

Variação temporal da conectividade da paisagem no entorno do Parque Nacional do Pantanal Mato-Grossense

Silvia Cristina de Jesus ¹
Adriana Maria Zalla Catojo ¹

¹ Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
Rodovia Washington Luis, km 235 – Caixa Postal 676
13565-905- São Carlos – SP, Brasil
silvia.jesus@msn.com; acatojo@gmail.com

Resumo. A paisagem no bioma Pantanal é dinâmica e varia sazonalmente conforme o regime hidrológico que é determinado pelas chuvas que ocorrem no período de outubro a março. Esta oscilação tem implicações nos quantitativos que resultam de mapeamentos realizados por imagens orbitais. Por exemplo, a conectividade entre ambientes aquáticos e terrestres varia sazonalmente conforme os alagamentos periódicos, o que pode influenciar diversos processos ecológicos. Este trabalho tem como objetivo avaliar a variação da conectividade de áreas úmidas - corpos d'água e áreas alagadas - em diferentes períodos. A partir de imagens Landsat-8/OLI adquiridas em seis períodos foram mapeadas áreas de corpos d'água, áreas alagadas, vegetação nativa e pastos (naturais e antrópicos) e, então, calculadas métricas da paisagem. Os resultados obtidos mostraram que, em relação ao ciclo de chuvas, pode haver um padrão na resposta de métricas da paisagem, particularmente na conectividade, número de patches e tamanho dos patches de corpos d'água e áreas alagadas.

Palavras-chave: métricas de paisagem, áreas úmidas, Pantanal, NDWI, conectividade da paisagem

Abstract. The landscape in the Pantanal biome is dynamic and varies seasonally according to the hydrological regime that is determined by the rains that occur in the period from October to March. This oscillation has quantitative implications resulting from mappings performed by orbital images. For example, connectivity between aquatic and terrestrial environments varies seasonally with periodic flooding, which may influence various ecological processes. This work aims to evaluate the variation of the connectivity of wetlands – water bodies and flooded areas - in different periods. From Landsat-8 / OLI images acquired in six periods, areas of water bodies, flooded areas, native vegetation and pastures (natural and anthropic) were mapped and then landscape metrics were calculated. The results showed that, in relation to rainfall seasonality, there may be a pattern in the response of landscape metrics, particularly in connectivity, number of patches and size of patches of water bodies and flooded areas.

Keywords: landscape metrics, wetlands, Pantanal, NDWI, landscape connectivity

1. Introdução

As áreas de inundação ocupam cerca de 80% de todo o Pantanal. Entretanto, a maior parte das áreas alagadas durante o período de chuvas permanece seca na estiagem, quando a água retorna aos leitos dos rios ou evapora (Alho, 2008). O regime hídrico do Pantanal promove três fases distintas na paisagem: 1) Estação da cheia: de outubro a abril, quando ocorrem as chuvas e a inundação da planície; 2) vazante: de abril a maio, no fim da estação cheia; 3) estação de seca: de junho a outubro (Alho, 2008).

O regime hidrológico propicia a expansão, contração e fragmentação dos ecossistemas aquáticos, interferindo no grau de conectividade entre os ecossistemas aquáticos (Tockner et al. 1999). Deste modo, conectividade entre ambientes aquáticos e terrestres varia sazonalmente conforme os alagamentos periódicos, o que pode influenciar os processos de dispersão (Santos e Thomaz, 2007), migração (Roe e Georges, 2007), uso do espaço (Roe et al. 2004), reprodução (Quesnelle et al., 2014), disponibilidade de recursos (Jardine et al. 2012) e transferência de matéria e nutrientes (Tockner et al., 1999).

A sazonalidade da região é caracterizada pelas estações de seca e de chuva, com formação de micro-habitats aquáticos no período de maior volume de precipitação (Oliveira et al. 2012). Transformações contínuas ocorrem na paisagem, com algumas barreiras de dispersão que se extinguem e outras novas que aparecem, sendo fundamental a compreensão dessas dinâmicas para prever distribuições de espécies, especialmente na definição de limites de áreas protegidas (Caplat, 2016).

