

## **Eficiência dos produtos MapBiomas Água e MODIS Land Water Mask para mapeamento da superfície de água do Pantanal brasileiro, sub-região do Paraguai**

Oliveira, S.C. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS) ; Noveli, R.A.P. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS) ; Leite-filho, A.T. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS)

### **RESUMO**

Compreender e mapear o regime hidrológico se faz relevante diante da preocupação com a redução da superfície de água no Pantanal e a garantia dos serviços ecossistêmicos. Produtos como MapBiomas Água e MODIS Land Water Mask são alternativas, e este trabalho avaliou sua eficiência. Limitando à sub-região do Paraguai, aplicou-se o índice NDWI a cenas do Landsat, com posterior recategorização para classes de água e não água. Tais cenas foram avaliadas conforme cotas de quatro estações fluviométricas com perfis transversais levantados, estes adequados ao Modelo Digital de Terreno. A avaliação não foi conclusiva, ainda assim a recategorização representou bem, considerando principalmente o leque do Rio Taquari. No geral, os produtos representam melhor o período de seca. Contudo, como sendo anuais, qualifica-se a utilização das imagens Landsat recategorizadas após aplicação do NDWI. Recomenda-se avaliar cada sub-região individualmente, considerando o comportamento da inundação no ano.

### **PALAVRAS CHAVES**

*inundação; sensoriamento remoto; NDWI; monitoramento fluviométrico; acurácia*

### **ABSTRACT**

Understanding and mapping the hydrological regime is relevant in reducing the Pantanal water surface and guaranteeing ecosystem services. Products such as MapBiomas Água and MODIS Land Water Mask are alternatives, and this study evaluates their efficiency. Limiting it to the sub-region of Paraguay, the NDWI index was applied to Landsat scenes, with subsequent recategorization for water and non-water classes. Such scenes were evaluated according to elevations of four fluviometric stations with transverse profiles adapted to the Digital Terrain Model. The evaluation was inconclusive, even so, the recategorization represented well, considering mainly the range of the Taquari River. Overall, the products better represent the dry period. However, as is annual, using categorized Landsat images after the NDWI application is qualified. It is recommended to evaluate each sub-region individually, considering the flood behavior during the year.

### **INTRODUÇÃO**

Zonas úmidas, conhecidas como wetlands, são áreas na interface entre ambientes aquáticos e terrestres, permanente ou periodicamente inundadas por águas rasas, ou constituídas de solos saturados (JUNK et al., 2014). A hidrologia de zonas úmidas é característica dessa conjuntura e, através das águas superficiais e subterrâneas, cria um ambiente que dá suporte à vida aquática (TINER, 2009). Dentre as zonas úmidas de importância mundial temos o Pantanal, bioma formado por uma depressão cuja extensão em território brasileiro chega a aproximadamente 138.000 km<sup>2</sup>, sendo considerada a maior área úmida tropical contínua de água doce do mundo (DAMASCENO-JUNIOR; POTT, 2021; SILVA; ABDON, 1998). O bioma conta com uma vasta diversidade ambiental e hídrica (PADOVANI, 2010) e, por essa importância ambiental, é considerado Patrimônio Natural da Humanidade e Reserva da Biosfera pela Unesco (IMASUL, 2018) Em característica morfoestrutural, circundado por planalto cristalino de elevação média entre 600 e 700m (ADÂMOLI, 1986), o Pantanal é uma ampla planície aluvial tectonicamente ativa com baixo gradiente topográfico alojada na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (ASSINE, 2005; ASSINE; SOARES, 2004). O sistema fluvial da região possui sua configuração representada pelos leques aluviais do Rio Taquari - com área dominante -, dos rios Cuiabá e São Lourenço, seguidos de outros menores, como dos rios Piquiri, Taboco e Negro (ASSINE et al., 2015; ASSINE; SOARES, 2004; FILHO, 1986). As vazões na região de estudo têm sua

