

Ocorrência e distribuição espacial de florações de algas, a partir de dados do sensor *TM/Landast-5*, no lago Guaíba - RS

Gustavo Rodrigues Toniolo¹
Laurindo Antônio Guasselli²
Alice César Fassoni-Andrade¹
Diniz Carvalho de Arruda¹
Daniela Santos da Rocha²

¹Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto - UFRGS
Caixa Postal 91501-970, Porto Alegre - RS, Brasil
{gustavotoniolo1, alice.fassoni, dinizcarvalho88}@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 91501-970, Porto Alegre - RS, Brasil
laurindo.guasselli@ufrgs.br; danielasr87@yahoo.com

Abstract. The Guaíba Lake is located in the Metropolitan area of Porto Alegre, on the coastal portion of the state of Rio Grande do Sul. The release of untreated domestic sewage is a major responsible for deteriorating water quality of the Lake. The addition of organic matter and nutrient content (mainly nitrogen and phosphorus) cause the process of eutrophication, resulting in a phytoplankton biomass increase, followed by algal blooms. Thus, the aim of this paper is to analyze the occurrence of algal blooms and their spatial distribution in the Guaíba Lake, from data of *TM/Landast-5* in the period when large concentrations of chlorophyll were observed. The study selected satellite images and in situ data provided by the Municipal Department of Water and Sewage (DMAE), where we observed the highest concentrations of chlorophyll. The preliminary results show, in the spectra extracted from *TM* images, the presence of characteristic features of the presence of chlorophyll. Moreover, it was observed that there is a good relationship between the Normalized Difference Vegetation Index and the concentration of chlorophyll in the period. Given that the index was able to highlight the lake compartments where algal blooms occurred, and which responded with greater intensity in the infrared wavelength. The highest NDVI values were observed in the sample station with chlorophyll values greater than 63 μ g/L. The NDVI has proved to be a potential tool to verify the presence of algal blooms and eutrophication processes of water bodies.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, limnology, sensoriamento remoto, processamento de imagens, limnologia.

1. Introdução

O Lago Guaíba é um importante corpo d'água localizado na porção costeira do estado do Rio Grande do Sul que banha os municípios de Porto Alegre, Eldorado do Sul, Guaíba, Barra do Ribeiro e Viamão. Além de possuir localização privilegiada ainda exerce funções sociais primordiais aos municípios adjacentes, como de estocar água para usos futuros, abastecimento urbano, agrícola e industrial, entre outros. Sua bacia hidrográfica possui área aproximada de 2.323,66 km² e a população supera os 1.400.000 habitantes. Sendo que a ocupação mais intensa ocorre na cidade de Porto Alegre (2.837,53 hab/km²), capital e maior centro comercial e financeiro do estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2010).

Com a intensificação dos aglomerados urbanos e industriais, as águas do Guaíba têm ficado vulneráveis aos mais diversos usos que requerem diferentes condições de qualidade e que propiciam diversos desequilíbrios no meio aquático (Esteves, 1998).

O lançamento de esgoto doméstico sem tratamento é um dos principais responsáveis por deteriorar a qualidade da água do Lago Guaíba (DMAE, 2011). A adição de matéria orgânica e a carga de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) proveniente de fontes de poluição pontuais ou difusas causam o processo de eutrofização, resultando em um aumento da

biomassa fitoplanctônica seguido por florações de algas ou cianobactérias. (Wetzel, 1975; Fragoso Junior et al., 2009)

Segundo Wetzel (1975) as variações na densidade das comunidades de fitoplânctons são mais evidentes em lagos de regiões temperadas, ou seja, dependendo da estação do ano. No âmbito do Lago Guaíba os eventos de floração de algas são mais recorrentes na primavera e no verão, associados às altas temperaturas que propiciam um grande aumento dessas algas (DMAE, 2011). Além destes, fatores como a diminuição das chuvas e a baixa turbulência da água contribuem como o fenômeno (Esteves, 1998; Hino, 1979)

Segundo Paz et al. (2005) a circulação da água desempenha um papel de destaque sobre tais ecossistemas aquáticos, uma vez que determina a distribuição espacial de micro organismos como o fitoplâncton, zooplâncton e macrófitas aquáticas assim como a dinâmica dos nutrientes, poluentes e sedimentos.

