

Detecção de ficocianina por meio de imagens Landsat TM e ETM+ em no reservatório de Guarapiranga, SP

Igor Ogashawara¹
Enner Herenio de Alcântara²
José Galizia Tundisi³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
igoroga@dsr.inpe.br

²Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente
Departamento de Cartografia.
Rua Roberto Simonsen, 305, CEP 19060-900, Presidente Prudente, SP, Brazil
enner@fct.unesp.br

³Instituto Internacional de Ecologia
Rua Bento Carlos, 750, CEP 13560-660, São Carlos-SP, Brazil.
tundisi@iie.com.br

Abstract. In this paper we tested an algorithm developed for LANDSAT 7 ETM+ and LANDSAT 5 Thematic Mapper (TM) to measure relative phycocyanin content (PC) in Guarapiranga Reservoir, SP - Brazil. Water samples were collected from 3 hydrographic stations arranged in the reservoir 3 times a week then we could related to the period spanning each of the four LANDSAT overpasses. The samples were analyzed for cyanobacteria density (cel/mL). A dark-object-subtracted, spectral ratio model derived from the images of March 6, 2009; April 18, 2010; April 21 and May 23 of 2011 was tested. Very low PC values were detected in the Guarapiranga Reservoir on April 18, 2010 and May 23, 2011. Moderate values were detected on April 21, 2011. The high PC values on March 6, 2009 may have represented a large *Microcystis* bloom that was noticed in the same day. The PC algorithm analyzed in this study demonstrated to be a good estimator of cyanobacterias which will improve our understanding of the temporal and spatial dynamics of their blooms formation in Guarapiranga reservoir and other aquatic systems. It can provide a seasonal analysis of the occurrence of blooms and it may also serve to alert policy makers to the presence of potentially toxic bloom events in reservoirs of multiple uses.

Palavras-chave: algorithm, cyanobacteria, remote sensing, algoritmo, cianobactéria, sensoriamento remoto.

1. Introdução

No Brasil, a construção de grandes reservatórios inicialmente voltada para fins de abastecimento público e geração de energia, atualmente têm usos múltiplos, além da utilização para estimular e impulsionar o desenvolvimento regional (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008). Os reservatórios localizados próximos à ambientes urbanos, como é o caso dos reservatórios na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), de acordo com Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) possuem múltiplos usos, tais como: recreação, pesca, produção de hidroeletricidade e turismo.

Entretanto, devido à esses múltiplos usos, a construção e a utilização de reservatórios artificiais em centros urbanos causam impactos, sendo os principais citados por Straskraba e Tundisi (1999): o desmatamento e a redução da cobertura vegetal; o aumento da contaminação e da toxicidade no sistema; a poluição orgânica; a eutrofização acelerada; a alteração da biodiversidade, com a remoção de espécies; além de efeitos negativos à saúde humana, resultantes da deterioração da qualidade da água.

A toxicidade citada pelos autores ocorre devido à habilidade das cianobactérias em produzir toxinas, o que é um fenômeno bem conhecido por meio da intoxicação de animais

(Sivonen e Jones, 1999). Porém, a preocupação dessas toxinas na saúde humana só ocorreu após a confirmação da morte de quase 60 pacientes de uma clínica de hemodiálise em Caruaru, PE, Brasil, em 1996, devido à utilização de água contaminada com cianotoxinas hepatotóxicas (Azevedo et al., 2002). Desde então, as cianotoxinas têm sido motivo de preocupação constante de órgãos ambientais e de saúde, institutos de pesquisa e companhias de saneamento, em escala global.

O monitoramento da qualidade da água em reservatórios urbanos, principalmente em reservatórios de abastecimento, faz-se necessário uma vez que existe o potencial risco a saúde humana. A utilização de técnicas de sensoriamento remoto auxiliam o monitoramento e o estudo da dinâmica das florações. Esta ferramenta, aliada ao conhecimento da taxonomia de algas e de seus pigmentos fotossintetizantes, pode contribuir para estudos relacionados à identificação de algas presentes em um determinado corpo d'água (Londe et al. 2005). A utilização dos produtos gerados a partir do sensoriamento remoto podem fornecer uma visão sinótica do ecossistema, adquirindo informações multitemporais em escala local.