sazonalidade definida. Nas cabeceiras dos rios, os picos são observados com maior frequência nos meses de janeiro a março. Devido à lentidão com que a água se translada no Rio Paraguai, em virtude da baixa declividade média e da formação de área pantanosa, à medida que se avança a jusante, os picos ocorrem cada vez mais tarde (CPRM, [s. d.]) Buscando a delimitação desse complexo sistema, Silva e Abdon (1998) utilizam aspectos relacionados a inundações, relevo, solo e vegetação, para a segmentação da planície em sub-regiões com características similares. O trabalho subdivide a planície em 11, dentre as quais está localizada a sub-região do Paraguai, que ocupa dois municípios diferentes, sendo eles Poconé/MT e Corumbá/MS. A sub-região do Pantanal do Paraguai possui variações topográficas e fenômenos hídricos singulares. Devido a isso, já vem sendo objeto de pesquisa em trabalhos voltados à dinâmica hídrica na planície (ARRIAGADA et al., 2022; FONSECA; SILVA; SILVA, 2017; STEVAUX et al., 2020). O mapeamento da Planície Pantaneira, bem como de suas sub-regiões, requer utilização de produtos precisos, sendo essencial a condução de controle de qualidade adequado. Para isso, estudos que validem tais produtos se mostram relevantes no avanço das pesquisas na região. Com base nisso, este trabalho traz, através de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, o objetivo de validar a acurácia dos produtos MapBiomas Água e MODIS Land Water Mask através de resposta do índice Normalized Difference Water Index - NDWI na extensão da inundações da planície do Rio Paraguai, cruzando com dados de terreno e medições fluviométricas.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Localizado na porção oeste do Pantanal (Figura 1), a sub-região do Paraguai apresenta um comportamento de cheia posterior ao período chuvoso entre março e maio, quando a água supera estreitamente na região do Amolar, mas se contém no do Urucum. Dessa forma, de junho a agosto, um enorme corpo d'água novo de aproximadamente 7.500 km<sup>2</sup> abrange todo o trecho de Corumbá, o Rio Aquidauana, e a margem sul do megaleque aluvial do Rio Taquari (STEVAUX et al., 2020). Figura 1- Localização da região de estudo e das estações fluviométricas Para a delimitação da superfície de água utilizou-se o Normalized Difference Water Index - NDWI. Sua formulação oferece como resultado uma quantificação da área de água em um intervalo espectral de -1 a 1 (MCFEETERS, 1996). Com as imagens processadas, o intervalo foi reclassificado para o valor 0 àqueles obtidos entre -1 e 0, sendo considerados não água, e 1 para o intervalo acima de 0 até 1, sendo por sua vez água. Para a aplicação do NDWI foram obtidas cenas do satélite Landsat 8, sendo de cheia (11/08/2014) e de seca (25/09/2013). As datas de aquisição foram estipuladas conforme o catálogo de oferta, considerando critérios de extensão de água na planície e menor presença de nuvens. As imagens foram coletadas no portal Earth Explorer (USGS, [s. d.]). Os produtos de mapeamento de superfície de água correspondem ao MapBiomas Água, e ao MODIS Land Water Mask (MOD44W). O primeiro oferta dados mensais e anuais de dinâmica de água superficial para o território nacional desde 1985, e é resultado de classificação aplicada a imagens Landsat. Ressalta-se que os dados mensais ainda estão em versão beta e não disponíveis para download (MAPBIOMAS, 2023). O MOD44W de dá em dados anuais (2000-2015) e resolução espacial de 250m, e é proveniente do instrumento MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, componente dos satélites Terra (EOS AM-1) e Aqua (EOS PM-1) (CARROLL, Mark, 2017). Considerando o uso de ambos, a análise comparativa deve ser feita com período em comum. A partir da série histórica da superfície de água do MapBiomas previamente consultada, notou-se redução da área para o ano de 2013, sendo selecionado este ano e o seguinte (2014) para o estudo. Os dados hidrológicos foram obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas (ANA, [s. d.]), adotando-se estações que atenderam aos critérios de consistência dos dados, disponibilidade de medições de cota para os anos de 2013 e 2014, bem como existência de monitoramento de perfil transversal, a fim de realizar verificação da superfície de água classificada a partir da topografia da região (Figura 1, Tabela 1). Tabela 1 - Estações fluviométricas utilizadas

