Identificação das características ópticas da água do lago Guaíba, RS, a partir de dados espectrorradiométricos e limnológicos

Rosana Corazza [1]
Waterloo Pereira Filho [2]
Luís Alberto Basso [1]

[1] Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 15001 – 91501-900 - Porto Alegre - RS, Brasil
corazza_ro@yahoo.com.br; lbasso@terra.com.br

[2] Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Caixa Postal 5001 – 97105-900 – Santa Maria - RS, Brasil
waterloopf@gmail.com

Abstract. The Guaíba lake is the main source of water supply for the city of Porto Alegre, but in recent years it has had recurrent episodes of cyanobacterial blooms, which justifies the environment continuous monitoring. Inserted in this context, the present study aim to identify, in a preliminary way, the main constituent optically active of water in Guaíba lake in March, 2012. Therefore, we conducted a fieldwork on March 07, covering 16 sampling points located in areas east and west of the lake, on the edge of the urban area of Porto Alegre and nearby urban area of the municipality of Guaiba. In these limnological data points were collected, among them water transparency, measured by Secchi Disc (SD), water samples for laboratory determination of Total Suspended Solids (TSS) and chlorophyll-a (Chl-a) and data for the bidirectional reflectance factor of the water, using a spectroradiometer. Correlograms were generated from data obtained limnological and reflectance spectra between data and limnological, and first derivative spectra. It was found that the main constituent optically active to the date of the fieldwork was to Chl-a, and the SD, the TSS, and Chl-a showed higher correlation with the first derivative of reflectance spectra than the original. These findings will continue to be investigated, since the Chl-a is directly related to algal blooms.

Palavras-chave: algal blooms, chlorophyll-a, total suspended solids, remote sensing, florações de algas, clorofila-a, total de sólidos suspensos, sensoriamento remoto.

1. Introdução

As atividades antropogênicas como a descarga de esgotos industriais e domésticos sem nenhum tratamento e a utilização extensa de fertilizantes na agricultura, provocam um aumento de nutrientes (nitrogênio e fósforo) em diversos corpos d'água, causando um enriquecimento artificial desses ecossistemas. Este processo é denominado eutrofização artificial e tem, como principal consequência, as florações de microalgas (BRANDÃO e DOMINGOS, 2006).

No âmbito do estado do Rio Grande do Sul, o lago Guaíba - formado pelas águas dos rios Jacuí, Sinos, Caí e Gravataí e principal fonte de abastecimento para o município de Porto Alegre - tem apresentado problemas que decorrem da ação humana ou por ela são potencializados, com destaque para recorrentes florações de algas, principalmente nos meses de primavera e verão (DMAE, 2012). Muitas destas algas apresentam potencial toxicológico aos seres humanos e à fauna terrestre e aquática e por isso os episódios de floração necessitam de monitoramento contínuo. As toxinas são produzidas principalmente pelas cianobactérias e, em função da ação farmacológica, as cianotoxinas são classificadas em neurotoxinas, hepatotoxinas e dermatoxinas. A exposição humana pode ocorrer através do contato dermal, da ingestão de água, em tratamentos de hemodiálise (intravenoso) e por bioacumulação na cadeia alimentar (CALIJURI, 2006).

Uma das formas de obtenção de informações sobre ambientes aquáticos que tem apresentado expressivo crescimento em relação à pesquisa e aplicabilidade é o uso de dados

de sensoriamento remoto terrestre e/ou orbital. O principal equipamento do sensoriamento remoto terrestre é o espectrorradiômetro, que possui alta resolução espectral e permite a identificação de feições próprias dos constituintes que conferem a cor apresentada pela água (opticamente ativos), sendo os principais: a) a clorofila-a, que pode ser utilizada como medida indireta do grau de eutrofização e na identificação de florações; b) os sólidos suspensos, relacionados às partículas inorgânicas presentes da água; e c) a matéria orgânica dissolvida, proveniente da decomposição do material orgânico.

Inserido neste contexto, o objetivo deste trabalho foi identificar, de forma preliminar, o principal constituinte opticamente ativo no lago Guaíba, utilizando para tal a coleta de dados limnológicos e espectros de reflectância, processados e correlacionados de tal forma a obter maior confiabilidade na interpretação dos resultados obtidos.

