

Localização de áreas permanentes de vegetação aquática na planície de inundação do Rio Paraguai e adjacências

Rafaela Caroline Silva de Souza¹

Elaine França Vianna¹

Luiz Alberto Pellegrin²

Suzana Maria Salis²

Maycira Costa³

Ivan Bergier²

¹ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS - Campus do Pantanal
Caixa Postal 252 - 79304-020 - Corumbá - MS, Brasil
rafac.souza@hotmail.com, elainevianna@live.com

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Pantanal
Caixa Postal 109 - 79332-900 - Corumbá - MS, Brasil
{pellegrin, smsalis, ivan} @cpap.embrapa.br

³ University of Victoria, Canada (UVic)
maycira@office.geog.uvic.ca

Abstract. Our present research makes use of a time series of Landsat-5/TM (1987 to 2009) to examine the interannual variability and identify areas permanently occupied by floating aquatic vegetation. The study area comprises the floodplain of the Paraguay River and adjacency, with an extension of 17948,5 km², encompassing parts of sub-regions of Cáceres, Paraguay, Poconé and Paiaguás wetlands in the state of Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. We performed a k-means unsupervised classification on bands 3, 4 and 5, which resulted in the following classes: aquatic vegetation, open water and surroundings. For each date analyzed, the value of the area occupied by aquatic plants has been rectified, especially confusion with the surrounding class (confusion with the shadow of hills), and the final areas were correlated with the annual flood values. It was verified that the area of occupation of the aquatic plants was somehow proportional to the period of flood larger ($p < 0.05$). The permanently areas occupied by aquatic plants from 1987 to 2009 were identified through Boolean intersection operations in the Spatial Language for Algebraic Geoprocessing (LEGAL). It was found that the plants occupy permanently about 70 km² of the Paraguay River floodplain. These areas shall be considered *hotspots* for conservation if such resource, when exported by the river, would be used as a biomass source for materials and bioenergy. The conservation of these areas is priority for the sustainable use of this Pantanal's natural resource, without prejudice the ecosystem and the sustainable development.

Palavras-chave: aquatic plants, bioenergy, Pantanal, plantas aquáticas, bioenergia, Pantanal.

1. Introdução

O Pantanal é uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta e está localizado no centro da América do Sul, na bacia hidrográfica do Alto Paraguai. Sua área é de 138.183 km², com 65% de seu território no estado de Mato Grosso do Sul e 35% no Mato Grosso (Silva e Abdon, 1998). O Pantanal possui recursos naturais os quais requerem estudos que permitam o desenvolvimento sustentável regional, um exemplo é a vegetação flutuante que é uma alternativa de uso de biomassa. A produção e exportação de ilhas de biomassa flutuantes no Pantanal ocorrem em função do pulso anual de inundação, sendo compostas predominantemente pelo gênero *Eicchornia* (Castro et al., 2010), e tem o potencial de se tornarem uma das principais fontes de biomassa para a produção de combustíveis sintéticos e biomateriais no Pantanal (Bergier et al., 2008). A ocorrência de ilhas flutuantes é considerada resultado da sucessão natural da vegetação aquática (Pott e Pott, 2003). Essas ilhas apresentam diferenças estruturais e florísticas conforme o tempo de desenvolvimento.

A vegetação aquática livre no Pantanal se desenvolve de acordo com as características bióticas e abióticas do ambiente. O Pantanal como um todo é um bioma bem preservado, o que favorece em abundância o estabelecimento permanente da vegetação aquática livre e flutuante. Segundo Pott (2007), existem cerca de 280 espécies de macrófitas aquáticas no Pantanal, entre anfíbias, emergentes, flutuantes livres e fixas, submersas livres e fixas, e epífitas. Sendo que cerca de 70% são emergentes e anfíbias.