Código	Nome	Curso d'água	Disponibilidade de dados	Latitude	Longitude	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )
66750000	Porto do Alegre	Rio São Lourenço	1967-2022	-17,6233	-56,9650	103.000
66800000	Amolar	Rio Paraguai	1967-2022	-18,0386	-57,4886	234.000
66810000	São Francisco	Rio Paraguai	1967-2020	-18,3939	-57,3911	243.000
66895000	Porto da Manga	Rio Paraguai	1969-2022	-19,2583	-57,2353	327.000

O ALOS-PALSAR é parte um conjunto de dados digitais de elevação e foi produzido a partir das imagens de radar adquiridas no período 2006-2011. Sua disponibilização se dá de forma gratuita, já corrigida e, quando em alta resolução, composta por

grade de 12,5m (ASF DAAC, 2015). Tal produto foi utilizado para comparar a classificação das imagens com aplicação do NDWI através dos dados de medições de cota nas estações fluviométricas listadas. Os mapas de erro foram então avaliados e as medidas de desacordo de quantidade e de alocação, discutidas. A aplicação desse mapa, representação gráfica da matriz de erro (ferramenta de avaliação de precisão e comparação de mapas), se deu como forma de visualizar a distribuição espacial das discordâncias de classificação (PONTIUS; MILLONES, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 resume os resultados, após aplicação do índice NDWI e da recategorização entre água com valor 1 e não água com valor 0, da porcentagem de pixels classificados como água para as cenas Landsat, bem como dos produtos MapBiomas Água e MOD44W, ambos com análise aprofundada posteriormente. Tabela 2- Porcentagem de pixels classificados como água por produto na região do Pantanal do Paraguai

Produto	Data	% de pixels classificados como água
NDWI recategorizado	seca 25/09/2013	8,73
NDWI recategorizado	cheia 11/08/2014	20,92
MapBiomas Água	2014	17,18
MODIS Land Water Mask	2014	11,92

Foi realizada, em seguida, a comparação da altimetria do perfil transversal de cada estação para o ano de 2014 com o Modelo Digital de Terreno (MDT) formado pelas cartas adquiridas do ALOS-PALSAR. Os perfis foram comparados com anos anteriores e posteriores a fim de verificar que não houve grande mudança de geometria e elevação para o período analisado. Confirmando que não, cada um foi então ajustado ao MDT e as medições médias diárias de cota para os meses 09/2013 e 08/2014 foram inseridas de forma a verificar a superfície de inundação formada nos períodos de seca e de cheia, respectivamente, pelas elevações atingidas no ponto de monitoramento. Para as quatro estações, as medições de seca ficaram abaixo das elevações do MDT, esperando-se então que os produtos ficassem contidos à área da calha do curso d'água. Para a cheia, as medições também foram inferiores para as estações 66800000 - Amolar, 66750000 - Porto do Alegre e 66810000 - São Francisco, esperando comportamento de contenção semelhante, contudo superiores na estação 66895000 - Porto da Manga. Reforça-se que a resolução dos produtos ALOS-PALSAR é de 12,5m, então a verificação para esta última estação será aproximada; contudo, espera-se que a superfície de inundação ultrapasse as curvas de nível da margem do curso d'água na região. A Tabela 3 mostra os resultados da comparação dos perfis transversais das estações com as cotas médias mensais e o produto NDWI recategorizado originado das cenas do Landsat para as datas de seca e de cheia. Tabela 3 - Comparativo dos perfis transversais das estações com as cotas médias mensais e o produto NDWI recategorizado

Código	Nome Curso d'água	Verificação seca (09/2013)	Verificação cheia (08/2014)
66750000	Porto do Alegre Rio São Lourenço	Inundação contida, como esperado	66800000 Amolar Rio Paraguai
66810000	São Francisco Rio Paraguai	66895000 Porto da Manga Rio Paraguai	Sem inundação, esperava-se mancha contida
66895000	Porto da Manga Rio Paraguai	Sem inundação, esperava-se mancha contida	Margens inundadas, como esperado

