

Comportamento espectral de lagoas salinas e hipossalinas e sua correlação com a composição limnológica em duas regiões do Pantanal da Nhecolândia: primeiros resultados

Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida¹
Stephano Pessini Alberto da Silva¹
Patrícia Bortoletto de Falco²
Simone Pereira Casali²
Antonio Conceição Paranhos Filho³
Joel Barbujianni Sígolo¹
Orjana Carvalho Alcantara Silva¹

¹Universidade de São Paulo - USP/Instituto de Geociências
Rua do Lago 562- 05508-080 – São Paulo - SP, Brasil
{talmeida, stephano.silva, jbsigolo, orjanac}@usp.br

²Universidade de São Paulo - USP/Escola de Engenharia de São Carlos
pbdefalco@yahoo.com, spcasali@yahoo.com.br

³Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
paranhos@nin.ufms.br

Abstract. The Pantanal, the Earth largest flood plain, can be divided into eleven sub regions. The most curious, Nhecolândia, occupies the southern half of the Taquari alluvial fan. Nhecolândia are distinct from another sub region by its peculiar physiography. This can be defined by the presence of seasonally flooded savannas bounded by forest fragments and thousands of lakes with a great spatial, physical, chemical and biological variability. The most notable characteristics are the salinity (from fresh to brackish waters), pH (from 6 to up than 10) and the limnological communities (from bacillariophyceae to cyanobacteria) and cell densities (from 148 to 5914648 cel.ml⁻¹). As a general statement, the brackish lakes are always alkaline but the alkaline lakes may have fresh waters. This paper presents the first results of correlation between phytoplanktonic dominant classes, pH and salinity (expressed by electric conductivity) and the radiance measured in ASTER VNIR bands. In 24 lakes were obtained *in situ* data from electrical conductivity and pH of surface water. Samples were also collected at each lake, fixed and later analyzed in laboratory, with the help of triocular research microscope and automatic system for analyzing images. The counting of phytoplankton adopted the method of sedimentation and density was calculated from the quantitative analysis. It is verified a clear positive correlation between cyanobacteria with VNIR radiance, especially in the 556 nm region, due the abundant presence of pigments, and in the 807 nm region, due to organic matter dissolved.

Palavras-chave: brackish lakes, cyanobacteria, Nhecolândia, lagos salinos, cianobactérias.

1. Introdução

O Pantanal, a maior planície inundável da Terra, com 138.183 km², divide-se em onze sub-regiões com características muito distintas (Abdon, 2004). Duas destas regiões – Paiaguás e Nhecolândia – ocupam quase integralmente o leque aluvial do rio Taquari, com uma área de 54.125km². Este leque é um sistema deposicional complexo com forma quase circular de 250 km de diâmetro aproximado, podendo ser considerado o maior megaleque atual do planeta (Assine, 2003). Embora o Pantanal da Nhecolândia seja um ambiente conhecido internacionalmente por sua notável fauna, sobretudo por suas aves, sua gênese e seu funcionamento são ainda pouco estudados. A Bacia do Pantanal, definida por Almeida (1945) é uma depressão tectônica interior, originada por

movimentos relativos das Placas Sul-Americana e de Nazca (Ussami et al., 1999) com embasamento constituído por rochas metamórficas neoproterozóicas dos grupos Cuiabá e Corumbá e, em sua porção oriental, rochas sedimentares de unidades paleozóicas da Bacia do Paraná.

O Pantanal da Nhecolândia, cujos 27.000km² ocupam a metade sul do Leque do Taquari e a Baixa Nhecolândia, correspondente ao lobo deposicional mais antigo do leque (Assine, 2003), distingue-se das demais sub-regiões do Pantanal por sua peculiar fisiografia, cuja caracterização, como aborda Fernandes et al. (1999), é essencial para a compreensão daquele ambiente. Esta fisiografia pode ser definida pela presença de savanas sazonalmente inundadas e limitadas por fragmentos florestais em elevações de um a três metros (conhecidas na região, respectivamente, como vazantes e cordilheiras) e numerosas lagoas com características espaciais, físicas, químicas e biológicas muito variadas, denominadas localmente de baías quando hipossalinas e de salinas, quando com águas salobras (figura 1). As variações de pH são também notáveis e os autores vem observando que as lagoas salinas são sempre alcalinas mas que as lagoas alcalinas podem ser tanto salinas como hipossalinas.