As algas, dependendo da concentração, forma e estágio das células ou colônias, podem provocar diferentes padrões de absorção e picos de reflectância em certas faixas do espectro eletromagnético devido, principalmente a clorofila-*a* (Chl *a*). As maiores taxas de absorção pela Chl *a*, e comunidades fitoplanctônicas, podem ser observadas na região correspondente ao azul (em 433 nm) e ao vermelho (em 686 nm), enquanto que violeta e o verde são pouco afetados (Esteves, 1998; Kirk, 2011, Novo, 2010). Desta forma, é possível identificar a presença e a biomassa fitoplanctônica a partir de perfis espectrais extraídos de imagens de satélite e por meio do cálculo de índices que realçam alvos específicos em relação a outros.

Tais medições por meio destes sensores remotos a bordo dos satélites vêm sendo utilizadas em diversos estudos, pois além de oferecer boa cobertura espacial e temporal, pode ajudar na indicação do processo de eutrofização das águas continentais e auxiliar em programas de monitoramento da qualidade da água (Rudorff, 2006; Kirk, 1994).

A aplicação de índices de vegetação, mais comumente o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), em corpos d'água já foi testado em vários estudos (Londe, 2008; Novo et al., 2009; Oliveira et al., 2012, Lissner, 2011) e tem se mostrado eficiente na detecção de florações de algas já que estes organismos respondem espectralmente de forma semelhante a vegetação quando em grandes concentrações.

Neste contexto, o objetivo do trabalho é analisar a ocorrência de florações de algas e sua distribuição espacial no Lago Guaíba, a partir de dados do sensor *TM/Landast-5*. Para isso, foram utilizados dados *in situ*, resultantes do programa de monitoramento realizado pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos - DMAE, em que se observou grande concentração de clorofila.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo corresponde ao Lago Guaíba, localizado na porção costeira do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Entre as coordenadas 29°55' e 30°24' de latitude Sul e entre 51°01' e 51°20' de longitude Oeste. Nele deságua toda a Região Hidrográfica do Guaíba (sub-bacias rios Jacuí, Taquari-Antas, Caí, Sinos e Gravataí). Foram utilizados como subsídio os dados disponibilizados pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre (DMAE), correspondente ao período de maior atividade das algas de novembro de 2007 a março de 2008, para quatro estações amostrais no Guaíba, onde é realizado o monitoramento da qualidade da água com maior frequência (Figura 1).

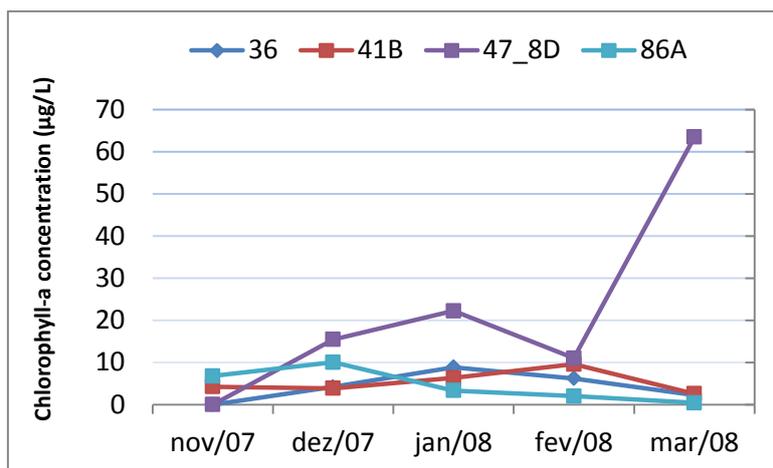


Figura 1 - Série de dados do DMAE do período de maiores concentrações de clorofila.

A partir de imagens do sensor *Thematic Mapper (TM)* corrigida para valores de reflectância e com os efeitos aditivos da atmosfera minimizados, foram extraídos das respectivas estações amostrais espectros de reflectância a partir de uma janela de 3x3 pixels, de forma a identificar a resposta que os valores de concentração de Chl *a* proporcionam nas bandas do visível e do infravermelho próximo. A imagem utilizada corresponde ao dia 09 de março de 2008, período que se observou maiores concentrações de clorofila (Figura 2).