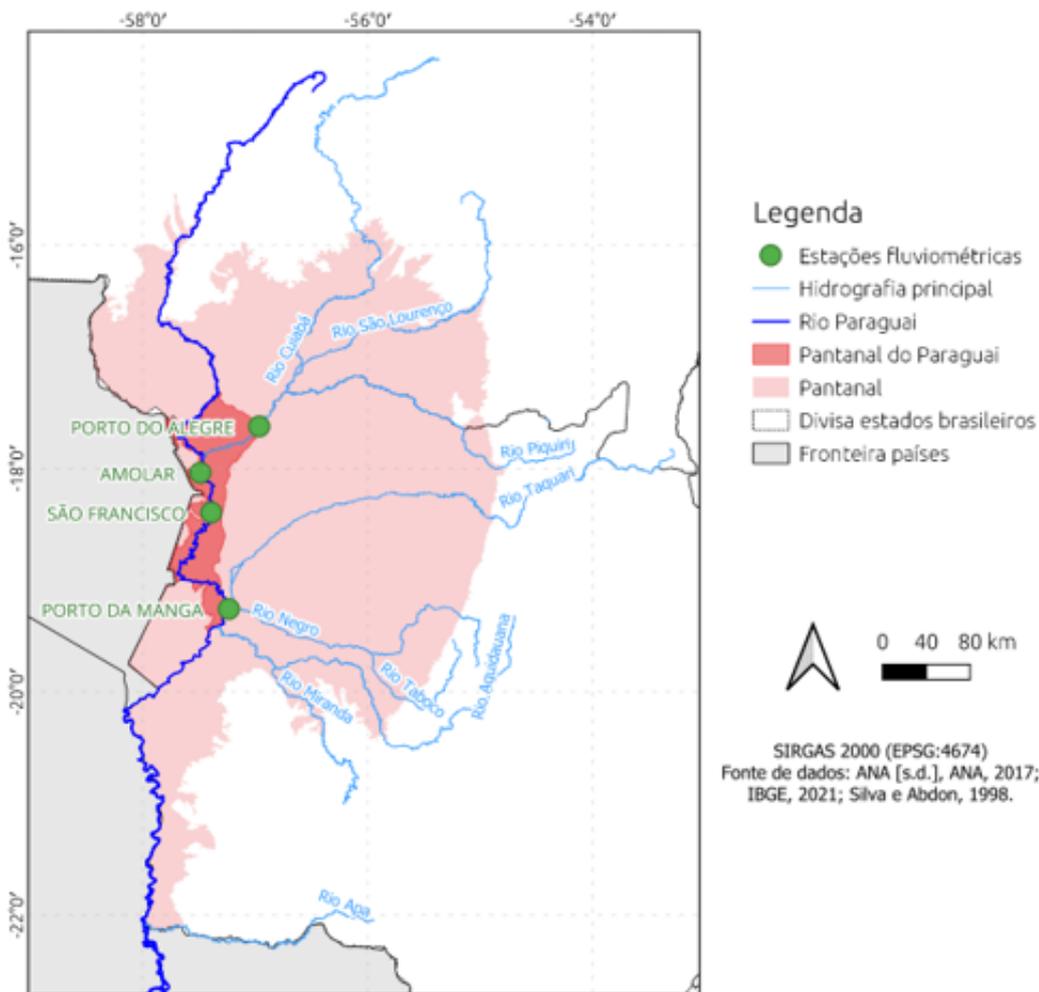
O comparativo com os dados das estações não foi conclusivo, uma vez também que são medições pontuais para uma área de pouco mais de 8.100 km<sup>2</sup>, e pelo motivo de que os períodos de cheia resultam em superfície de água ocupando as planícies aluviais, não somente limitadas às calhas principais dos cursos d'água. Apesar disso, acredita-se que a aplicação do índice NDWI e sua posterior recategorização foram adequadas, por não levantar nenhum resultado inesperado e da coerência no comparativo da imagem de satélite e da porcentagem dos pixels classificados como água. Seguiu-se então para a validação dos produtos MapBiomas Água e MOD44W em comparação com os produtos produzidos pela metodologia do NDWI recategorizado. Ressalta-se que para a aplicação do mapa de erro foi necessário reamostrar o produto MOD44W para se trabalhar com a mesma resolução dos demais, 30m. A fórmula para gerar o mapa de erro é: MAPA DE REFERÊNCIA (NDWI recategorizado seca ou cheia) - MAPA CLASSIFICADO (MapBiomas Água ou MOD44W). No resultado (Figura 2) os valores negativos representam superestimação, enquanto os positivos, subestimação. É possível perceber que ambos produtos subestimam a cheia, com destaque para a região mais a jusante da planície. Por outro lado, o megaleque do Rio Taquari é superestimado principalmente pelo produto MapBiomas. Além disso, no geral, o produto MOD44W subestima a superfície de água como um todo, tanto para o período seco quanto de cheia. Figura 2 - Mapas de erro gerados para cada par de produtos comparados