O grande desafio para o uso sustentável dos recursos naturais do Pantanal passa pela compreensão dos processos ecológicos responsáveis pela produtividade e biodiversidade existentes na região. O principal conceito envolvido é o “pulso de inundação” que, de acordo com Junk et al. (1989) pode ser expressa como “a principal força direcionadora responsável pela existência, produtividade e interações da biota em sistemas rio/planície de inundação”, onde “um pulso previsível de longa duração gera adaptações e estratégias que propiciam o uso eficiente dos atributos da zona de transição aquática/terrestre”. Dessa maneira, os processos biológicos e biogeoquímicos no sistema rio/planície de inundação são descritos pelo conceito do pulso de inundação, que considera as trocas laterais entre o rio e suas planícies de inundação bem como as trocas entre as fases terrestre (seca) e aquática (cheia) nessa mesma planície.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade interanual da vegetação aquática flutuante (de 1987 a 2009) e identificar áreas de ocupação permanentemente das mesmas, na planície de inundação do Rio Paraguai e adjacências. A identificação dessas áreas é prioritária para a conservação e o uso sustentável desse recurso natural do Pantanal.

2. Material e Métodos

No estudo foram aplicadas as técnicas de geoprocessamento, utilizando-se da metodologia de classificação digital de dados orbitais.

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a planície de inundação do Rio Paraguai e adjacências, com extensão de 17948,5 km².

O polígono da área de estudo foi delimitado de forma que abrangesse toda área de vegetação aquática permanentemente ocupada, englobando assim partes das sub-regiões do Pantanal de Cáceres, Paraguai, Poconé e Paiaguás, localizados nos estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (Figura 1).

registro de imagem para imagem. Adotou-se como padrão, os erros de posicionamento inferiores a meio pixel.

A classificação não supervisionada das imagens históricas (bandas 3, 4 e 5) foi feita através do k-médias utilizando 15 temas e com o número de iterações igual a 10. Após essa classificação, foi realizado com o auxílio de um mapa de vegetação aquática (Evans et al., 2010), de fotos disponibilizadas de campo (Neves, 2010), e em fotos disponíveis no Google Earth o mapeamento de classes em: vegetação aquática, água aberta e entorno. Com base nos mapeamentos realizados, foi calculada a área da classe de vegetação aquática para cada data, conforme dados tabelados, e depois esses dados foram correlacionados com valores de cheia anual em Ladário, conforme dados extraídos do Serviço de Sinalização Náutica do Oeste da Marinha do Brasil.

Utilizando a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) no ambiente do SPRING, foram realizadas as operações booleanas de intersecção dos PIs temáticos, para identificar e quantificar as áreas permanentemente ocupadas por vegetação aquática do período de 1987 a 2009. Após os resultados obtidos dessa sobreposição, foi calculada a área permanentemente ocupada por vegetação aquática em relação à área total de estudo (Figura 4), e calculada a área de ocupação permanente em relação às sub-regiões que englobam a área de estudo, conforme dados tabelados.

3. Resultados e Discussão

Foram identificadas e mapeadas três classes temáticas: vegetação aquática, água aberta e entorno, e a partir do mapeamento dessas classes, pôde-se constatar a variabilidade interanual da área ocupada por vegetação aquática ao longo do período em estudo (1987 a 2009) (Figura 2 e na Tabela 1). Para cada data analisada, os valores de área ocupada por vegetação aquática foram correlacionados com os valores de cheia anual.

Tabela 1. Variabilidade interanual da cheia (nível máximo anual em Ladário) e da área ocupada por plantas aquáticas.

Ano	Cheia (m)	Área ocupada (km ²)	Área relativa (%)
1987	4,99	12191,4	67,92
1989	6,12	12157,0	67,73
1990	4,50	9673,7	53,90
1991	5,49	11311,3	63,02
1992	5,38	8310,4	46,30
1993	5,16	16243,9	90,50
1994	3,94	7353,3	40,97
1996	5,10	8776,8	48,90
1997	5,69	15608,0	86,96
1998	4,64	6893,4	38,41
1999	4,60	4687,9	26,12
2001	3,15	7427,9	41,38
2002	5,11	6656,2	37,08
2003	5,18	8222,9	45,81
2004	4,26	5400,4	30,09
2005	3,29	5424,2	30,22
2006	5,40	7924,4	44,15
2007	5,10	9238,8	51,47
2008	5,14	7446,8	41,49
2009	3,30	7449,0	41,50