Figura 2 - Distribuição das estações amostrais no Lago Guaíba - RS. A imagem corresponde a uma composição colorida do sensor *Thematic Mapper (RGB 321)* do dia 09/03/08.

Posteriormente a imagem foi recortada a partir de uma máscara na porção correspondente ao lago e foi gerado o NDVI. A partir da imagem NDVI classificada foi comparado os valores de NDVI com os valores de concentração de clorofila obtidos a campo.

O Quadro 1 apresenta a relação das potencialidades das bandas do sensor *TM* para alguns parâmetros opticamente ativos. A Chl *a* esta presente em todos os organismos que realizam fotossíntese e é responsável pelos processos iniciais da mesma, enquanto que pigmentos acessórios auxiliam na absorção e transferência da energia radiante. Os pigmentos acessórios também incluem outros tipos de clorofilas: Chl *b*, presente em vegetais superiores, algas verdes e algumas bactérias; Chl *c*, em feofitas e diatomáceas; e Chl *d*, em algas vermelhas. O pico de absorção se dá principalmente na região do vermelho para todos os tipos de clorofilas (Streit et al., 2005 apud Taiz e Ziegler, 2004)

Thematic Mapper (TM)	Wavelength (micrometers)	Picos de Absorção De Clorofilas				Algas Flutuantes (máxima reflexão)	Turbidez	Detecção de Clorofila em Ambientes Túrbidos	Resolução (m)
		a	b	c	d				
	Band 1 (0.45 - 0.52)		*		*				30
	Band 2 (0.52 - 0.60)								
	Band 3 (0.63 - 0.69)	*	*	*	*		*	*	
	Band 4 (0.76 - 0.90)				*	*	*		

Quadro 1 – Características e potencialidades das bandas do sensor *TM/Landsat-5* para corpos d'água. Fonte: Adaptado de Novo e Tundisi (1988).

3. Resultados

Analisando os dados de monitoramento do DMAE observa-se que a concentração de Chl *a* varia muito em função do mês e do setor do lago. Sendo assim, as maiores concentrações de Chl *a* foram para o meses de janeiro e março de 2008, ambas na porção correspondente a estação amostral 47_8D, com valores superiores a 22 e 63 $\mu\text{g/L}$, respectivamente. As menores concentrações foram encontradas a montante do Guaíba, correspondente as estações 36 e 86A que apresentaram valores baixos durante todos os meses observados. Para o mês de março as concentrações de clorofila ficaram com valores entre 0,42 e 2,6 $\mu\text{g/L}$, para os pontos 86A e 41B respectivamente. Assim a distribuição espacial da densidade de fitoplânctons e por ventura das florações pode estar relacionada principalmente ao sistema de circulação da água e a morfometria do lago.

De acordo com os dados de monitoramento do DMAE (2011) para 09 de março de 2008, houve um episódio de florações de cianobactérias na porção que compreende a estação 47_8D (sendo Belém Novo como ponto de referência), ao contrário dos demais pontos, onde não foi observado o mesmo.

A Figura 2 mostra os espectros de reflectância extraídos de uma janela de 3x3 pixels das imagens *TM/Landsat-5*, correspondente à localização das estações amostrais do DMAE. A análise mostra que provavelmente os espectros de reflectância estejam relacionados com as diferentes concentrações de Chl *a* no lago. A estação 47_8D, onde foi identificado florações no período, apresentou diferenças no espectro de reflectância em comparação as demais estações. A principal diferença está no pico máximo na faixa do infravermelho próximo e uma maior absorção de radiação na faixa do vermelho. Segundo Novo (2010) a medida que aumenta a biomassa fitoplanctônica ocorre um aumento da reflectância em todos os comprimentos de onda, principalmente na região do infravermelho próximo (Banda 4 do sensor *TM*), onde o espalhamento pela clorofila supera o efeito de absorção da água.