A conectividade da paisagem pode ser definida como o grau em que as estruturas e elementos da paisagem propiciam ou inibem o movimento entre manchas de habitat (Taylor et al. 1993). Embora diversas paisagens e comportamentos de espécies mudem periodicamente, a grande maioria dos estudos considera a conectividade como estática (Simpkins e Perry, 2017).

As unidades de conservação são criadas em áreas fragmentadas ou podem vir a tornar-se fragmentos isolados em meio a áreas antropizadas e as condições do seu entorno têm implicações sobre a conectividade da área protegida (Bennett, 2003). A compreensão da relação entre a estrutura da paisagem, práticas de manejo, distribuição de espécies e probabilidade de extinção local é um importante quesito para o desenvolvimento e implementação de planos efetivos de manejo e conservação (Freemark et al., 1993).

As técnicas de sensoriamento remoto fornecem um meio eficaz de monitorar e medir a mudança da cobertura da terra em grandes extensões espaciais e temporais e fornece a componente espacial da Ecologia da Paisagem, ou seja, a estrutura de habitats incluindo sua conectividade (Groom et al., 2006).

2. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo avaliar a variação da conectividade e da extensão de corpos d'água (lagoas e corixos) e áreas alagadas a partir classificação de imagens Landsat-8/OLI. Parte-se do pressuposto de que a conectividade entre ambientes aquáticos seja maior quando a precipitação acumulada for maior, visto que as cheias devem interligar, ainda que temporariamente, os patches de corpos d'água e áreas alagadas.

3. Material e métodos

A área de interesse compreende uma área de aproximadamente 19 mil km² (**Figura 1**) e inclui o Parque Nacional do Pantanal Matogrossense e o Parque Estadual do Guirá (ISA, 2018). Foi estabelecido um polígono que abrange as baías e corixos próximos ao Parque Nacional do Pantanal Mato-Grossense, além de parte dos bosques secos chiquitanos bolivianos (Jardim et al., 2003) na órbita/ponto 227/072 da grade Landsat-8/OLI.

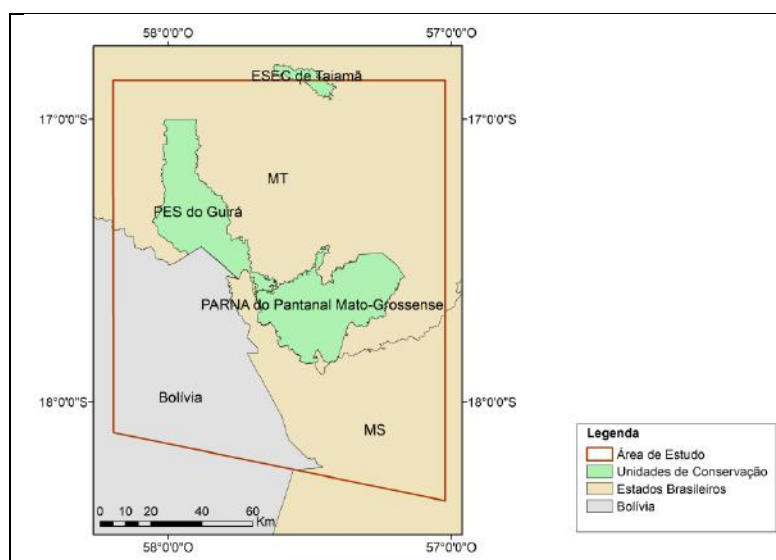


Figura 1 – Área de Estudo

A flora é constituída por matas, cerrados e campos inundáveis nas cordilheiras, e cerradões, matas galerias e áreas campestres inundáveis ao redor de baías e salinas (Fernandes, 2006). O grupo florístico dominante é formado por representantes do Cerrado, com predomínio de espécies herbáceas campestres e aquáticas em virtude das áreas inundáveis (Oliveira et al., 2012). Sarmiento (1992) define o Pantanal como savana hipsazonal, região plana e baixa cuja vegetação predominante é constituída de gramíneas com drenagem deficiente e que alternam anualmente períodos de estiagem ou excesso de água. A região é composta pela intersecção de quatro grandes Regiões Fitoecológicas: Mata Decídua, Mata Semidecídua, Cerrado e Chaco (Abdon et al., 2007).