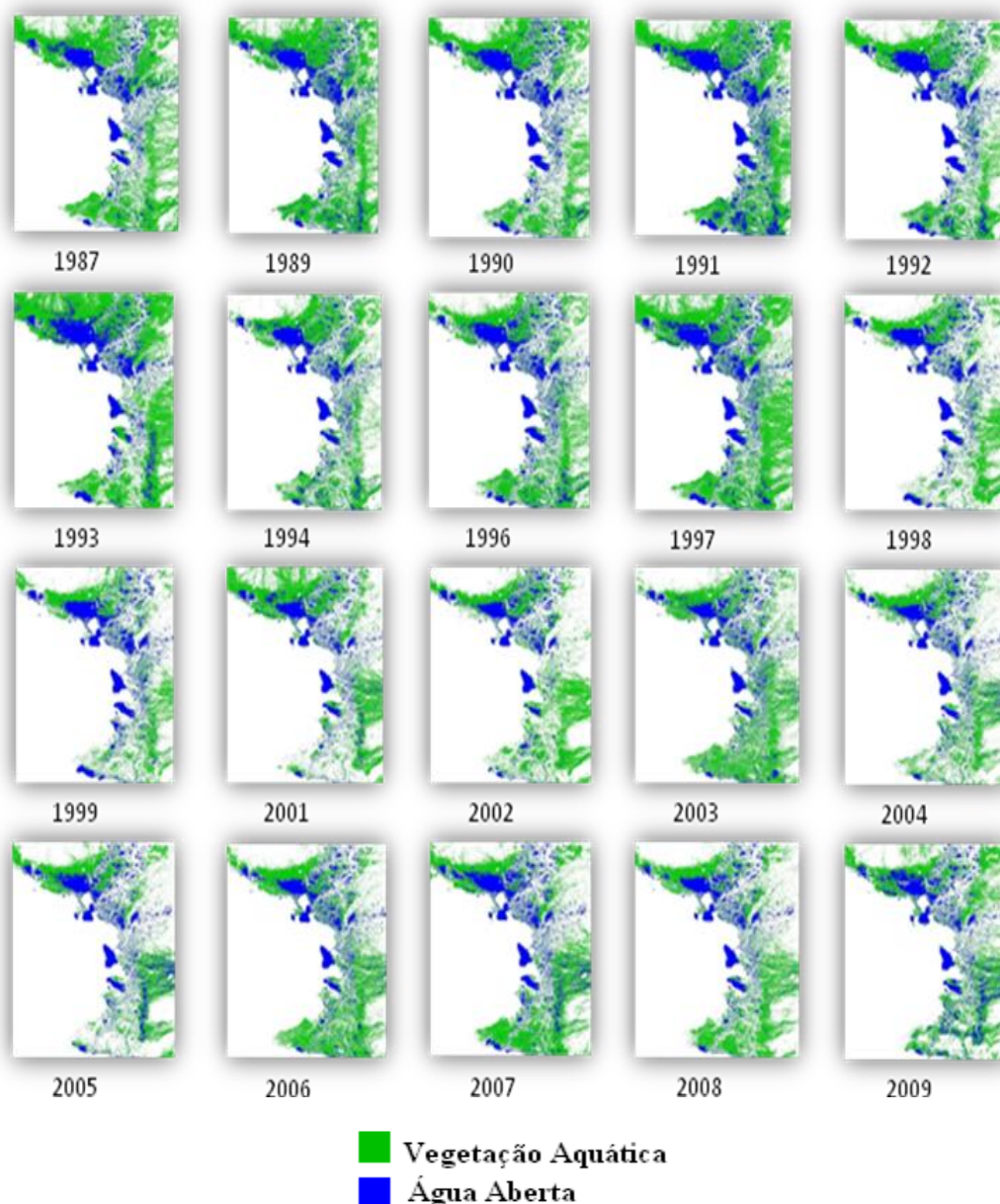


Figura 2. Imagens classificadas e mapeadas do período de 1987 – 2009, com exceções das datas de 1988-1995-2000.

O pulso de inundação é um fenômeno anual que controla a cheia e a seca que ocorre no Pantanal. Constitui o que, em ecologia, é chamado de “processo ecológico essencial”, ou seja, aquele processo que comanda a riqueza, a distribuição e a abundância de vida no Pantanal (Junk et al., 1989). Portanto, a abundância e a biomassa das espécies dependentes do pulso de inundação flutuam de ano para ano, em função da magnitude e duração da inundação. É possível verificar através dos dados da Tabela 1, que há uma tendência linear da cheia anual (C) em relação aos valores de área ocupada (A) por vegetação aquática, sendo dependentes da intensidade da cheia ou inundação ($C = 2096A - 1092$, $R^2 = 0,30$, $p < 0,05$).