O crescimento populacional em grandes centros urbanos, como a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), eleva a demanda por água, resultando na captação de recursos hídricos de sistemas aquáticos eutrofizados e muitas vezes contaminados por cianobactérias (Falconer e Humpage, 2005). Isto ocorre devido aos ambientes aquáticos severamente eutrofizados possuírem as condições ideais para a sucessão fitoplanctônica, que tende a ser dominada por cianobactérias, com florações favorecidas devido às condições geográficas, tanto espaciais como climáticas (Azevedo et al., 1994). Portanto, a utilização dos múltiplos usos da água em um reservatório como o de Guarapiranga, apresenta riscos à saúde dos consumidores.

Estudos já realizados no reservatório de Guarapiranga como o de Sant`Anna et al. (2004) identificaram, descreveram e ilustraram 26 táxons de cianobactérias planctônicas da ordem *Chroococcales* de várias represas do Estado de São Paulo; e o de Sant`Anna et al. (2007) onde estudaram a biodiversidade de cianobactérias planctônicas presentes em seis represas do Alto Tietê, da qual faz parte o reservatório de Guarapiranga, e foram identificadas, descritas e ilustradas 48 espécies de cianobactérias.

O presente trabalho buscou testar um algoritmo para estimativa de ficocianina - pigmento específico das cianobactérias - por meio de imagens Landsat TM e ETM+ em um sistema aquático localizada em ambiente urbano tropical. Também teve o objetivo de correlacionar o produto gerado com medidas de densidade de cianobactérias por dados coletados *in situ*, possibilitando assim o monitoramento espacial destas por meio de sensores remotos orbitais de média resolução espacial.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

O reservatório de Guarapiranga está localizado a 23°43' S e 46°32' O (Figura 1); possui área inundada de aproximadamente 33 km², profundidade máxima de 13 metros e tempo de retenção de 185 dias, fornecendo 11 mil litros de água por segundo para cerca de 3,7 milhões de pessoas (Gemelgo et. al., 2008). Possui morfologia do tipo dendrítica, estreita e alongada, o que acentua a influência do uso e ocupação do solo em sua bacia hidrográfica (CETESB, 2003).

Foi construído entre 1906 e 1908, com a intenção de produção de energia elétrica e regulação da vazão do rio Tietê; e se insere na porção sudoeste da bacia do Alto Tietê (Gemelgo et. al., 2008). Diferentemente de suas intenções iniciais, atualmente o reservatório possui uso múltiplos, não apenas para a geração de energia, mas também para lazer, banho e esportes náuticos.

Nos reservatórios de Billings e Guarapiranga, na Região Metropolitana de São Paulo, foram desenvolvidos muitos trabalhos sobre a comunidade fitoplanctônica, com um enfoque

ecológico e sanitário uma vez que a importância desses reservatórios para o abastecimento de milhões de pessoas na Região Metropolitana de São Paulo é de extrema importância e necessita de um monitoramento constante.