A pecuária bovina de corte em pastagem extensiva é a principal atividade econômica, sendo desenvolvida principalmente nas áreas de pastagens nativas (Abdon et al., 2007).

Fernandes (2006) distingue as unidades topográficas pantaneiras entre: 1) capões e cordilheiras, que são os terrenos esparsos mais salientes nos campos naturais inundáveis que ficam acima da linha d'água; 2) baías e salobras, que são lagoas nos terrenos mais baixos onde há retenção de água; e 3) corixos, que são cursos d'água perenes que agregam as baías e salobras, e que também são chamados de vazantes quando só têm água na época de chuva.

Metodologia

Foram selecionadas imagens Landsat-8/OLI (<https://earthexplorer.usgs.gov>), órbita/ponto 227/072, com baixa cobertura de nuvens (>5%) adquiridas nas datas 15/set/2015, 21/jan/2016, 19/out/2016, 29/abr/2017, 06/out/2017 e 02/mai/2018.

O índice NDWI (Índice de Diferença Normalizada da Água) foi calculado para todas as cenas conforme a **Equação 1** (McFeeters, 1996) e usado na composição colorida R(NDWI)G(5)B(6).

$$NDWI = \frac{Banda\ 3_{(0,53-0,59\ \mu m)} - Banda\ 6_{(1,57-1,65\ \mu m)}}{Banda\ 3_{(0,53-0,59\ \mu m)} + Banda\ 6_{(1,57-1,65\ \mu m)}} \quad \text{Equação 1}$$

A partir desta composição colorida, foi feita a classificação orientada a objetos por meio do complemento Orfeo ToolBox do software QGIS versão 2.18, resultando em um mapa temático com as classes “Água”, “Alagado”, “Vegetação densa”, “Pasto”, “Nuvem” e “Sombra”.

Para o cálculo da acurácia, foi analisado o resultado da classificação referente à imagem de 15/set/2015. Foram gerados pontos aleatórios em uma grade de 15 km x 15 km, aos quais foram atribuídas as classes geradas na classificação orientada a objetos (valores observados) que foram comparadas com as classes identificadas por interpretação visual das imagens Landsat-8/OLI (valores esperados). A mensuração da acurácia da classificação foi verificada a partir da aplicação dos coeficientes Kappa e Acurácia Global (Congalton, 1991; Watzlawick et al., 2002).

A conectividade, representada pela distância euclidiana entre manchas de “Água”, “Alagado”, “Vegetação densa” e “Pasto”, foi calculada pela ferramenta Média do Vizinho mais Próximo do software ArcGIS 5.0.

No módulo “Patch Analysis” do software ArcGIS 5.0, foram calculadas as métricas de paisagem descritas na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Métricas de paisagem avaliadas

<i>Distância Euclidiana</i>	Distância mínima em linha reta entre dois fragmentos em um plano, a partir da borda destes fragmentos. Neste trabalho representa a medida de conectividade.
<i>CA: Class Area</i>	Representa a soma de todas as manchas de determinada classe de uso do solo.
<i>NumP: Number of Patches</i>	Expressa o número total de manchas por tipo de classe de uso do solo.
<i>MPS: Mean Patch Size</i>	Expressa o tamanho médio das manchas por tipo de classe de uso do solo.

As métricas de paisagem foram, então, comparadas com os dados de pluviosidade acumulada nos últimos quinze dias anteriores à aquisição das imagens Landsat-8/OLI publicados pelo INMET (2018), disponíveis apenas para a porção brasileira da área de interesse.

4. Resultados e discussões

As imagens Landsat 8 utilizadas para a delimitação das classes de interesse são apresentadas nas **Figura 2**.