Figura 1 – Fotografia aérea oblíqua de grupo de lagoas da fazenda Barranco Alto, tomada em julho de 2008 por Lucas Leuzinger

Galvão et al. (2003), utilizando imagens hiperespectrais AVIRIS demonstraram haver grande variabilidade nas respostas espectrais das lagoas, tendo as salinas como característica geral uma maior reflectância no intervalo de 400 a 900 nm. Ainda segundo esses autores, é o carbono orgânico dissolvido o maior responsável pela diferenciação, pela resposta espectral, entre lagoas salinas e hipossalinas..

O motor da hidroquímica destas pouco usuais lagoas é complexo, mas passa necessariamente por um processo de alcalinização em que a atividade fitoplanctônica é essencial, notadamente a desenvolvida pelas cianobactérias, pois o metabolismo destes organismos, sob certas condições químicas, pode elevar o pH a valores acima de 10 (Jones et al., 1998), o que tem importantes reflexos em toda a hidroquímica e demais aspectos bióticos e abióticos do sistema de lagoas da região. Sem a pretensão de avançar no comportamento espectral de fitoplâncton, como fizeram Londe et al. (2005), procura-se aqui verificar a possibilidade de identificar, em imagens de sensores orbitais de larga disponibilidade, as lagoas da porção sul da Nhecolândia em que as cianobactérias dominem a população fitoplanctônica. Embora a composição fitoplanctônica de lagoas da Nhecolândia venha sendo estudada desde Mourão (1989) o tema é ainda pouco conhecido, o que surpreende em função de sua importância na gênese da fisiografia local.

Neste trabalho são analisadas as correlações entre a radiância de lagoas nas fazendas Rio Negro e Barranco Alto (figura 2) e sua composição limnológica bem como com os parâmetros pH e condutividade elétrica coletados em campo. O objetivo, em conseguindo caracterizar um comportamento espectral relativamente definido, é o de dar consistência espacial à distribuição de lagoas com cianobactérias na Nhecolândia, o que poderá auxiliar a entender a gênese daquele ambiente. Como foram amostradas em períodos diferentes e a evolução sazonal é intensa e determinante, os dados serão analisados separadamente. A pesquisa tem uma de suas abordagens associada a uma iniciação científica cujo bolsista é o primeiro autor deste trabalho.

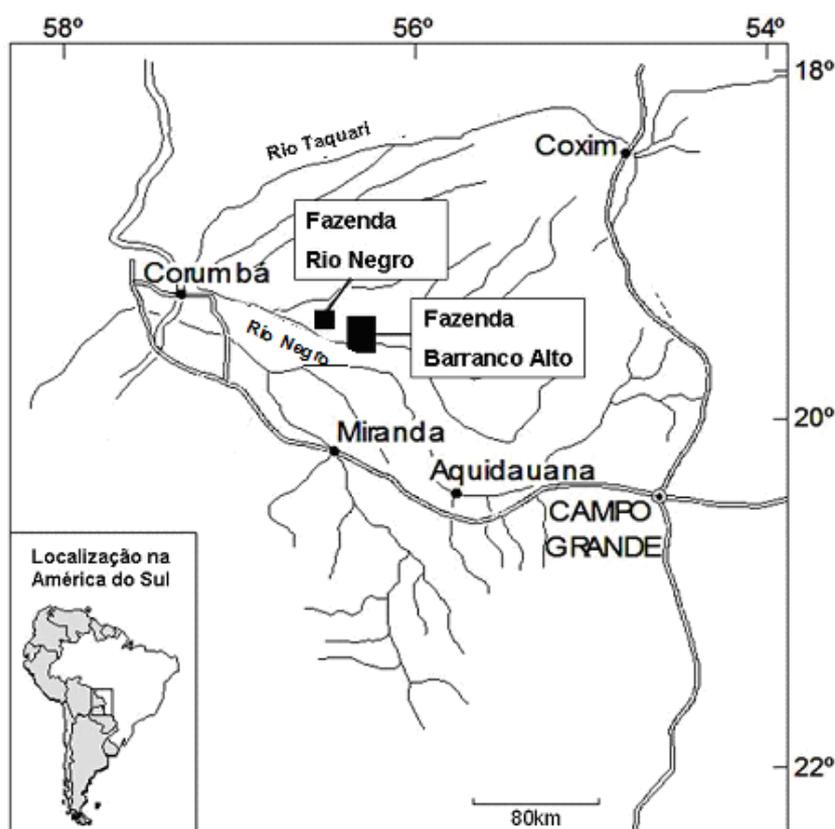


Figura 2 – Localização das fazendas Rio Negro e Barranco Alto, onde a pesquisa está sendo desenvolvida