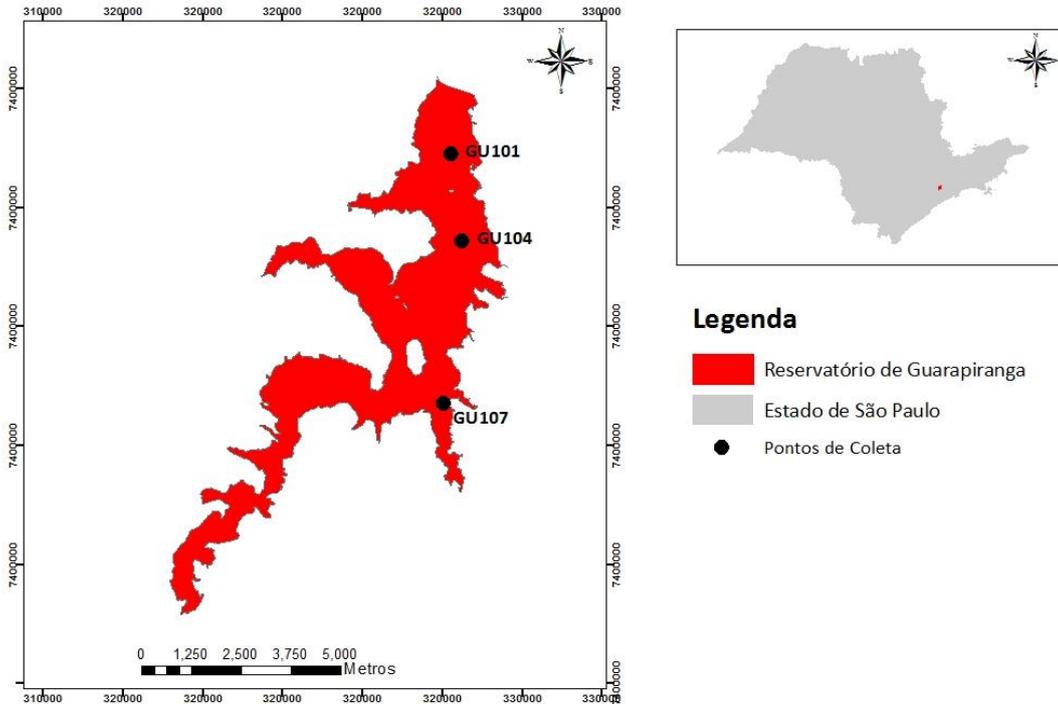


Figura 1. Localização do Reservatório de Guarapiranga no Estado de São Paulo

2.2 Dados de Sensoriamento Remoto

Neste trabalho foram utilizadas as bandas espectrais (1,3,5 e 7) dos sensores TM e ETM+ a bordo dos satélites Landsat 5 e Landsat 7, respectivamente. As imagens foram adquiridas por meio do portal do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) onde foram escolhidas apenas cenas com 0% de cobertura de nuvens, resultando em quatro imagens datadas de: 6 de Março de 2009, 18 de Abril de 2010, 21 de Abril de 2011 e 23 de Maio de 2011.

Cada cena, foi recortada em uma área envolvendo o reservatório de Guarapiranga, e essas foram convertidas para radiância espectral de acordo com cada sensor conforme a equação 1 (Chander et al. 2009).

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) (Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

Onde: L_{λ} = Radiância espectral de cada banda [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$]; Q_{cal} = Valor do pixel após correção atmosférica [ND]; Q_{calmin} = Mínimo valor do pixel a ser calibrado [ND]; Q_{calmax} = Máximo valor do pixel a ser calibrado [ND]; $[[LMIN]]_{\lambda}$ e $[[LMAX]]_{\lambda}$ = Parâmetros de radiância espectral para cada banda [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$].

Também foram extraídos os valores dos objetos escuros para cada banda a partir destes recortes. Foram utilizados os penúltimos valores escuros para a estimativa da radiância da subtração do objeto escuro, conforme a equação 2 (Vincent et al. 2004).

$$L'_i = (L_i - \beta_i) \quad (2)$$

Onde: L_i = Radiância da subtração do objeto escuro [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$]; L_{-i} = Radiância espectral da banda i [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$]; β_{-i} = Valor do penúltimo objeto escuro do recorte [ND].

O objeto escuro é geralmente utilizado na correção do espalhamento atmosférico pelo método do *Dark Object Subtraction* (DOS) proposto por Chavez Jr. (1988) que é um dos métodos mais simples para correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos números digitais (ND) da imagem de satélite, sendo ignorada a absorção atmosférica.

2.3 Dados limnológicos

Dados coletados 3 vezes por semana da densidade de cianobactérias (cel/mL) pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) de 1º de Janeiro de 2009 até 31 de Maio de 2011 em 3 diferentes pontos do reservatório de Guarapiranga (ver figura 1 para localização) - Captação Guarapiranga (GU 101), Meio do corpo da represa (GU 104) e Braço do rio Parelheiros - Represa Guarapiranga (GU 107).

As análises da densidade de cianobactérias foram realizadas segundo a metodologia descrita na Norma Técnica L5.303 (CETESB, 2005), que descreve a metodologia com a utilização do retículo de Whipple como auxiliar na contagem de células de formas coloniais. Pode-se contar quantas células ocupam cada quadrado do retículo, calcular a média de 10-30 quadrados e multiplicar esse número pelo número de quadrados ocupados pela colônia.