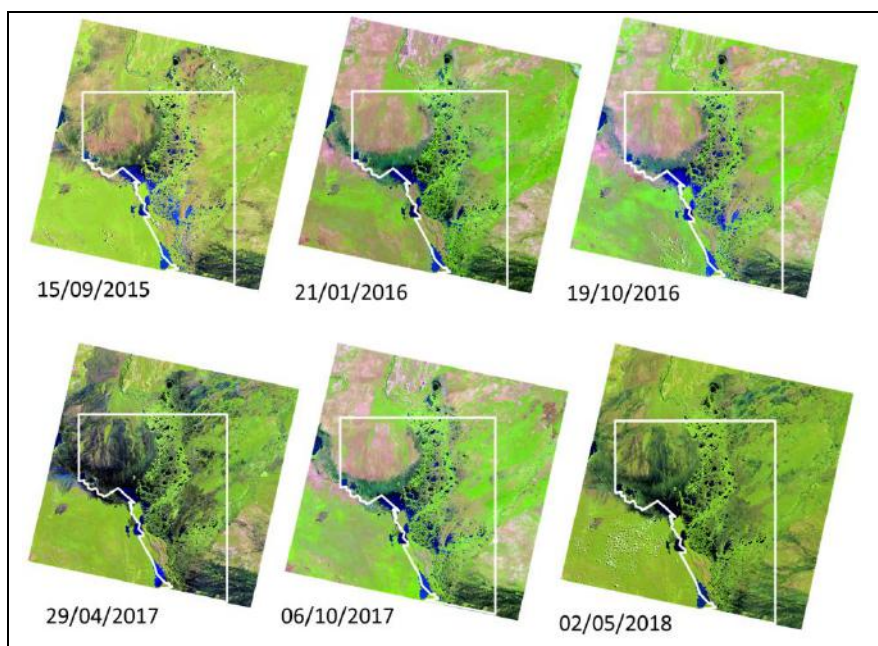


Figura 2 – Imagens Landsat-8/OLI usadas no mapeamento. Composição R(6)G(5)B(4).

Simioni et al. (2017) e Nhamo et al. (2017) usaram o Índice de diferença normalizada da água (NDWI - Normalized Difference Water Index) (Gao, 1996; McFeeters, 1996). Estes trabalhos consideraram a adoção de limiares fixos de NDWI, ou seja, estabeleceram que todos os pixels com valor de NDWI >0 referem-se a corpos d'água. O presente trabalho utilizou o NDWI na composição colorida R (NDWI)G(SWIR) B(Green) para destacar corpos d'água, o que dispensa a definição de limiares deste índice espectral.

Na composição R(NDWI)G(5)B(6), os corpos d'água são destacados como as manchas mais escuras, a vegetação é representada em tons de roxo, os pastos revelam-se em tons de verde e as áreas alagadas despontam como entremeados entre tons de roxo e cinza escuro (Figura 3).

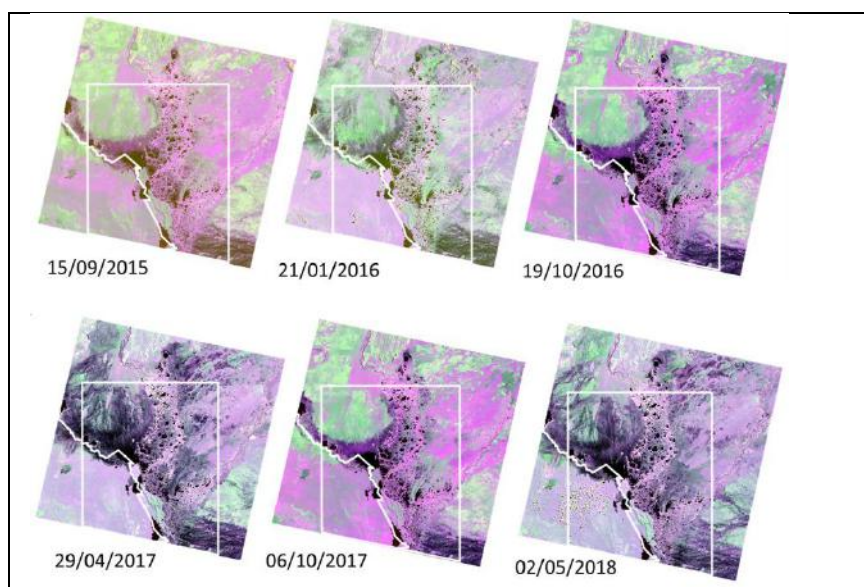


Figura 3 – Composição R(NDWI)G(5)B(6).