O Pantanal como um todo é um bioma bem preservado, o que favorece em abundância o estabelecimento permanente de plantas aquáticas livres e flutuantes. Há uma imensa diversidade de espécies de vegetação aquática no Pantanal, porém há um grande predomínio da *Eichhornia crassipes* e *Eichhornia Azurea*, conhecidas no Pantanal como camalote. A

produção anual dessas plantas é tão intensa, que parte significativa da biomassa é carregada pelo Rio Paraguai. Há pouco conhecimento sobre a dinâmica de escoamento e a ciclagem dessas plantas (Bergier et al., 2008), e o eventual acúmulo e decomposição anaeróbia desses vegetais a jusante pode acarretar em emissões de gases de efeito estufa, especialmente metano (Bergier, 2010, projeto GEO aprovado “Decision making tools for sustaining biomass-to-bioenergy economies in tropical wetlands”). Uma avaliação preliminar no Rio Paraguai em Corumbá indicou uma exportação de biomassa (seca) de aproximadamente 1,7 milhões de toneladas no ano de 1992 (Ramires, 1993), quando o nível máximo do Rio Paraguai em Ladário (MS) atingiu 5,38 metros. Dados mais recentes de viodegrafia pretendem reavaliar essas exportações (Vianna et al., 2010).

As áreas permanentemente ocupadas por vegetação aquática ao longo do período em estudo foram identificadas e quantificadas através de operações booleanas de intersecção que permite analisar rapidamente áreas sobrepostas. Constatou-se que a vegetação ocupa permanentemente aproximadamente 70 km² da planície inundável do Rio Paraguai e adjacências (Figura 4).

Tais áreas devem ser consideradas *hotspots* para conservação ou de biodiversidade caso tal recurso, quando exportado pelo rio, venha a ser utilizado como fonte de biomassa para a produção de materiais e bioenergia. Das quatro sub-regiões do Pantanal que englobam a área de estudo, a sub-região de Cáceres é a que apresenta a maior área (51,8 km²) ocupada permanentemente por vegetação aquática, mais precisamente na região da baía Uberaba, onde é destacada uma imagem na Figura 4. A sub-região que apresenta a segunda maior área ocupada é a do Paiaguás, que é possivelmente uma consequência do processo de avulsão da área da fazenda Caronal. Muitos pontos com rompimento nos diques marginais (arrombados) têm ocorrido nos últimos anos, alguns dos quais têm causado mudanças significativas no curso do rio Taquari (Assine, 2005).

A imagem da vegetação aquática (A) destacada na Figura 4 (Google Earth, 2010), um mapa de vegetação aquática obtido pelo processamento digital e classificação de imagens de radar (Evans et al., 2010), e fotos disponibilizadas de visitas a campo com suas respectivas coordenadas (Neves, 2010) foram utilizados como verdade terrestre no mapeamento de classes, como citado na metodologia. Novas viagens a campo estão previstas para os próximos anos para melhor validação dos resultados aqui obtidos, especialmente na sub-região do Paiaguás (Bergier, 2010, projeto GEO aprovado “Decision making tools for sustaining biomass-to-bioenergy economies in tropical wetlands” <http://www.earthobservations.org/geoss_call_dsp.shtml>). Os valores de área para cada data avaliada podem estar eventualmente sub ou superestimados, muito embora a área permanente identificada pelas operações booleanas deva representar de fato regiões ocupadas por plantas aquáticas flutuantes. Essa área pode ser considerada como “berçários” de biomassa vegetal flutuante no Pantanal.

As fotos de campo disponibilizadas por Neves (2010) foram tiradas em 23 de julho de 2003 na sub-região do Pantanal de Cáceres, mais precisamente na região da baía Uberaba, e mostraram uma diversidade de gêneros e espécies de vegetação, sendo grande parte do gênero *Eichhornia* e gramíneas em geral, como ciperáceas. Na Figura 4, também é destacada uma foto (B) da lagoa Uberaba.