A contagem de organismos de uma faixa horizontal corresponderá à contagem dos organismos contidos no retângulo cuja largura será delimitada pelo retículo de Whipple e o comprimento será o da própria câmara. Dessa forma o fator de contagem é a área da câmara de Sedgwick-Rafter pela área examinada conforme mostra na equação 3.

$$F = \frac{A}{a} \quad (3)$$

Onde: F = fator de contagem; A = Área da câmara; e a = área da faixa horizontal

O fator de contagem é necessário para a sua multiplicação pelo número de células ou organismos de um mesmo gênero ou espécie encontrados em uma faixa da câmara. Através dessa operação, será obtido o número de células ou organismos deste gênero ou espécie contidas em 1 cm^3 da amostra preservada com lugol. Se a amostra foi concentrada 10 vezes, o fator de contagem será dividido por 10 antes de se calcular o número de organismos por cm^3 .

2.4 Estimativa de concentração de ficocianina

O modelo proposto por Vincent et al. (2004) baseia-se em uma razão espectral entre as radiâncias das bandas subtraídas dos objetos escuros (equação 2). Onde as melhores razões espectrais obtidas foram organizadas de acordo com a equação 4.

$$Pc = [47,7 - (9,21(R31)) + (29,7(R41) - (188(R43)) - (6,81 (R53)) + (41,9(R73)) - (14,7(R74))] \quad (4)$$

Onde: Pc = concentração de ficocianina ($\mu\text{g/L}$); $R(i, j)$ = relação espectral entre as radiâncias subtraídas dos objetos escuros das bandas i e j .

3. Resultados

Os resultados obtidos após a aplicação do modelo proposto por Vincent et al (2004) para cada imagem utilizada são mostrados na figura 2, que também reúne as composições

coloridas dos recortes utilizados assim como um gráfico da densidade de cianobactérias, para o ponto de coleta GU104 (Meio do corpo da represa), no período que se inicia em 1º de Janeiro de 2009 até 31 de Maio de 2011.