Estudos realizados por Pereira Filho (2011) mostram uma reflectância mais elevada na banda 2 em comparação com a banda 3 do sensor TM, quando os valores de clorofila são superiores a $50\mu\text{g}/\text{L}$. Em estudos realizados por Gitelson (1992) para faixa de 560 nm (correspondente à banda 2), ainda apontam que a reflectância máxima observada é causada por uma baixa absorção pelas algas.

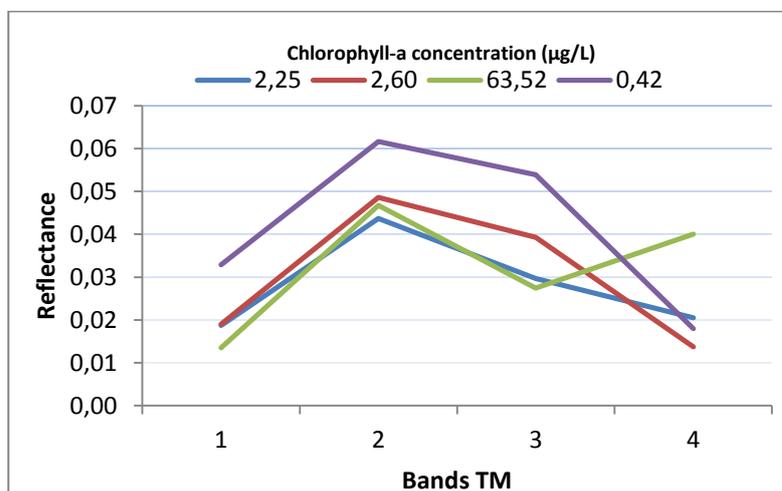


Figura 3 - Espectros de Reflectância obtidos a partir de imagem TM de 09 de março de 2008, Lago Guaíba - RS.

Na figura 3 observa-se a potencialidade do uso do NDVI para a detecção de florações fitoplanctônicas nas águas do Guaíba, para a imagem de 09 de março de 2008. Na figura 3(a), composição colorida falsa-cor (RGB 543), é possível notar a resposta do infravermelho próximo na cor verde, correspondente a presença de florações em ambas as margens do lago, mas com maior intensidade na margem direita (em destaque).

Com a aplicação do NDVI (Figura 3(b)) as feições com maior resposta no infravermelho próximo, correspondentes às florações de algas observadas em (a), ficaram com valores bem mais elevados quando comparado com os setores onde não houve o fenômeno no lago. Sendo assim, na porção correspondente aos pontos 86A e 36 os valores de NDVI ficaram negativos (entre -0,24 e -0,40 respectivamente). As baixas concentrações de clorofila nesta porção do lago explicam os baixos valores de NDVI, pois esta porção ainda há predominância das características de rio que por sua vez influencia sobre o arraste e ressuspensão de matéria particulada, desfavorecendo a penetração de luz, além desta.

Os valores de NDVI crescem em direção a 1 a medida que se aproximam das cores mais quentes. Na porção que compreende o ponto 47_8D os valores estão entre 0.02 a 0.22. Os valores correspondentes às manchas em cores mais quentes (em destaque) possuem NDVI que chegam até 0.60. Como se pode observar a distribuição das florações de fitoplâncton segue o padrão de circulação da água do lago. Segundo estudo realizado por Paz et al. (2005) os compartimentos em que se observa tais florações correspondem as margens, ou seja, regiões que ficam nas laterais do canal de navegação em que se percebe uma mudança significativa na velocidade de escoamento em relação ao canal.

Além disso, as margens a oeste no lago possuem águas menos profundas e se caracterizam por ter menor influência do fluxo e dos ventos, tornando as águas mais calmas e propiciando à ressuspensão de matéria particulada, principalmente no verão. Com isso, normalmente as florações de cianobactérias iniciam nessa região (DMAE, 2011).