A **Tabela 2** representa a matriz de contingência da classificação da imagem adquirida em 15/set/2015, que teve como resultado índice Kappa de 0,75 e Acurácia Global de 0,83.

Tabela 2 – Matriz de contingência e resultados de acurácia da classificação

		Esperado					Total observado	Total comissionado	Erro - comissão	Exatidão do usuário
Observado	Comportamentos	Água	Alagado	Pasto	Vegetação					
	Água	8				8	0	0	1	
	Alagado		10	1		11	1	0,09	0,91	
	Pasto		1	27	7	35	8	0,23	0,77	
	Vegetação		3	3	28	34	6	0,18	0,82	
	Total Esperado	8	14	31	35	88				
Total omitido		0	4	4	7	Total corretamente classificado			73	
Erro - omissão		0	0,29	0,13	0,2	Concordância simples			0,83	
Exatidão do produtor		1	0,71	0,87	0,8	Concordância ao acaso			0,32	
					Concordância Global			0,83		
					Kappa			0,75		

Os modelos digitais de elevação de altitude e declividade (INPE, 2018) mostram que a região é predominantemente plana com inclinação inferior a 30° (**Figura 4**). Embora ocorram baixas colinas na Depressão do Alto Paraguai e nas Planícies Colúvicas Pré-Pantanal (SEMADE-MS, 2018), não foram considerados os efeitos das barreiras físicas na conectividade entre os corpos d'água e áreas alagadas.

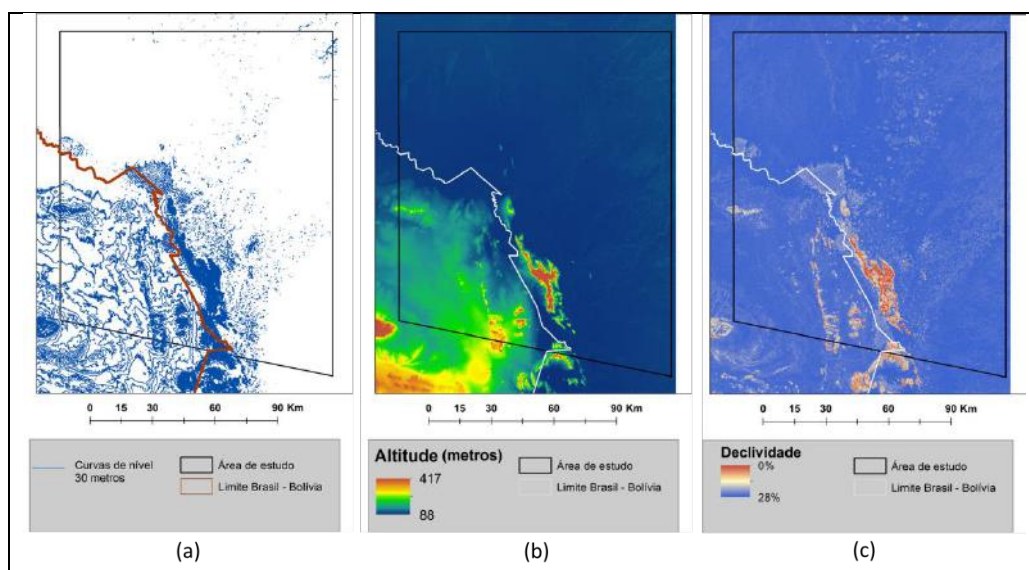


Figura 4 – Modelos digitais de elevação. (a) Curvas de nível 30 metros. (b) Altitude. (c) Declividade. Fonte: INPE (2018).

Simioni et al. (2017) mapearam as áreas inundáveis associadas aos grandes pulsos de inundação na Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande e mostraram que as áreas de conectividade entre áreas úmidas são formadas de acordo com a precipitação acumulada no período de aquisição das imagens usadas no mapeamento. Simpkins e Perry (2017) investigaram os impactos da variabilidade temporal nas estimativas de conectividade e concluíram que a variação do sistema tem implicações na precisão das estimativas de conectividade e que, as estimativas de conectividade devem ser produzidas para cada período temporal distinto e ser atualizadas periodicamente.