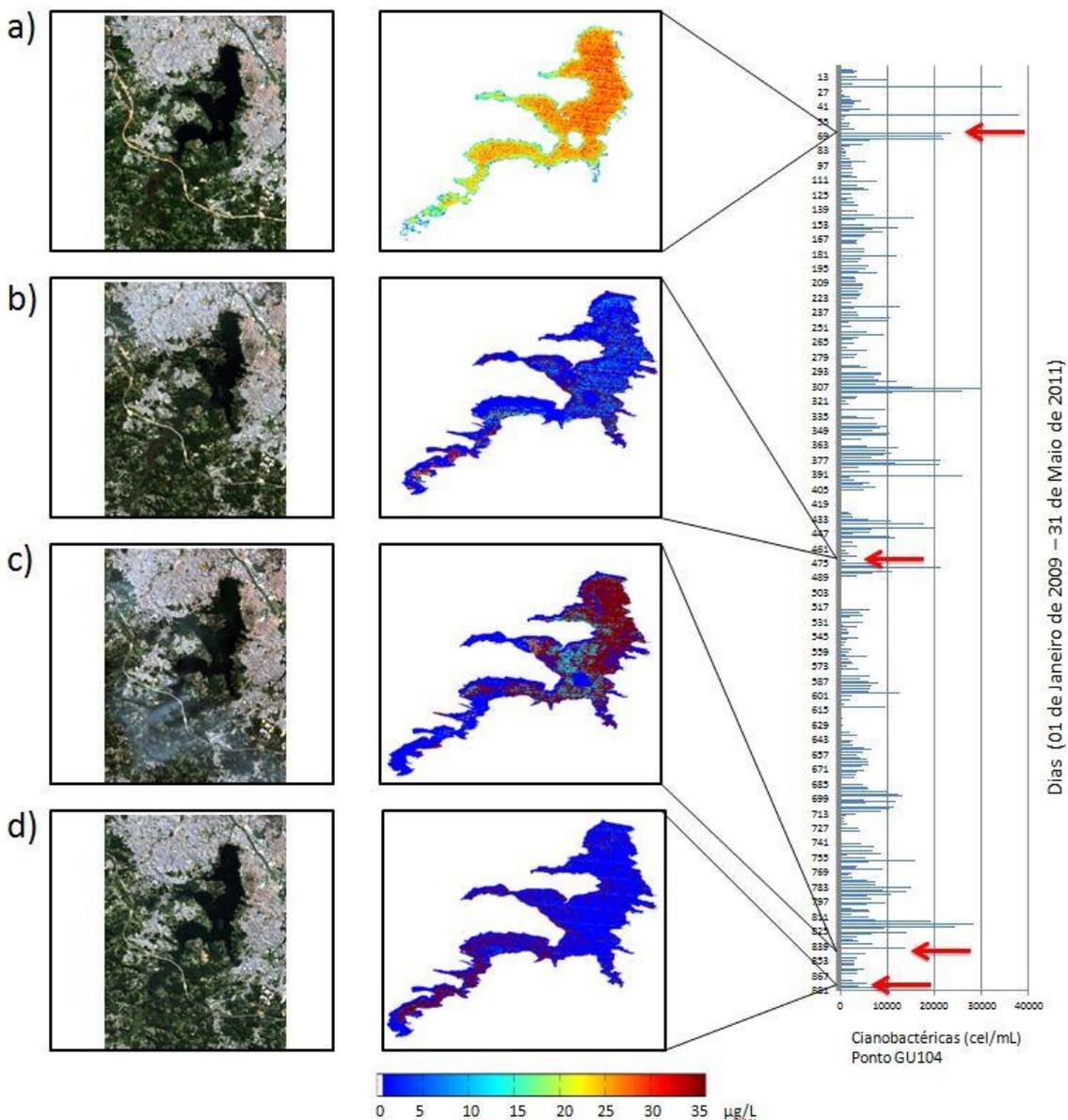


Figura 2. Composição colorida (RGB 321) do recorte do reservatório de Guarapiranga – SP; estimativas de concentração de ficocianina por meio de imagens TM e ETM+ para o reservatório; e densidade de cianobactérias medidas *in situ* no ponto GU104 para as datas em a) 6 de Março de 2009; b) 18 de Abril de 2010; c) 21 de Abril de 2011; e d) 23 de Maio de 2011.

Conforme a análise dos 4 resultados obtidos por meio da aplicação do algoritmo (equação 4) pode-se perceber que a maior concentração de ficocianina ocorreu em 6 de Março de 2009, onde nota-se uma distribuição espacial extensa com índices elevados por todo o reservatório. O mesmo pode ser notado ao compararmos com os valores da densidade de cianobactérias, que no mesmo dia foi de 23450 células por mL, onde o máximo permitido para um reservatório de abastecimento, segundo a resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005), é de 20000 células por mL.

O elevado valor da densidade de cianobactérias nesta data pode ser explicado pelo trabalho de Moraes et al. (2010) que relacionaram a sucessão fitoplanctônica nos reservatórios de abastecimento de água da RMSP às influências das frentes frias. Tundisi et al. (2004) mostraram que em reservatórios rasos, a qualidade da água está relacionada com os processos de mistura e estratificação devido a circulação vertical da coluna da água, podendo aumentar a

floração de *Microcystis* sp durante o processo de estratificação. Tundisi et al. (2010) propuseram um modelo de sucessão fitoplanctônica para reservatórios baseados na instabilidade da coluna da água para a presença ou ausência de frente frias. Ogashawara et al. (submetido) identificaram que para a data de 06 de Março de 2009 a atuação da corrente de oeste após a passagem de uma Frente Polar Atlântica foi determinando para a floração de cianobactérias, comprovando assim o modelo proposto por Tundisi et al. (2010).

Para o dia 18 de Abril de 2010 temos, nas análises laboratoriais, os menores valores da densidade de cianobactérias com contagem abaixo de 3700 células por mL. O mesmo pode ser notado no processamento da imagem, onde temos o predomínio das classes de valores mais baixos da concentração de ficocianina. Em 21 de abril de 2011 houve uma floração de cianobactérias próxima de 13000 células por mL, e pela localização obtida através do processamento do algoritmo pode-se notar que os pontos de principal ocorrência de ficocianina são próximos à captação de água do reservatório de Guarapiranga e no meio do corpo da represa, o que mostra ser uma área prioritária para o tratamento de água do segundo maior sistema de água da Região Metropolitana de São Paulo (SABESP, 2012).