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Coleta de dados no campo

Os dados de campo aqui discutidos tem duas origens: a coleta de água para determinação das comunidades fitoplanctônicas presentes e, com uma sonda Yellow Springer - 556 MPS, a obtenção in situ de dados de condutividade elétrica e pH das águas superficiais das lagoas salinas e hipossalinas.

Foram feitas duas campanhas. A primeira em agosto de 2007, na região da fazenda Rio Negro, situada nas margens do rio homônimo e a segunda em julho de 2008, na fazenda Barranco Alto, também situada às margens do rio Negro, mas cerca de 10km a montante. Na primeira, foram coletadas 19 amostras de 7 lagoas, já que na maior parte foram coletadas amostras de vários pontos das margens. Considerando ser mais representativo apresentar uma resposta média por lagoa foram obtidas as médias tanto para a radiância nos intervalos estudados como para os demais parâmetros medidos. A segunda campanha foi realizada em julho de 2008, numa situação de seca bem menos intensa que na primeira campanha, não apenas por ter sido feita mais próximo ao período de cheia como pelo fato de ter sido o ano de 2008 muito mais chuvoso que o anterior. Foram coletadas águas de 17 lagoas, uma amostra por corpo d'água.

2.2- Análise da composição limnológica

Amostras de água, em cada lagoa, foram coletadas em frascos de polietileno, devidamente fixadas e analisadas, posteriormente, no laboratório de Biotoxicologia em Águas Continentais e Efluentes – BIOTACE, da Escola de Engenharia de São Carlos, USP. As amostras foram analisadas nos laboratórios da EESC-USP e descritas os grupos e espécies dominantes em cada amostra. A identificação (qualitativo) dos grupos e espécies será realizada em microscópio óptico trinocular (Olympus BX 51), com auxílio de sistema automático de análise de imagem, equipado com câmera (CoolSNAP-PROcf-color) e programa Image Pro Plus (4.5.1). A contagem (quantitativo) do fitoplâncton será feita através do método de sedimentação (Uthermöhl, 1958). A densidade total (organismos.mL⁻¹) é calculada a partir da análise quantitativa.

A abundância relativa foi estimada considerando-se o número de indivíduos de cada espécie, em relação ao total de indivíduos, segundo a classificação de McCullough e Jackson (1985): 50 a 100% - organismos dominantes; 30 a 49% - organismos abundantes; 10 a 29% - organismos comuns; 1 a 9% - organismos ocasionais; <1% - organismos raros.

2.3 Obtenção dos dados de radiância

As radiâncias aqui descritas foram obtidas através de uma imagem Aster de 02 de outubro de 2006, com orbita AST_L1B_00303292002135926_20061002164524. O processamento dessa imagem foi realizado com o programa ENVI 4.3, no Laboratório de Informática Geológica – LIG, do Instituto de Geociências, USP. Para obter radiâncias mais representativas das lagoas pré selecionada nas campanhas anteriormente descritas, optou-se por trabalhar com regiões de interesse (ROI'S), tomando-se o cuidado em excluir áreas onde foi possível observar a presença de vegetação sub-aérea, pois esta certamente causaria interferência nos dados desejados. Não foi feita qualquer correção dos efeitos atmosféricos, já que estes afetam similarmente a região estudada e não interfeririam nas relações buscadas.