2. Metodologia de Trabalho

As coletas limnológicas e espectrais ocorreram no dia 07 de março de 2012 e abrangeram 16 pontos amostrais (Figura 1). Os pontos amostrais foram definidos *a priori* a partir da classificação não supervisionada de uma imagem TM do satélite Landsat de 05 de maio de 2011, na qual foram identificadas massas de água com características distintas no interior do lago.

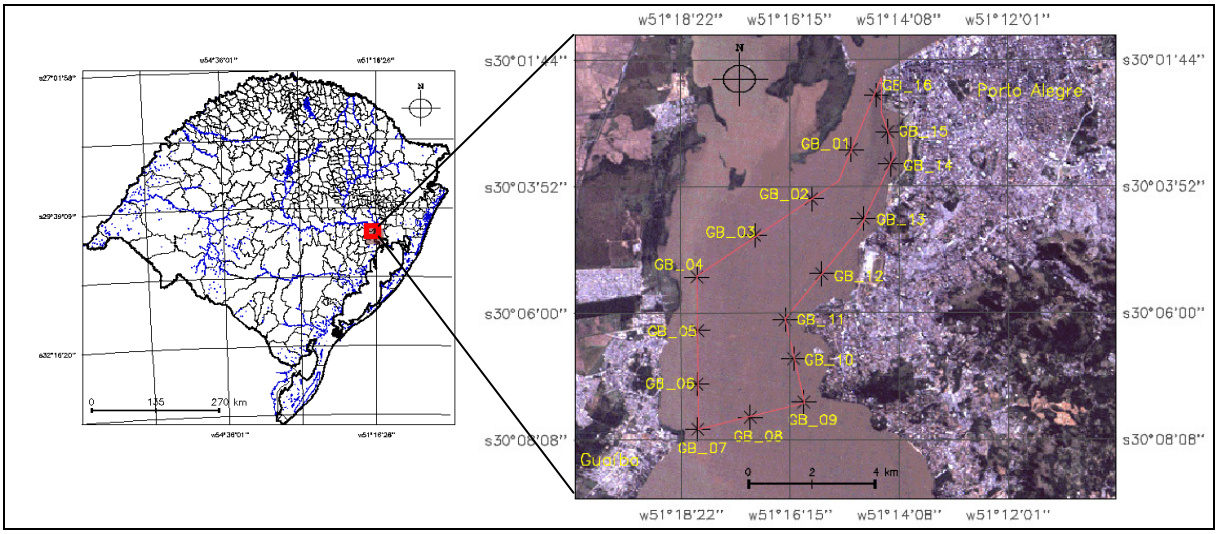

Figura 1. Localização dos pontos amostrais no contexto do estado do Rio Grande do Sul e na superfície do lago Guaíba.

Em relação à limnologia, com auxílio de uma lancha foram coletados dados *in situ,* com destaque para a transparência da água, medida com o Disco de Secchi (DS), e também amostras de água analisadas posteriormente em laboratório. Determinou-se a concentração do Total de Sólidos Suspensos (TSS), com a utilização das técnicas de filtragem, secagem e pesagem das amostras, conforme metodologia descrita em Wachholz (2007). As concentrações de Clorofila-a (Chl-a) das amostras foram obtidas com a filtragem e extração deste pigmento para posterior leitura no espectrofotômetro, de acordo com a metodologia apresentada por Yunes e Araújo [s/d].

As medidas do fator de reflectância da água em cada ponto amostral foram realizadas com o auxílio do espectrorradiômetro *FieldSpec® HandHeld,* com faixa de operação entre 325 e 1075 nanômetros (nm), resolução espectral de 3 nm e campo de visada de 25° (ASD, 2009). Os espectros de reflectância obtidos foram processados no *software* SAMS - *Spectral Analysis and Management System* (UNIVERSITY OF CALIFORNIA, 2012), com a sua suavização pelo método Savitzky-Golay (PRESS et al., 1992), o qual apresenta vantagens em

relação ao método de suavização por média móvel – mais comumente utilizado nos processamentos espectrais – porque tende a preservar as características dos dados, como altura e largura dos picos e depressões, medidas usualmente alteradas pela média móvel Londe (2008). Após a suavização dos espectros procedeu-se com a derivação de primeira ordem dos mesmos, técnica que tem por objetivo eliminar sinais de fundo, resolver feições espectrais sobrepostas e melhorar o contraste espectral (LONDE et al., 2005).