A **Figura 5** apresenta a pluviosidade acumulada (INMET, 2018) nos últimos 30 dias anteriores à aquisição das imagens Landsat-8/OLI usadas na classificação automática.

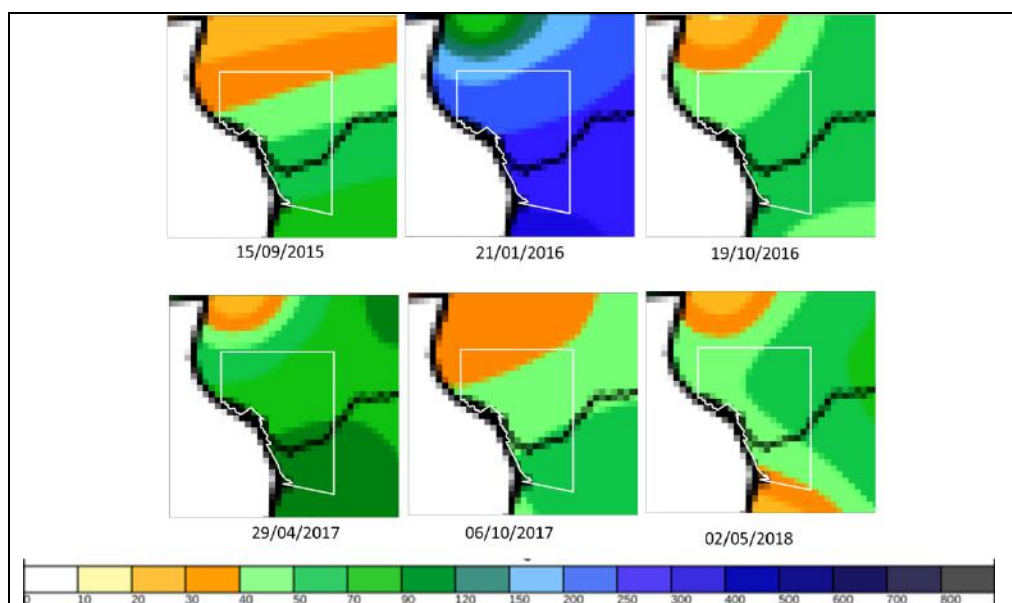


Figura 5 – Pluviosidade acumulada nos últimos 30 dias antes da aquisição da imagem Landsat-8/OLI. Fonte: INMET (2018).

A **Figura 6** fornece os resultados das métricas de paisagem calculadas para as classes “Água”, “Alagado”, “Vegetação densa” e “Pasto”.

O período 21/01/2016 apresentou a maior precipitação acumulada (200 – 300 mm – **Figura 5**) com maior número de corpos d’água (20.419 patches) e de menor média de tamanho (117.947 m²). Este é um indicativo de que em períodos de maior pluviosidade é formado maior número de lagoas e corixos que ainda não atingiram sua maior extensão.

Nos períodos de 02/05/2018 e 06/10/2017, que tiveram as menores ocorrências precipitação acumulada (30-50 mm), a distância mínima entre corpos d’água foram as maiores dentre as datas analisadas (130 metros e 65 metros, respectivamente), ou seja, com o menor volume de chuvas, a conectividade entre estes ambientes aquáticos diminuiu.

Ao longo dos períodos analisados, a área média dos corpos d’água foi mantida. Por outro lado, a extensão das áreas alagadas variou em aproximadamente 6 vezes, de 1.165 m² em 19/10/2016 a 7.193 m² em 02/05/2018, que são períodos em que a precipitação acumulada foi mais baixa, mantendo-se entre 30 e 40 mm. Ou seja, em períodos de baixa pluviosidade acumulada, a extensão de áreas alagadas pode variar consideravelmente. Pressupõe-se que este resultado se deve ao fato de que as referidas datas pertencem, respectivamente, a períodos de início e final da estação de cheia, com áreas alagadas ainda pouco extensas no início das chuvas e menos extensas quando o período de estiagem se aproxima.