Os resultados para abril de 2010 e abril de 2011 foram condizentes com o modelo proposto por Tundisi et al. (2010), uma vez que em 2010 segundo a síntese sinótica mensal realizada pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) obteve-se uma maior frequência de eventos frontais, não possibilitando a estratificação. Já para 2011, a entrada da frente entre os dias 17 e 18 possibilitaram a mistura e logo em seguida a estratificação, permitindo o afloramento de algas.

Na data de 23 de Maio de 2011, nota-se uma diminuição da concentração de ficocianina na região da captação de água e do meio do reservatório; porém mostra um aumento na região sul. A densidade de cianobactérias foi menor, próxima de 7000 células por mL, mostrando que no ponto GU104, localizado no meio do reservatório, o valor da densidade pode ser visualmente correlacionado com o da concentração de ficocianina. Também podemos atribuir esse comportamento à intensa entrada de frente frias neste mês, que além de não permitir a estratificação da coluna da água possibilitou o deslocamento das cianobactérias para a região sul do reservatório.

Os resultados mostram uma situação agravante na região que abrange a captação e o meio do reservatório, sendo que esta é principalmente utilizada para fins recreativos e esportivos, uma vez que possui uma alta concentração de marinas e praias. Dessa forma, a utilização do algoritmo permitiu a identificação de áreas prioritárias não apenas para o tratamento da água, mas também para prevenir a contaminação humana.

4. Conclusões

No presente trabalho procurou-se utilizar geotecnologias como as imagens Landsat TM e ETM+ para mapear quantitativamente a ficocianina presente no reservatório de Guarapiranga. Buscou-se ainda explicar a sua variação temporal por meio de dados meteorológicos, agentes físicos no processo de sucessão fitoplactônica. Por meio de medidas *in situ* durante o imageamento dos satélites Landsat 5 e Landsat 7, foi possível correlacionar qualitativamente a densidade de cianobactérias com a concentração de ficocianina.

A partir dos resultados obtidos pode-se elaborar as seguintes conclusões:

1. O algoritmo analisado no trabalho mostrou ser aplicado para os sensores TM e ETM+. E apesar de não estarem mais imageando, a avaliação desde algoritmo pode significar uma importante contribuição para o monitoramento da qualidade da água em reservatórios de múltiplos usos, uma vez que em 2013 será lançado o sucessor do satélite Landsat 7, o *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) ou também chamado de Landsat 8 (Irons et al., 2012). Os autores ainda destacam o sensor *Operational Land Imager* (OLI), que estará a bordo do novo satélite e terá bandas parecidas com o do Landsat 7 conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação das larguras de bandas espectrais dos sensores ETM+ e OLI - desconsiderando os sensores termais

| OLI bandas espectrais | | ETM + bandas espectrais | |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| # | Largura de Banda (µm) | # | Largura de Banda (µm) |
| 1 | 0.433–0.453 | 1 | 0.450–0.515 |
| 2 | 0.450–0.515 | 2 | 0.525–0.605 |
| 3 | 0.525–0.600 | 3 | 0.630–0.690 |
| 4 | 0.630–0.680 | 4 | 0.775–0.900 |
| 5 | 0.845–0.885 | 5 | 1.550–1.750 |
| 6 | 1.560–1.660 | 6 | |
| 7 | 2.100–2.300 | 7 | 2.090–2.350 |
| 8 | 0.500–0.680 | 8 | 0.520–0.900 |
| 9 | 1.360–1.390 | 9 | |

Adaptado de: Irons et al. (2012)

2 . O uso de imagens de satélite possibilitam o acompanhamento temporal e espacial da ficocianina, o que é um estimador de cianobactérias, permitindo assim a identificação de áreas e períodos que devem ser tratados com prioridades para os gestores públicos.

3. O uso de imagens de satélite pode ser relacionado com os parâmetro climáticos e meteorológicos, buscando relacionar como fatores abióticos podem interferir nas florações de cianobactérias e em sua distribuição espacial na superfície da água.

5. Referências

Azevedo, S.M.F.O.; Evans, W. R; Carmichael, W.W.; Namiroshi, M. First report of Microcystins from Brazilian isolate of Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. **J. appl.Phycol.**, n. 6, p. 261–265, 1994.