Após o processamento dos dados espectrais, foi realizada a integração dos espectros de reflectância e das derivadas de primeira ordem com os dados limnológicos através da geração de correlogramas. Os correlogramas expressam a correlação entre cada comprimento de onda das 16 curvas de reflectância e os valores de DS, TSS e Chl-a dos pontos amostrais, facilitando a identificação das faixas de comprimentos de onda mais importantes. Posteriormente foi aplicado o teste de hipótese *t* de Student, que permitiu identificar o limite das correlações estatisticamente significativas.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 é apresentado um resumo dos dados limnológicos coletados. Comparando-se estes resultados com os encontrados por Andrade (2009), que monitorou um ponto amostral no lago Guaíba entre os anos de 1996 e 2006, verifica-se que, para a data do trabalho de campo, a transparência da água esteve alta, a concentração de sólidos suspensos baixa e a de Chl-a encontrou-se dentro de valores normais. Os valores mínimos, máximos e médios do DS, TSS e Chl-a obtidos por Andrade (2009), foram (respectivamente): DS: 0,15 m, 0,70 m e 0,36 m; TSS: 10,0 $mg.L^{-1}$, 46,0 $mg.L^{-1}$ e 22,8 $mg.L^{-1}$; Chl-a: 0,0 $\mu g.L^{-1}$, 19,9 $\mu g.L^{-1}$ e 3,0 $\mu g.L^{-1}$.

Tabela 1. Valores médios, mínimos e máximos e desvio padrão do DS, TSS e Chl-a em 07/03/2012

	DS (cm)	TSS ($mg.L^{-1}$)	Chl-a ($\mu g.L^{-1}$)
Valor mínimo	60,0	4,00	2,11
Valor máximo	110,0	15,50	14,74
Valor médio	91,0	9,56	7,25
Desvio padrão	16,0	3,73	4,52

Os valores das variáveis limnológicas encontrados em março de 2012 podem estar relacionados ao longo e severo período de estiagem ocorrido no RS entre novembro de 2011 e maio de 2012, decorrente do fenômeno *La Niña* (INMET, 2012). Com precipitações pluviométricas abaixo dos valores considerados normais ocorre uma diminuição do carreamento de materiais sólidos e de nutrientes para o interior do corpo hídrico, ocasionando o aumento da transparência da água. Apesar das maiores transparências favorecerem o desenvolvimento das algas, se não estiverem presentes outras condições ideais relativas à disponibilidade de nutrientes, temperatura da água e do ar e insolação, os episódios de florações de algas podem não se manifestar.

Na Figura 2 são apresentados os espectros de reflectância coletados nos 16 pontos amostrais. Verifica-se que o pico máximo de reflectância localizado nos comprimentos de onda do verde (500-600 nm) é um indicativo do espalhamento interno das células dos organismos fitoplanctônicos (NOVO, 2001). Porém, como este máximo se deu muito próximo à faixa dos comprimentos de onda do vermelho (600-700 nm), houve a provável influência dos sedimentos inorgânicos suspensos, que ocasionam o deslocamento do pico de reflectância em direção aos maiores comprimentos de onda (HAN e RUNDQUIST, 1997). A maior reflectância nos comprimentos de onda do verde e do vermelho conferiu à água a cor marrom, constatada no trabalho de campo.

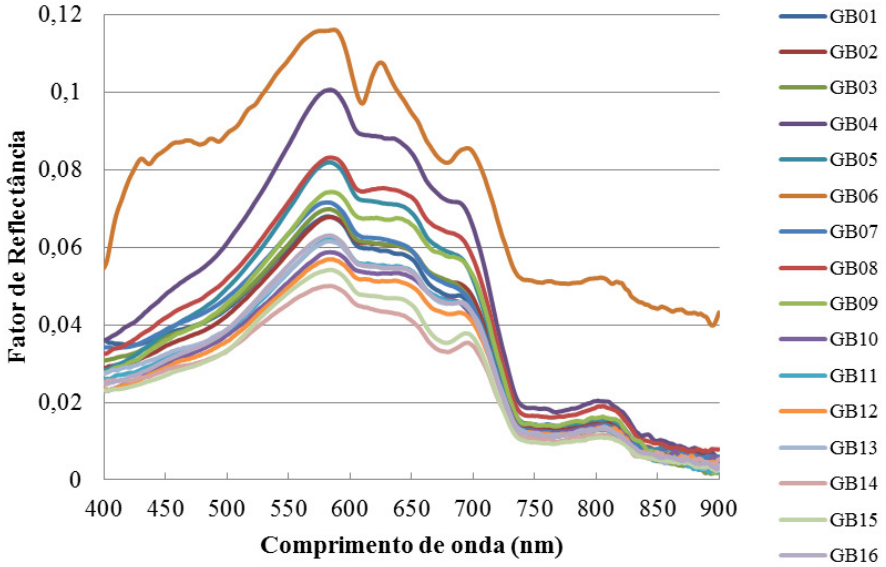

Figura 2. Espectros de reflectância do lago Guaíba em 07 de março de 2012.