Figura 6 – Métricas de paisagem calculadas para a área de estudo.

Gonçalves et al. (2011) esclarecem que os períodos de inundação podem ser atrasados após a chuva nas cabeceiras do planalto, devido à lenta passagem das águas pelas planícies alagadas e às características da bacia, que possui um sistema de drenagem complexo, com extensas áreas propensas a inundações que atuam como reservatórios; sendo assim, ocorre um retardo de aproximadamente quatro meses até que o nível da água passe pelo Pantanal, de norte a sul, e alcance o município de Corumbá no Estado do Mato Grosso do Sul.

5. Conclusões

Os resultados obtidos mostraram que pode haver um padrão na resposta de métricas da paisagem (conectividade, número de patches e tamanho dos patches). No início do período chuvoso, a extensão de áreas alagadas ainda não é expressiva e tende a aumentar até o início do período de estiagem. Períodos de maior precipitação acumulada tendem a apresentar grande número de corpos d'água cuja extensão total deve aumentar ao longo do período de chuvas. A

conectividade, quantificada pela distância euclidiana mínima entre corpos d'água, foi menor no período de menor volume de chuvas.

Contudo, é necessário complementar os resultados apresentados com análises com maior volume de imagens orbitais, inclusive adquiridas por radares SAR que são muito convenientes no período de chuvas e alta nebulosidade.

No período de estiagem, corpos d'água e áreas alagadas são substituídas temporariamente por áreas de vegetação densa e pasto, com fragmentação momentânea destes habitats aquáticos e diminuição da conectividade. Sendo assim, os estudos de conectividade em áreas úmidas e suas implicações em processos ecológicos, como a dispersão de organismos e dinâmicas populacionais, caso sejam baseados em dados espaciais, devem considerar sua análise multitemporal.

6. Referências

- Abdon, M.M.; Silva, J.S.V.; Marselhas; Souza, I.; Romon, V.T.; Rampazzo, J.; Ferrari, D.L. Desmatamento no bioma Pantanal até o ano de 2002: relações com a fitofisionomia e limites municipais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, p. 17-24. 2007.
- Alho, C.J.R. Biodiversity of the Pantanal: response to seasonal flooding regime and to environmental degradation. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 4, p. 957-966. 2008.
- Bennett, A.F. **Linkages in the landscape**: The role of corridors and connectivity in wildlife conservation. Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom: The World Conservation Union (IUCN) Forest Conservation Programme, 2 ed. 2003. 262 p.
- Caplat, P.; Edelaar, P.; Dudaniec, R.Y.; Green, A.J.; Okamura, B.; Cote, J.; Ekroos, J.; Jonsson, P.R.; Löndhal, J.; Tesson, S.V.M.; Petit, E.J. Looking beyond the mountain: dispersal barriers in a changing world. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 4, n. 5, p. 261-268. 2016.
- Congalton, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v.37, n.1, p.35-46, 1991.
- Fernandes, A. **Fitogeografia brasileira**: províncias florísticas.3ª ed. Fortaleza: Realce Editora. 2006. 202 p.
- Freemark, K.E.; Probst, J.R.; Dunning, J.B.; Hejl, S.J. Adding a landscape ecology perspective to conservation and management planning. In: Finch, D.M.; Stangel, P.W. **Status and management of neotropical migratory birds**. Fort Collins, Colo.: Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service. 1993.p.346-352
- GAO, B.C. NDWI A Normalized difference water index for Remote Sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266. 1996.
- Gonçalves, H.C.; Mercante, M.A.; Santos, E.T. Hydrological cycle. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 241-252. 2011.
- Groom, G.; Múcher, C.A.; Ihse, M.; Wrba, T. Remote sensing in landscape ecology: experiences and perspectives in a European context. **Landscape Ecology**, v. 21, p. 391-408. 2006.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Mapas de precipitação**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo2/mapasPrecipitacao>>. Acesso em 25 Jun 2018.
- INPE – Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. **Topodata**: Banco de dados geomorfométricos do Brasil. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em 08 Jun 2018.
- ISA – Instituto Socioambiental. **Unidades de Conservação no Brasil**. Disponível em <<https://www.socioambiental.org/pt-br/mapas>>. Acesso em 01 abr.2018.
- Jardim, A.; Killeen, T.J.; Fuentes, A. **Guia de los arboles y arbustos del Bosque Seco Chiquitano**, Bolívia. Santa Cruz de la Sierra: Editorial FAN, 2003. 324 pp.
- Jardine, T.D.; Pusey, B.J.; Hamilton, S.K.; Pettit, N.E.; Davies, P.M.; Douglas, M.M.; Sinnamon, V.; Halliday, I.A.; Bunn, S.E. Fish mediate high food web connectivity in the lower reaches of a tropical floodplain river. **Oecologia**, v. 168, n. 3, p. 829-838. 2012.

- McFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.7, p.1425-1432. 1996.
- Nhamo, L.; Magidi, J.; Dickens, C. Determining wetland spatial extent and seasonal variations of the inundated area using multispectral remote sensing. **Water AS**, v. 43, n. 4, p. 534-552.
- Oliveira, A.K.M.; Pagotto, T.C.S.; Paranhos Filho, A.C.; Moreira, E.S. O desmatamento no Pantanal: causas e consequências. In: ALVES, G.L.; MERCANTE, M.A.; FAVERO, S. **Pantanal Sul-Mato-Grossense – ameaças e propostas**. Campinas: Autores Associados. 2012, p. 29-58.
- Quesnelle, P.E.; Lindsay, K.E.; Fahring, L. Low Reproductive Rate Predicts Species Sensitivity to Habitat Loss: A Meta-Analysis of Wetland Vertebrates. **PLOS ONE**, v. 9, n. 3, e90926. 2014. Disponível em <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090926>>. Acesso em 20 Jun 2018.
- Roe, J.H.; Georges, A. Heterogeneous wetland complexes, buffer zones, and travel corridors: Landscape management for freshwater reptiles. **Biological Conservation**, v. 135, n. 1, p. 67-76. 2007.
- Roe, J.H.; Kingsbury, B.A.; Herbert, N.R. Comparative water snake ecology: conservation of mobile animals that use temporally dynamic resources. **Biological Conservation**, v. 118, n. 1, p. 79-89. 2004.
- Santos, Am.; Thomaz, S.M. Aquatic macrophytes diversity in lagoons of a tropical floodplain: The role of connectivity and water level. **Austral Ecology**, v. 32, n. 2, p. 177-190. 2007.
- Sarmiento, G. Adaptive strategies of perennial grasses in South American savannas. **Journal of Vegetation Science**, v. 3:, p. 325-336. 1992.
- Semade-MS - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico. **Caderno geoambiental das regiões de planejamento do MS**. Disponível em <http://www.servicos.ms.gov.br/semade_download/Caderno%20Ambiental/Caderno_Geoambiental.pdf>. Acesso em 30 jun 2018.
- Simioni, J.P.D.; Guaselli, L.A.; Etchelar, C.B. Connectivity among Wetlands of EPA of Banhado Grande, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, n. e15. 2017.
- Simpkins, C.E.; Perry, G.L.W. Understanding the impacts of temporal variability on estimates of landscape connectivity. **Ecological Indicators**, v. 83, p. 243-248, 2017.
- Taylor, P.D., Fahrig, L. Henein, K.; Merriam, G. Connectivity is a vital element of landscape structure. **Oikos**, v. 68, n.3, p. 571-572. 1993.
- Tockner, K.; Pennetzdorfer, D.; Reiner, N.; Schiemer, F.; Ward, J. V. Hydrological connectivity and exchange of organic matter and nutrients in a dynamic river-floodplain system (Danube, Austria). **Freshwater Biology**, v. 41, p. 521-535. 1999.
- Watzlawick, L.F.; Kirchner, F.F.; Madruga, P. R. A. Avaliação de classificação digital em imagens de vídeo multispectral utilizando matriz confusão. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, p. 47-57, 2003.