Em relação às medidas de desacordo de quantidade e de alocação, na proposta de cálculo deste estudo a primeira é obtida a partir da soma dos valores absolutos dos erros de subestimação e superestimação divididos pelo número total de pixels, essa medida reflete o

grau geral de erro. Já a segunda é calculada a partir da soma dos erros de subestimação e superestimação separadamente, divididos pelo número total dos pixels, ela reflete o grau geral de erro de alocação das classes. A Tabela 4 mostra os resultados da análise. Percebe-se que não há um produto ideal para utilizar, uma vez que um baixo valor de quantidade de desacordo não necessariamente representa consequentemente melhor alocação da classificação. Um bom par de baixo valor de alocação de desacordo para as classes de água e não água seria ideal. Aparentemente os produtos representam melhor um período de seca, mas por serem de escala anual, não se limitam a tal representação da sazonalidade da inundação. Tabela 4 - Resultado das medidas de desacordo de quantidade e alocação para os produtos comparados

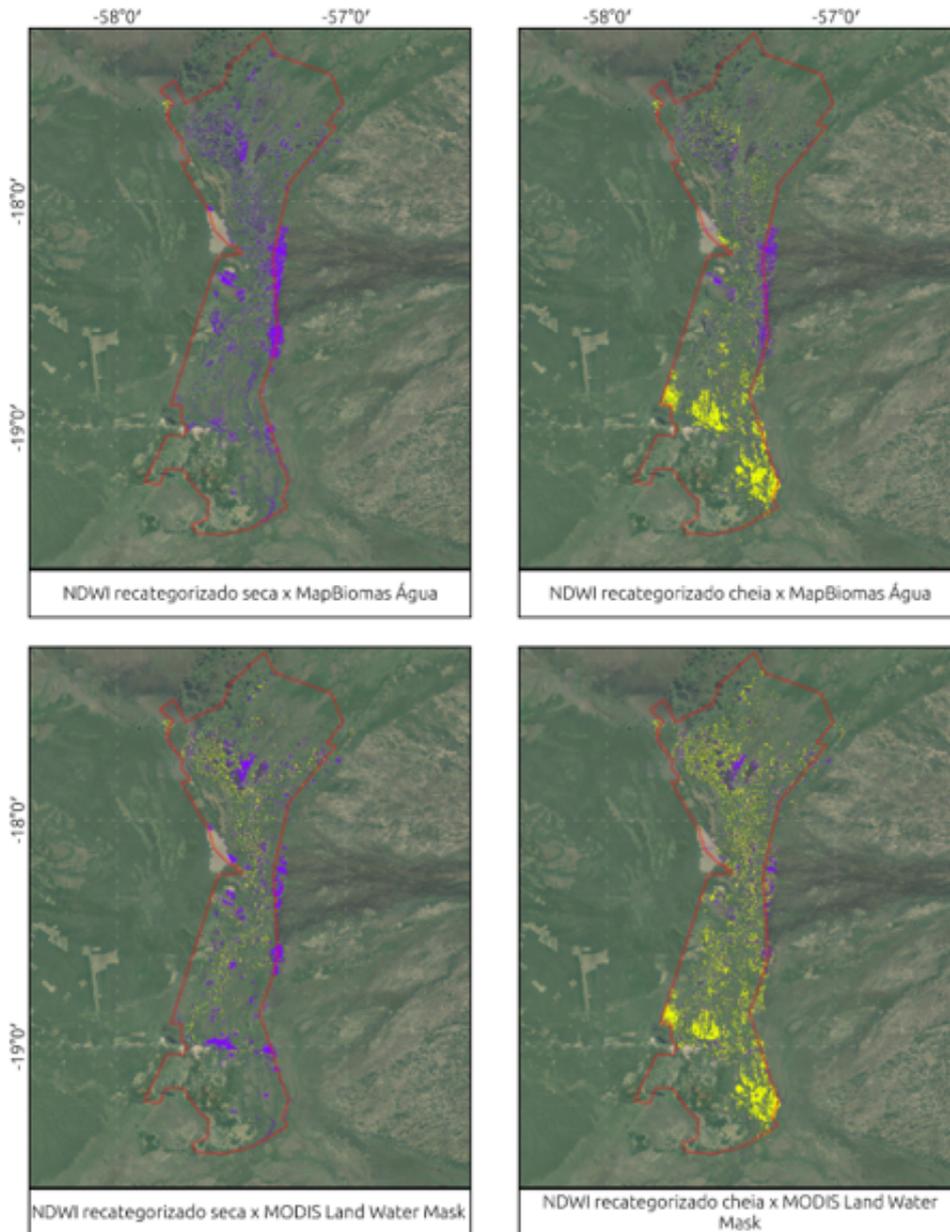
Produtos comparados	Desacordo de quantidade (%)	Desacordo de alocação água (%)	não água (%)
NDWI recategorizado seca x MapBiomas Água	-8,45	9,00	0,55
NDWI recategorizado cheia x MapBiomas Água	3,74	4,09	7,82
NDWI recategorizado seca x MODIS Land Water Mask	-3,20	6,30	3,10
NDWI recategorizado cheia x MODIS Land Water Mask	8,99	3,22	12,21

Figura 1- Localização da região de estudo e das estações fluviométrica



Localização da região de estudo e das estações fluviométricas

Figura 2 - Mapas de erro gerados para cada par de produtos comparados