A feição de absorção próxima aos 675 nm presente nos espectros é característica do pigmento fotossintético Chl-a, que absorve fortemente neste comprimento de onda para a realização da fotossíntese (KIRK, 1994; MOBLEY, 1994; NOVO, 2001; ESTEVES, 2011). O TSS também influenciou a resposta espectral da água, todavia, a influência foi menor do que a da Chl-a, o que se justifica pela ausência do patamar de reflectância proeminente entre 500 e 700 nm, característico de altas concentrações de TSS e da baixa absorção da radiação pela água nesta região (NOVO, 2001).

Os espectros dos pontos amostrais GB06 e GB04 se destacam dos demais por apresentarem maior reflectância em todos os comprimentos de onda, o que se deve à baixa profundidade da água nestes pontos amostrais, respectivamente de 1,21 m e 1,05 m. Desta forma, a resposta espectral da água foi contaminada pela resposta do leito do lago Guaíba. Por sua vez, os espectros correspondentes aos pontos GB14 e GB15 apresentaram as menores reflectâncias, o que provavelmente se deve à proximidade à área urbana de Porto Alegre (foz do Arroio Dilúvio), e a presença de maior quantidade de matéria orgânica dissolvida na água, proveniente do despejo de esgotos. A matéria orgânica dissolvida caracteriza-se por aumentar o coeficiente de absorção da radiação pelo meio aquático, sendo este coeficiente inversamente proporcional ao comprimento de onda da radiação (MOBLEY, 1994; NOVO, 2001; ESTEVES, 2011).

Na Figura 3 é apresentado o correlograma gerado entre os espectros de reflectância originais e as variáveis limnológicas. Destaca-se que o DS não representa um constituinte opticamente ativo da água, mas foi mantido nas análises como variável complementar. As correlações, de uma forma geral, foram baixas e se mostraram estatisticamente significativas apenas para um nível de confiança de 75%, estando restritas a algumas faixas de comprimentos de onda delimitadas sobre o gráfico com as linhas tracejadas. Verifica-se que, enquanto a Chl-a apresentou as maiores correlações principalmente nos comprimentos de onda do visível (553-697 nm), especialmente nas proximidades do pico de absorção em 675 nm, para o TSS, as maiores correlações se localizaram na faixa do infravermelho (706-900 nm). Estas constatações podem ser úteis para o desenvolvimento de algoritmos que visem a estimativa dos constituintes da água a partir dos dados de sensoriamento remoto (Londe, 2008).

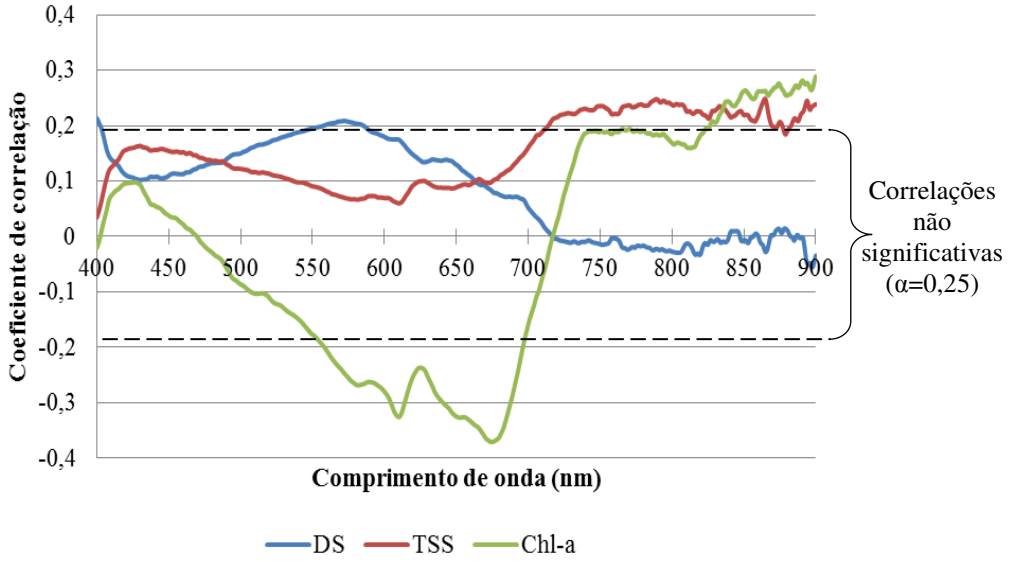

Figura 3. Correlograma entre os espectros de reflectância e as variáveis limnológicas.