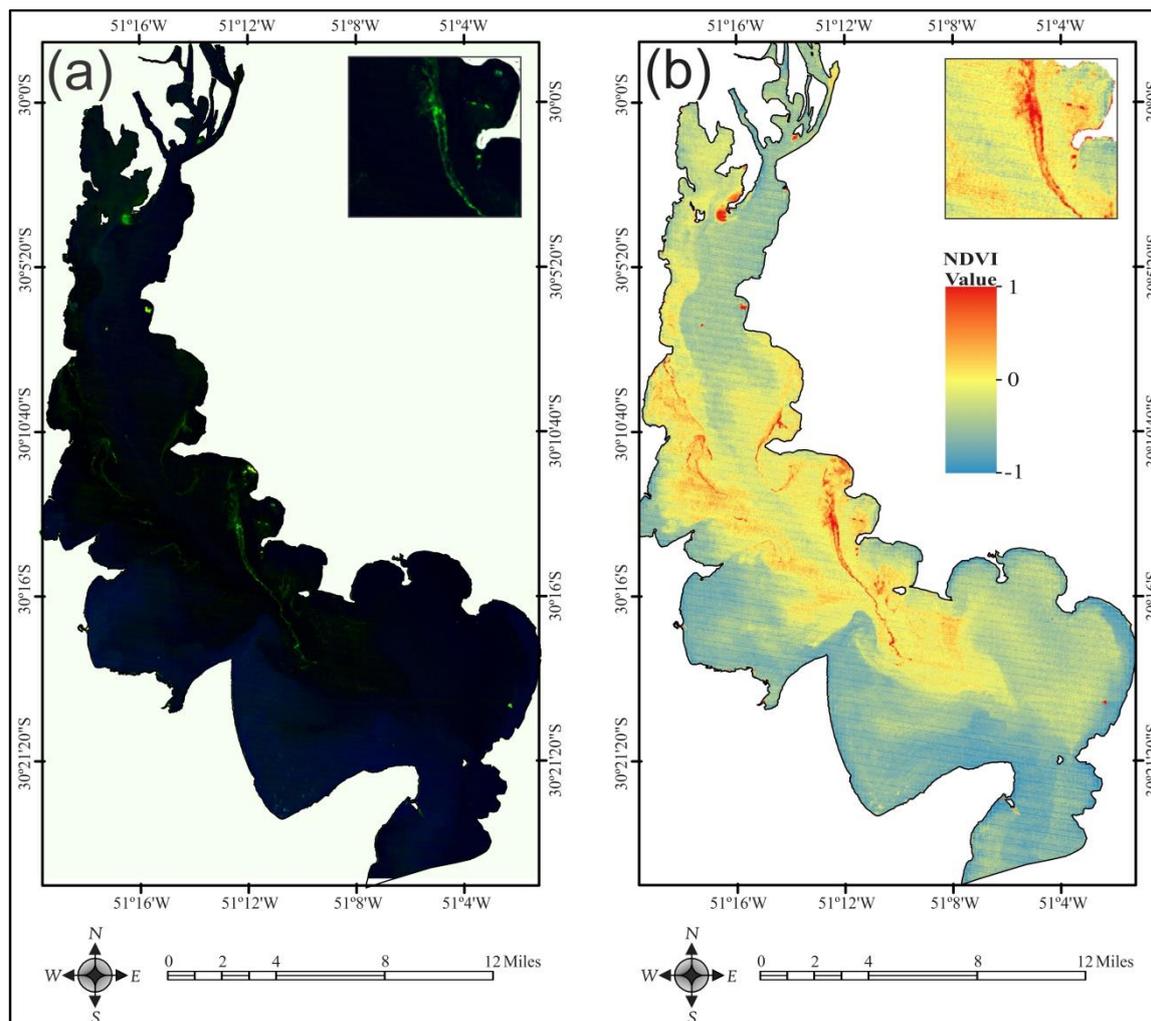


Figura 4 - Composição falsa-cor (RGB 543) de imagem TM - 09/03/2008 (a), e NDVI em (b), Lago Guaíba - RS

4. Conclusão

Apesar das poucas estações amostrais de monitoramento da qualidade da água do DMA no Lago Guaíba, os espectros, os espectros de reflectância das imagens do TM/Landsat-5 foram capazes de mostrar que os locais com a presença de grandes concentrações de Chl *a* geram diferentes feições no espectro do visível e do infravermelho próximo, quando comparados aos locais ou estações amostrais onde não houve concentrações significativas. Sendo capaz de indicar o estado trófico em determinadas porções do lago.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), apesar de ser incomum sua aplicação em corpos d'água, propiciou espacializar a distribuição de ocorrência de florações de algas no lago. Assim, o NDVI tem demonstrando ser uma potencial ferramenta para verificar a presença de florações em imagens orbitais e auxiliar no monitoramento da qualidade da água e dos processos de eutrofização dos corpos d'água.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto – UFRGS pelo apoio e incentivo.