3. Resultados e Discussão

Os dados obtidos em salinas na fazenda Rio Negro (FRN), numa situação de seca avançada, mostram padrões dignos de nota, como apresentado nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$), pH, densidade de células, classe e espécie de fitoplâncton mais presente nas amostras coletadas na FRN em agosto de 2007. Valores médios

| Nome da lagoa | CE ($\mu\text{S/cm}$) | pH | Densidade (cel.ml^{-1}) | Classe mais freqüente | Organismo |
|---------------------------|-------------------------|-----|------------------------------------|------------------------------|--|
| Queixada (n=2) | 3344 | 9,2 | 5.475 | Clorofícea Cianobactéria | <i>Euastrum/A. planctonica</i> |
| Brunet (n=4) | 2835 | 9,5 | 93.085 | Bacilariofícea Clorofícea | <i>Navícula</i> <i>Euastrum</i> |
| Comprida (n=6) | 3048 | 9,4 | 105.948 | Clorofícea | <i>Chlorella</i> |
| Filhote da Verde do Jacuí | 8572 | 9,5 | 159.382 | Cianobactéria | <i>P. muscicola</i> |
| Escondida (n=2) | 7030 | 9,5 | 423.422 | Cianobactéria | <i>Rhaphidiopsis curvata</i> |
| Jacaré (n=2) | 2666 | 9,7 | 649.506 | Cianobactéria | <i>Arthrospira</i> |
| Verde do Jacuí (n=2) | 11933 | 9,4 | 5.914.648 | Cianobactéria | <i>Anabaenopsis elenkinii</i> <i>P. moliniforme</i> |

Tabela 2 – Radiância medida nas imagens Aster (02/10/2006) das lagoas amostradas na fazenda Rio Negro e as classes e espécies de fitoplâncton dominantes.

| Nome da lagoa salina | radiância banda 1 556nm | radiância banda 2 661nm | radiância banda 3 807nm | Classe mais freqüente | Organismo |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|--|
| Brunet (n=4) | 31,9 | 15,6 | 16,6 | Bacilariofícea Clorofícea | <i>Navícula</i> <i>Euastrum</i> |
| Comprida (n=6) | 33,0 | 15,3 | 15,9 | Clorofícea | <i>Chlorella</i> |
| Queixada (n=2) | 33,8 | 15,6 | 16,4 | Clorofícea Cianobactéria | <i>Euastrum/A. planctonica</i> |
| Verde do Jacuí (n=2) | 37,2 | 18,4 | 45,7 | Cianobactéria | <i>Anabaenopsis elenkinii</i> <i>P. moliniforme</i> |
| Filhote da Verde do Jacuí | 37,9 | 18,4 | 19,0 | Cianobactéria | <i>P. muscicola</i> |
| Jacaré (n=2) | 42,9 | 23,0 | 26,7 | Cianobactéria | <i>Arthrospira</i> |
| Escondida (n=2) | 52,7 | 28,7 | 22,0 | Cianobactéria | <i>Rhaphidiopsis curvata</i> |

Os dados obtidos em salinas na fazenda Rio Negro (FRN), numa situação de seca avançada, mostram padrões dignos de nota, como apresentado nas tabelas 1 e 2. A condutividade elétrica (CE), que tem uma correlação quase-linear com a salinidade, varia mais de 4 vezes entre os grupos lagoas salinas/lagoas hipossalinas amostrados. Já a densidade de células por mililitro varia mais de mil vezes. Salvo a presença dominante

de cianobactérias junto com clorofíceas na lagoa Queixada, as cianobactérias se concentram nas lagoas de maior densidade de células, como largamente descrito na literatura, pois ocorre um bloom destes organismos extremófilos: como a dominância de qualquer espécie fitoplanctônica em um ambiente depende de seu sucesso na competição com outras espécies (Timan, 1977), o intenso aumento da salinidade, pH e alcalinidade levam à dominância de espécies mais resistentes. As cianobactérias tendem a ocupar nichos ecológicos extremos (Esteves, 1998), sendo capazes de sobreviver em ambientes agressivos às demais espécies. Neste pequeno grupo de lagoas amostradas tais correlações são frágeis, pois o pH é sempre alto e pouco varia e há pequena correlação entre CE e densidade de células.

A tabela 2 mostra uma notável correlação positiva entre a radiância nas três regiões espectrais observadas com a presença dominante de cianobactérias. Em princípio seria esperada correlação apenas para a região de 550 nm pela cor verde a azul (ou cian) dos pigmentos presentes neste grupo (Londe, 2005). Pode-se, entretanto, explicar o encontrado como uma correlação positiva, mas não causal, entre a resposta no infravermelho próximo com a densidade de células e classes de organismos: a correlação de fato é entre a resposta espectral no infravermelho próximo e o carbono orgânico (COD) dissolvido (função da densidade de células). Realmente, o COD aumenta a reflectância entre 670 nm e 900 nm (Mantovani e Novo, 1996).