Azevedo, S.M.F.O.; Carmichael, W.W.; Jochimsen, E.M.; Rinehart, K.L.; Lau, S.; Shaw, G.R.; Eaglesham, G.K. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru - Brazil. **Toxicology**, n. 181-182, p. 441 - 446, 2002.

Chander, G.; Markhan, B.L.; Helder, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893 - 903, 2009.

Chavez Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459 - 479, 1988.

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Complexo metropolitano. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=36>> Acesso em: 01 Out. 2012.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade de Águas Superficiais do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2003. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/media/files/Agua/relatorios/rios/rel_aguas_int_2003/relatorio_anual_aguas_int_2003.zip>. Acesso em: 26 Set. 2012.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Norma Técnica L5.303**. São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/pdf/L5303.pdf>>. Acesso em: 26 Set. 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2005. Resolução Conama no 357. Disponível em<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 28 Set. 2012.

Falconer, I.R.; Humpage, A.R. Cyanobacterial (blue-green algal) toxins in water supplies: cylindrospermopsins. **Environmental Toxicology**, v. 21, n. 4, p. 299-304, 2006.

Gemelgo, M.C.P.; Sant'anna, C.L.; Tucci, A.; Barbosa, H.R. Population dynamics of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju, a cyanobacteria toxic species, in water supply reservoirs in São Paulo, Brazil. **Hoehnea** n.35, p.297-307, 2008.

Irons, J.R.; Dwyer, J.L.; Barsi, J.A. The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. **Remote Sensing of Environment**, v. 122, p. 11 - 21, 2012.

Londe, L. R.; Novo, E. M. L. M.; Calijuri, M. C. Avanços no estudo do comportamento espectral do fitoplâncton e identificação remota de algas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 389-396. On-line. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.18.09.49/doc/389.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2012.

Morais, M. A.; Castro, W.A.C.; Tundisi, J.G. Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua influência na limnologia dos reservatórios de abastecimento de água. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 205-217, 2010.

Ogashawara, I.; Zavattini, J.A.; Tundisi, J.G. The Climatic Rhythm and Blooms of Cyanobacteria in a Tropical Reservoir in São Paulo, Brazil. **Braz. J. Biol.**, submetido.

Sant'anna, C.L.; Azevedo, M.T.P.; Senna, P.A.C.; Komárek, J.; Komárková, J. Planktic Cyanobacteria from São Paulo State, Brazil: Chroococcales. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, p. 213 - 227, 2004.

Sant'anna, C.L.; Melcher, S.S.; Carvalho, M.C.; Gemelgo, M.P.; Azevedo, M.T.P. Planktic Cyanobacteria from upper Tietê Basin reservoirs, SP, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 1, p. 1 - 15, 2007.

Sivonen, K.; Jones, G. Cyanobacterial Toxins. In: Chorus, I.; Bartram, J. (Editors). **Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management**. London: UNESCO/WHO/UNEP, 1999. cap. 3, p.55-124.

Straskraba, M.; Tundisi, J.G. **Reservoir Water Quality Management: Guidelines of Lake Management**. Kusatsu (Japan): International Lake Environmental Committee, 1999. V.9, 227 p.

Tundisi, J.G.; Matsumura-Tundisi, T.; Pereira, K.C.; Luzia, A.P.; Passerini, M.D.; Castro, W.C.C.; Moraes, M.A.; Sebastien, N.Y. Cold fronts and reservoir limnology: an integrated approach towards the ecological dynamics of freshwater ecosystems. **Braz. J. Biol.**, v. 70, n. 3 (suppl.), p. 815-824, 2010.

Tundisi, J.G.; Matsumura-Tundisi, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.

Tundisi, J.G.; Matsumura-Tundisi, T.; Arantes Junior, J.D.; Tundisi, J.E.M.; Manzini, N.F.; Ducrot, R. The response of Carlos Botelho (Lobo, BROA) Reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical, and biological variables. **Braz. J. Biol.**, v. 64, n. 1, p. 177-186, 2004.

Vincent, R.K.; Qin, X.; McKay, R.M.L.; Miner, J.; Czajkowski, K.; Savino, J.; Bridgeman, T. Phycocyanin detection from LANDSAT TM data for mapping cyanobacterial blooms in Lake Erie. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, p. 381 - 392, 2004.