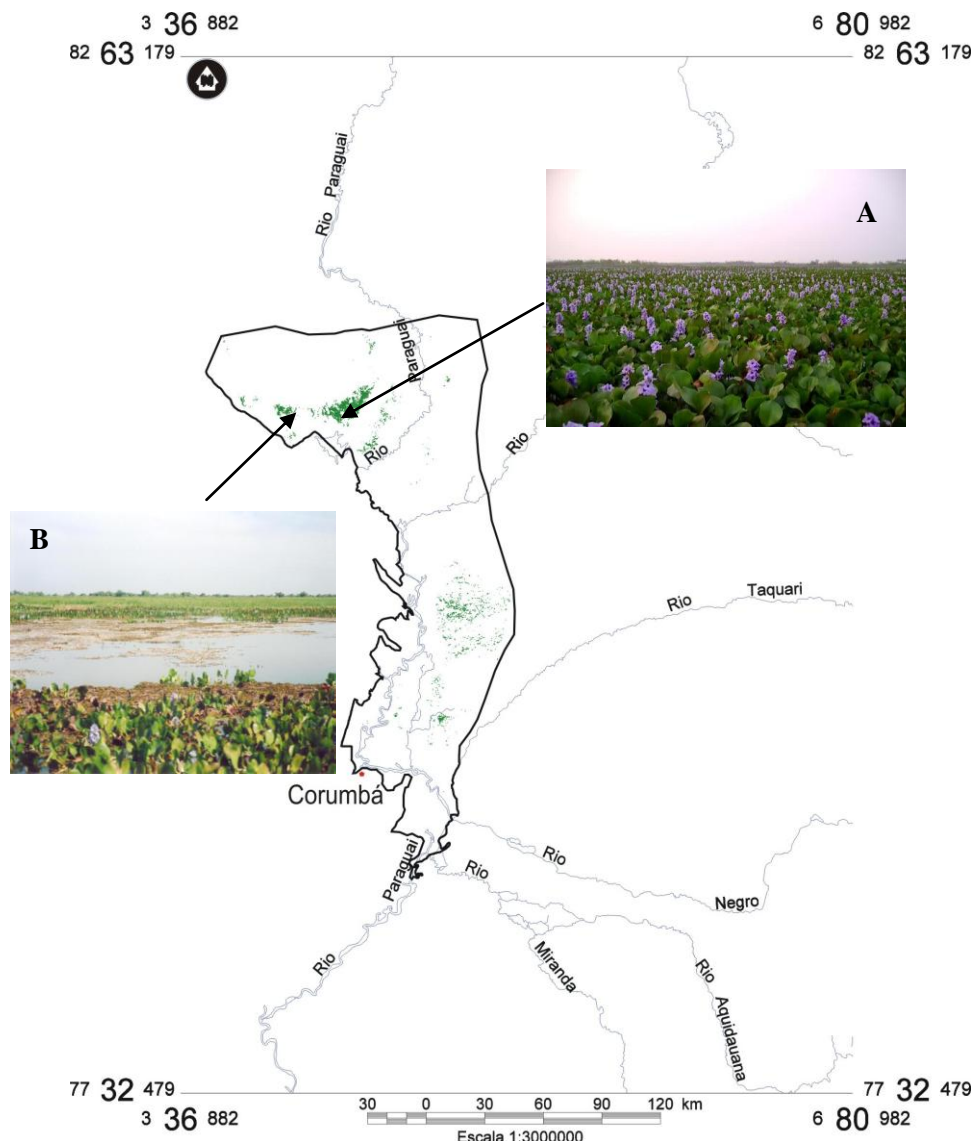


Figura 4. Áreas de ocupação permanente de vegetação aquática de aproximada 70 km². Em destaque imagem da vegetação aquática na região da baía Uberaba, sub-região de Cáceres. Imagem A: <<http://www.panoramio.com/photo/8107388>> e imagem B (Neves, 2010).

4. Conclusões

Foi possível analisar a variabilidade interanual (de 1987 a 2009) e identificar áreas permanentemente ocupadas por vegetação aquática flutuante na planície de inundação do Rio Paraguai e adjacências. Conclui-se que aproximadamente 70 km² são ocupados permanentemente por vegetação aquática, sendo a maior parte dessa área na sub-região do Pantanal de Cáceres, mais precisamente na região da baía Uberaba.