As tabelas 3 e 4 apresentam os dados obtidos na fazenda Barranco Alto, em julho de 2008. Observe-se que os dados obtidos nesta fazenda se referem a medidas individuais.

Tabela 3 – Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, densidade de células e classe de fitoplancton mais presente das lagoas coletadas na fazenda Barranco Alto (julho 2008). Dados ordenados por CE.

| nome | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | pH | Densidade ($\text{cel}.\text{ml}^{-1}$) | Classe mais frequente |
|--------------|--------------------------------|-------------|---|-----------------------|
| BA-36 | 940 | 8,89 | 148 | clorofícea |
| BA-12 | 1045 | 8,71 | 328 | criptofícea |
| BA-33 | 438 | 9,52 | 1638 | clorofícea |
| BA-22 | 5357 | 9,25 | 7812 | cianobactéria |
| BA-25 | 710 | 9,28 | 18759 | clorofícea |
| BA-9 | 4140 | 9,44 | 23402 | cianobactéria |
| BA-35 | 780 | 9,09 | 51795 | cianobactéria |
| BA-2 | 113 | 7,09 | 56670 | cianobactéria |
| BA-13 | 785 | 8,67 | 56670 | bacilariofícea |
| BA-37 | 1750 | 9,28 | 61726 | cianobactéria |
| BA-34 | 1001 | 9 | 103920 | cianobactéria |
| BA-21 | 7188 | 9,33 | 123256 | cianobactéria |
| BA-7 | 2800 | 9,3 | 204986 | cianobactéria |
| BA-24 | 1626 | 9,46 | 401862 | cianobactéria |
| BA-16 | 3618 | 9,46 | 1032990 | cianobactéria |
| BA-14 | 2517 | 9,49 | 1722803 | cianobactéria |
| BA-26 | 2671 | 9,5 | 2224903 | clorofícea |

O quadro encontrado na fazenda Barranco Alto é semelhante, ainda que menos claro: a maior densidade de células refere-se à dominância por clorofíceas. Mas a

tendência é nítida: nas doze maiores densidades, em dez predominam cianobactérias. Há também forte tendência à correlação positiva entre CE (e salinidade, portanto) e densidade de células com a classe das cianobactérias, com o mesmo ocorrendo com os valores de pH, o que é esperado. Já as respostas espectrais obtidas têm correlações menos claras com a classe das cianobactérias, havendo apenas uma tendência a uma correlação positiva, com as maiores reflectâncias associando-se, na maior parte dos casos, às cianobactérias.

Tabela 4 - Radiância medida nas imagens das bandas x, y e z da imagem Aster, (02/10/2006) das lagoas amostradas na fazenda Barranco Alto e com as classes de organismos fitoplantônicos dominantes. Ordenado segundo a radiância na banda 1.

| Nome | radiância 1 (556nm) | radiância 2 (661nm) | radiância 3 (807nm) | Classe mais freqüente |
|-------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| BA-12 | 29,3 | 14,3 | 18,5 | criptofíceas |
| BA-13 | 32 | 17,2 | 18,5 | bacilariofíceas |
| BA-33 | 32,6 | 15,4 | 17,9 | clorofíceas |
| BA-9 | 33,1 | 15,7 | 18,5 | cianobactéria |
| BA-35 | 33,4 | 15,8 | 17,1 | cianobactéria |
| BA-26 | 33,5 | 16,3 | 33,7 | clorofíceas |
| BA-37 | 33,7 | 16,7 | 22,2 | cianobactéria |
| BA-7 | 34,3 | 17,1 | 17,6 | cianobactéria |
| BA-34 | 35,1 | 17,6 | 18,2 | cianobactéria |
| BA-2 | 36 | 18,5 | 18,1 | cianobactéria |
| BA-25 | 36,3 | 19,3 | 17,9 | clorofíceas |
| BA-36 | 36,3 | 19,4 | 20,2 | clorofíceas |
| BA-21 | 37,4 | 18,3 | 44,7 | cianobactéria |
| BA-16 | 37,7 | 17,6 | 41,7 | cianobactéria |
| BA-22 | 37,9 | 18,6 | 18,2 | cianobactéria |
| BA-24 | 38,6 | 18,3 | 37,5 | cianobactéria |
| BA-14 | 43,4 | 20,9 | 28,3 | cianobactéria |