A Figura 4 é relativa à primeira derivada da reflectância dos espectros. Verifica-se que esta técnica de processamento espectral corrobora para a identificação das feições de absorção e reflectância indicativas dos constituintes presentes na água. As principais regiões espectrais destacadas foram: a) o pico de reflectância nos comprimentos de onda do verde (aproximadamente entre 500 e 580 nm), que apresentou forte variação positiva; b) a feição de absorção da Chl-a em torno de 650 nm; e c) a região de forte inflexão negativa entre 700 e 750 nm, decorrente da absorção pela água pura. É possível verificar que na derivada ocorreu um deslocamento das feições alguns nanômetros em direção aos menores comprimentos de onda.

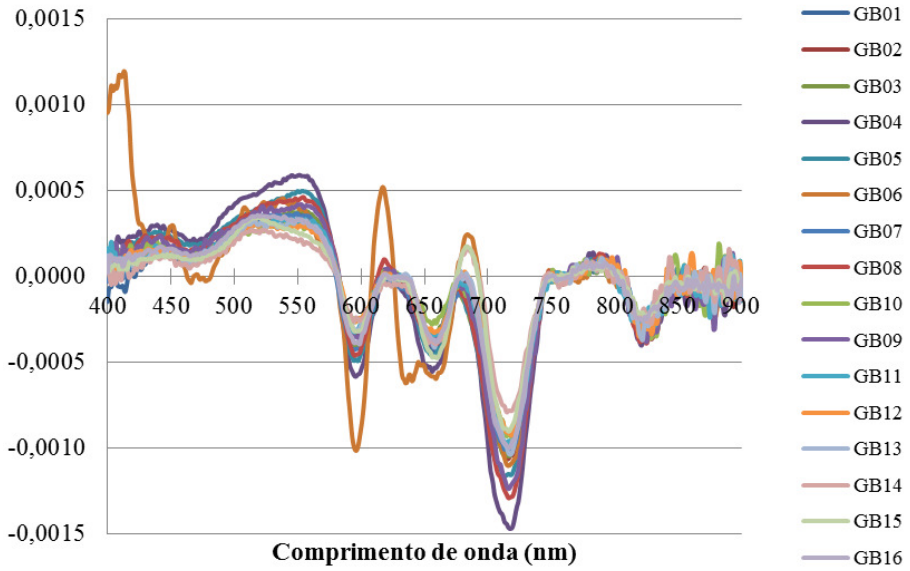

Figura 4. Primeira derivada dos espectros de reflectância

Na Figura 5 é apresentado o correlograma entre a primeira derivada da reflectância e as variáveis limnológicas. Em comparação ao correlograma da Figura 3, verifica-se que a derivação dos espectros permitiu a obtenção de maiores valores de correlação, refinamento das faixas espectrais que podem ser úteis para a geração de algoritmos e a ampliação da análise para um nível de confiança de 99,9%. O aumento das correlações proporcionado pela

análise derivativa se deve à sua capacidade de remover os efeitos da água dos espectros, restando os efeitos dos sedimentos e da Chl-a (GOODIN et al., 1993). A Chl-a apresentou as maiores correlações tanto positivas quanto negativas, o que indica que este pigmento foi o principal constituinte oticamente ativo da água do lago Guaíba para a data do trabalho de campo.