Espera-se realizar estudos similares de ocupação de plantas aquáticas flutuantes no Pantanal Sul (no pantanal do Nabileque) e visitas a campo, de modo a identificar possíveis “cemitérios” de biomassa aquática exportada, a jusante de Corumbá, e buscar outros tipos de dados de sensores remotos, como imagens de radar, possibilitando assim uma melhor avaliação e definição de programas para o uso sustentável desse recurso pantaneiro.

Agradecimentos

A Embrapa Labex-EUA, Embrapa Agroenergia e Unicamp/Bioware pela parceria nas pesquisas através do Projeto “Produção de biocombustíveis a partir de ilhas flutuantes de biomassa em planícies de inundação do Brasil: estudo de caso no Pantanal” (CNPq/CT-Energ52 / 578084/08-2), a Sandra Neves pela disponibilização das fotos de campo e ao CNPq pela concessão da bolsa PIBIC.

Referências Bibliográficas

Assine, M. L. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, v. 70, p. 357-371, 2005.

Bergier, I.; Ishii, I. H.; Salis, S. M. S.; Pellegrin, L. A.; Resende, E. K.; Tomas, W. M.; Soares, M. T. S. S. **Cenários de Desenvolvimento Sustentável no Pantanal em Função de Tendências Hidroclimáticas**. Documentos - Embrapa Pantanal, Corumbá, 2008. 21p.

Bergier, I. Decision making tools for sustaining biomass-to-bioenergy economies in tropical wetlands. Group on Earth Observations (GEO). Disponível em: < http://www.earthobservations.org/geoss_call_dsp.shtml>. Acesso em: 21 out. 2010.

Castro, W. J. P.; Vianna, E. F.; Salis, S. M.; Galvani, F.; Bergier, I. Composição Florística e Fauna Associada das Ilhas Flutuantes Livres, rio Paraguai, Corumbá, MS. In: Simpósio Sobre Recursos Naturais Socioeconômicos do Pantanal (SIMPAN), 11, 2010, Corumbá. **Anais...** Corumbá: EMBRAPA-CPAP. 2010.

Câmara, G. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Comput Graph**, v. 20, p. 395 - 403, 1996.

Divisão de Processamento de Imagens/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE). Tutorial de Geoprocessamento. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br>>. Acesso em: 09 jun. 2010.

Evans, T. L.; Costa, M.; Telmer, K.; Silva, T. S. F. Using PALSAR and RADARSAT-2 to map land cover and inundation in the Brazilian Pantanal. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 10, 2010, Cáceres. **Anais...** Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2010. Artigos, p. 485-494. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://www.geopantanal2009.cnptia.embrapa.br/2010/cd/p181.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2010.

Junk, W. J.; Bayley, P. B. ; Sparks, R. E. The flood pulse concept in river floodplain systems. **Can Spec Publ Fish Aquat Sci**. Canadá, v. 106, p. 110-127, 1989.

Neves, S. M. A. S. Departamento de Geografia. Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Comunicação pessoal. Outubro 2010.

Pott, V. J.; Pott, A. Dinâmica da vegetação aquática do Pantanal. In: Thomaz, S. M.; Bini, L. M. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: Editora Eduem, 2003. cap. 6, p. 145-162.

Pott, V. J. Plantas aquáticas do Pantanal e da alta bacia. In: Congresso de Ecologia do Brasil (CEB), 03, 2007, Caxambu. **Anais...** Campo Grande: SEB, 2007.

Ramires, J. R. S. Transporte de bancos de macrófitas flutuantes em função do nível hidrométrico no rio Paraguai, Pantanal-MS. 1993. 31 p. Dissertação (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Corumbá. 1993.

Silva, J. dos S.V. da; Abdon, M. de M. **Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, Vol. 33, n. Esp., p.1703, 1998.

Vianna, E. F.; Souza, R. C. S.; Castro, W. J. P.; Ishii, I. H.; Salis, S. M.; Lima, I. B. T. Estimativa da exportação da biomassa de macrófitas aquáticas com imagens videográficas no Rio Paraguai, Pantanal, Corumbá-MS. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 07, 2010, Cáceres. **Anais...** Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2010. Artigos, p. 270-276. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://www.geopantanal2009.cnptia.embrapa.br/2010/cd/p156.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2010.