4. Conclusões

Os resultados ora apresentados são parciais, pois a equipe pretende obter dados adicionais, em estação de chuva. Os dados apresentados, entretanto, indicam ser possível identificar, com grau de acerto relativamente alto, lagoas com predominância de cianobactérias em sua composição fitoplanctônica utilizando sensores remotos de ampla disponibilidade e sem correção atmosférica. Observe-se que, embora a radiância na região de 556nm tenha fornecido melhores correlações com a classe das cianobactérias, também a região de 807nm a classificou bem. Assim estão se considerando dois parâmetros de comportamentos espectrais relativamente independentes: a comunidade de cianobactérias em si (com reflectância mais alta nas regiões espectrais do azul e verde) e a existência de alta densidade de células por unidade de volume (com resposta no infravermelho próximo, relativa à detecção de Carbono Orgânico Dissolvido) em função dos inevitáveis *blooms* que ocorrem nas lagoas sujeitas às infestações por cianobactérias. Para tanto é essencial utilizar imagens obtidas no fim da estação seca na região, entre os meses de setembro e outubro.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapesp (processo nº 2006/61052-4) e ao CNPq (Processo nº 483272/2007-8) pelo financiamento da pesquisa. Agradecem também aos proprietários

da fazenda Barranco Alto pela excelente acolhida e apoio nas atividades de campo. Stephano Pessini Alberto da Silva agradece ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

Referências Bibliográficas

Abdon, M.M. **Os impactos ambientais no meio físico – erosão e assoreamento na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária.** 2004. 274p. Tese (Doutoramento em Ciências), Escola de Engenharia de São Carlos-USP, São Carlos, 2004.

Almeida, F.F.M. **Geologia do continente sul americano.**São Paulo: Beca, 2004. 647p

Assine, M. L. **Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil.** 2003. 106p. Tese (Livre-Docência). Instituto de Geociências e Ciências Exatas- Unesp, Rio Claro, 2003.

Cole, G.A. (1983). **Textbook of limnology. Third edition.** Wavelanf Press. Illinois. USA, 1983. 401p.

Esteves, F.A. **Fundamentos de Limnologia.** Segunda edição. Interciência Ltda, 1998. 602p.

Fernandes E.; Sakamoto A.Y.; Queiróz-Neto J.P.; Lucati M.H.; Capelari B. Le “Pantanal de Nhecolândia” Mato Grosso: cadre physique et dynamique hydrologique. **Supplement de Geographie Fisique et Dynamique du Quatenaire**, v. 22, p.13-21, 1999.

Fernandes, E. **Análise espacial da estrutura e organização dos elementos da paisagem regional da Baixa Nhecolândia – Pantanal do Mato Grosso do Sul.** 2007. 234p. Tese (Doutoramento em Geografia Física), FFLCH-USP, São Paulo, 2007.

Galvão, L. S.; Pereira Filho, W.; Abdon, M. M.; Novo, E. M. L. M.; Silva, J. S. V. E Ponzoni, F. J. (2003) Spectral reflectance characterization of shallow lakes from the Brazilian Pantanal wetlands with field and airborne hyperspectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.21, p.4093 - 4112, 2003.

Londe L. R.; Novo, E. M. L. M. e 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://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.17.27>>. Acesso em: 01 set. 2008.

Mantovani, J. E. e Novo, E. M. L. de M. (1996) - Comportamento Espectral da Matéria Orgânica Dissolvida. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 8, 1996, Salvador, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p.917-923. CD-ROM, On-Line. Disponível em: <http://mart.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.01.09.35/doc/T144.pdf>. Acesso em: 01 set. 2008.

McCullough. J.D.; Jackson, D.W. Composition and productivity of the benthic macroinvertebrate community of a subtropical reservoir. **International Review Gesamten Hydrobiologie.** v.70, n. 2, p. 221 – 235, 1985.

Mourão, G.; **Limnologia Comparativa de Três Lagoas (Duas “Baías” e uma “Salina”) do Pantanal da Nhecolândia.** 1989. 135p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1989

Ussami, N.; Shiraiwa, S. & Dominguez, J.M.L. Basement reactivation in a sub-Andean Foreland flexural bulge; the Pantanal wetland, SW Brazil. **Tectonics**, v. 18, n.1, p.25-39, 1999.