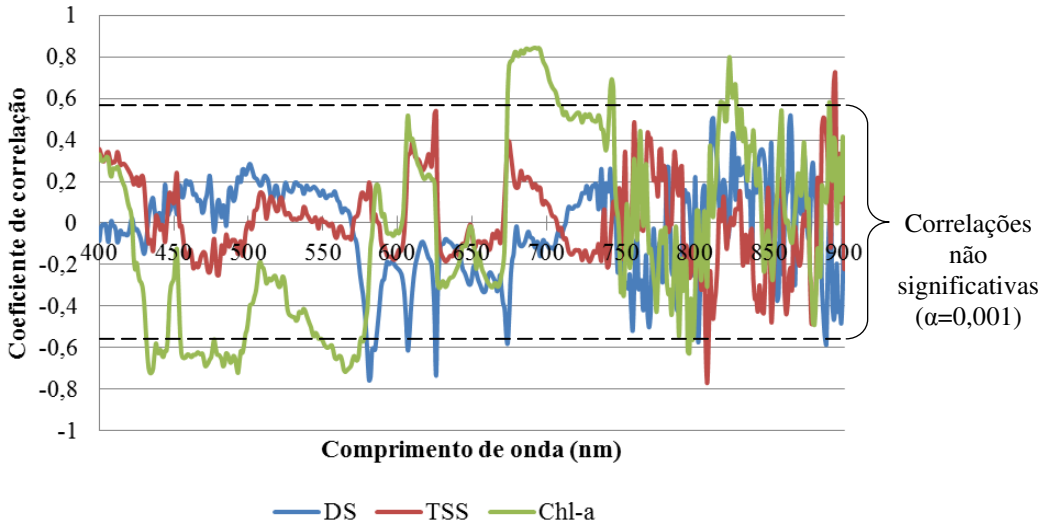

Figura 5. Correlograma entre a primeira derivada da reflectância e as variáveis limnológicas

4. Conclusões

Com a realização deste trabalho foi possível obter uma compreensão inicial das características óticas apresentadas pelo lago Guaíba. Estas se mostraram importantes, especialmente no que se refere à Chl-a, uma vez que este pigmento é um indicativo da ocorrência de florações fitoplanctônicas, sendo passível de detecção por técnicas de sensoriamento remoto orbital e terrestre.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de Doutorado (CAPES/DS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro através dos Projetos n° 484712/2007-1 e 502646/2008-0.

Referências Bibliográficas

Analytical Spectral Devices Inc. (ASD Inc.) FieldSpec HandHeld Spectroradiometer. Disponível em: <http://www.asdi.com/products-fshh-fshhp.asp>. Acesso em: 27 fev. 2009.

Andrade, R. R. **Variação temporal do fitoplâncton em um ponto amostral do lago Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil.** 2009, 208 p. Dissertação (Mestrado em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, ênfase em Microalgas Continentais) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2009.

Brandão, L. H; Domingos, P. Fatores ambientais para a floração de cianobactérias tóxicas. **Saúde & Ambiente em Revista**, v.1, n.2, p.40-50, 2006.

Calijuri, M.C.; Alves, M.S.A.; Dos Santos, A.C.A. **Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais.** São Carlos: RiMa, 2006.

Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre (DMAE). A ocorrência de florações no lago Guaíba. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/cs/usu_doc/ocorrencia_de_floracoes _lago_guaiba.pdf>. Acesso em: ago. 2012.

Esteves, F. **Fundamentos de Limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

Goodin, D. G., et al. A. Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution reflectance spectra. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 59, n. 4, p. 505-510, 1993.

Han, L.; Rundquist, D. C. Comparison of NIR/RED ratio and first derivative of reflectance in estimating algal-chlorophyll concentration: a case study in a turbid reservoir. **Remote Sensing of Environment.** v. 62, p. 253-261, 1997.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Boletim Climático para o Rio Grande do Sul, Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/boletimRioGrandeDoSul>. Acesso em: 12 nov. 2012.

Kirk, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems.** 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1994, 509 p.

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. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.18.09.49/doc/389.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2012.

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.

Mobley, C. D**. Light and Water: radiative transfer in natural waters.** San Diego: Academic Press, 1994.

Novo, E. M. L. de M. Comportamento Espectral da Água. In: Meneses, P. R., Madeira Netto, J. da S. (Orgs**.). Sensoriamento remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília: Universidade de Brasília, 2001, p. 203-221.

Press, W. H. et al. **Numerical Recipes.** 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

University of California. **Spectral Analysis and Management System (SAMS).** Centre for Spatial Technologies and Remote Sensing Department of Land, Air, and Water resources. Disponível em: <http://sams.projects.atlas.ca.gov/?Installation>. Acesso em: 30 jul. 2012.

Wachholz, F. **Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais**. 2007. 97 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

Yunes, J. S; Araújo, E. A. C. Protocolo para análise de clorofila-a na água. Rio Grande: Unidade de Pesquisa em Cianobactérias da Fundação Universidade Federal de Rio Grande. [s/d].