preocupante devido a escassez hídrica vivenciada na região. Com a redução da vazão e do volume da represa a concentração de macrófitas tende causar mais impactos como, por exemplo, o aumento de turbidez e a redução da disponibilidade de oxigênio. O que indica que a escassez hídrica pode agravar o quadro de poluição da represa, revelando a urgência de políticas corretivas e preventivas para a situação.

#### **4. Conclusões**

Com base nas informações analisadas foi possível constatar que ocorre variação sazonal na concentração das macrófitas aquáticas. Porém, as determinações das causas envolvidas dependem de investigações detalhadas sobre a área em estudo considerando os diferentes usos, regimes de pluviosidade e escoamento, aquisição de dados de períodos diferentes, entre outros.

O levantamento realizado para verificar a possibilidade de utilizar produtos de sensoriamento remoto do satélite Landsat-8 e técnicas de geoprocessamento para fazer o monitoramento de represas ou áreas afins mostraram-se eficiente na delimitação de áreas colonizadas por macrófitas. As imagens do referido satélite são uma fonte de dados eficiente

para ser utilizada no monitoramento dos recursos naturais de com baixo custo, mas dependendo do monitoramento desejado pode esbarrar na resolução temporal e espacial.

Dos classificadores testados, a classificação supervisionada por máxima verossimilhança (*Maxlike*) se mostrou mais prática e com melhores resultados, pois o método não supervisionado (*Cluster*) exige o estabelecimento de configurações específicas para contornar possíveis erros.

### Referências bibliográficas

Antunes, R. P. **Análise do potencial de uso das macrófitas aquáticas do sistema de áreas alagadas construídas da ETE da Comunidade de Serviços Emaús (Ubatuba, SP) como adubo orgânico.** Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-04122009-111621/publico/dissertacaoRenataPinassiAntunes.pdf>> Acesso em: 2014-10-22.

Eastman, J. R. **IDRISI for Windows: Introdução e Exercícios tutoriais.** Editores da versão em português, Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre: UFRGS Centro de recursos Idrisi, 1998.

Londe, L. de R.; Novo, E.M.L.; Calijuri, M. do C. **Aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto ao estudo de do fitoplâncton de águas interiores.** In: Novas tecnologias para o monitoramento e estudo de reservatórios hidrelétricos e grandes lagos /Enner Herenio Alcântara, Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo, José Luiz Stech, organizadores. São José dos Campos : Parêntese, 2011

Moreira, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3ª ed. atual. ampl. – Viçosa: Ed. UFV, 2005.

Moura, M.A.M.; Franco, D.A.S.; Matallo, M.B. **Manejo integrado de macrófitas aquáticas.** Instituto Biológico, São Paulo, v.71, n.1, p.77-82, jan./jun., 2009. Disponível em: <[http://www.biologico.sp.gov.br/docs/bio/v71\\_1/moura.pdf](http://www.biologico.sp.gov.br/docs/bio/v71_1/moura.pdf)> Acesso: 2014-10-22

Novo, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

Prado, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos.** 2004. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-05012005-121100/>>. Acesso em: 2014-10-08.

Tundisi, J. G. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.