5. Referências

- Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre (DMAE). **A ocorrência de florações no lago Guaíba**. 2011. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/cs/usu_doc/ocorrencia_de_floracoes_lago_guaiba.pdf>. Acesso em: jul. 2014.
- Esteves, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- Fragoso júnior, C. R.; Ferreira, T. F.; Motta Marques, D. M. L.. **Modelagem Ecológica em Ecossistemas Aquáticos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. v. 1. 304p .
- Gitelson, A. The peak near 700 nm on radiance spectra of algae and water: relationships of its magnitude and position with chlorophyll concentration. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 17, p. 3367-3373, 1992.
- Hino, K. **Análise qualitativa e quantitativa do microfitoplâncton da Represa do Lobo (Broa)**. 1979. 119 p. São Carlos, DCB/UFSCar. Dissertação, São Carlos, SP. 1979.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico**, 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 23.jun.2014.
- Kirk, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems**. 3 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, 662 p
- Lissner, J.B. **Distribuição espaço-temporal da biomassa na lagoa Itapeva, litoral norte do Rio Grande do Sul, brasil, a partir de imagens de NDVI**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRGS, 2011. 117p.
- Londe, L. R. **Comportamento espectral do fitoplâncton de um reservatório brasileiro eutrofizado – Ibitinga (SP)**.2008. 223p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.
- Novo, Evlyn M. L. M. ; Stech, J. L. ; Londe, L. R. ; Assireu, A. T. ; Barbosa, C. C. ; Alcantara, E. H. ; Souza, A. F. . Integração de dados do sistema automático de monitoramento de variáveis ambientais (SIMA) e de imagens orbitais na avaliação do estado trófico do Reservatório da UHE Funil. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais** Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR). São José dos Campos, SP: SBSR/INPE, 2009. p. 4797-4804.
- Novo, E. M. L. M.; Tundisi, J. G.. Sensoriamento remoto de águas interiores: perspectivas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5, 1988, Natal. **Anais** do 5o Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 1988. p. 13-21.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.
- Oliveira, L. C. B. ; Guasselli, L. A. ; Antunes, R. L. S. . Variação Espaço-Temporal de NDVI no rio Madeira, na área de aproveitamento hidrelétrico da UHE Santo Antônio - RO. **Revista GeoNorte**, v. 4, p. 1823-1832, 2012.
- Paz, A. R.; Reis, L. G. M.; Lima, H. V. C.. Uso de modelagem hidrodinâmica visando a segmentação de corpos d'água rasos para Enquadramento: o caso do Lago Guaíba (RS). In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. **Anais** do XVI SBRH, 2005.
- Pereira Filho, W. ; Barbieri, D. W. ; Wachholz, Flávio ; Corazza, Rosana ; Trentin, Aline Biasoli ; Trindade, P. M. P. ; Domingues, A. L. . Relação entre clorofila a com perfil espectral e imagem de satélite no reservatório Passo Real RS. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011. p. 5433-5440
- Rudorff, C. de M. **Estudo da composição das águas da Planície Amazônica por meio de dados de sensor Hyperion\EO-1 e de reflectância de campo visando a compreensão da variação temporal dos seus**

constituente opticamente ativos. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2006.

Streit, N. M. ; Canterle, L. P. ; Canto, Marta Weber Do ; Hecktheuer, Luisa Helena Rychcki . Clorofila - Uma revisão. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Universidade Federal de Santa Maria (Cessou em 1990. Cont. ISSN 0103-8478 Ciência Rural (Impresso)), v. 35, p. 748-755, 2005.

Taiz, L.; Ziegler, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre : Artmed, 2004. p.693. (Trad. SANTARÉM E.R. et al.)

Wetzel, R. G. **Limnology**. Philadelphia: W. B. Saunders, 1975.