### Legenda

- Pantanal do Paraguai
- Mapa de erro
  - Superestimação
  - Subestimação



0 20 40 km



SIRGAS 2000 (EPSG:4674)

Fonte de dados: © Google Satellite 2023; MapBiomas, 2023; Silva e Abdon, 1998; USGS, [s.d].

Mapas de erro gerados para cada par de produtos comparados

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A acurácia do mapeamento do MapBiomas Água para superfície de água anual no Pantanal já é discutida devido à grande irregularidade interanual relacionada a efeitos sazonais (MAPBIOMAS, 2023). Por sua vez, o MODIS Land Water Mask teve classificação validada por Carroll et al. (2009) apesar de não serem expostos detalhes ou comentários sobre a mesma. Contudo, este último produto possui resolução visivelmente grosseira e já se conseguia perceber falhas na categorização

e descontinuidade mesmo sem a comparação. A análise mostrou que o uso dos produtos deve ser feito com cautela, dada a particularidade da dinâmica temporal das inundações. Neste estudo, inicialmente recomenda-se a geração de um próprio produto de superfície de água a partir da recategorização do índice NDWI. Ressalta-se, também, a importância da consideração da particularidade da sazonalidade de cada sub-região do Pantanal, sendo recomendada sempre a divisão e análise individual antes da aplicação homogênea de um produto, seja elaborado pelo usuário ou adquirido em plataformas online.

## AGRADECIMENTOS

Expressa-se agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelas bolsas concedida às alunas Sofia Corradi Oliveira e Rayssa Aparecida Pinheiro Noveli no âmbito do Programa de Pós-Graduação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ADÁMOLI, J. A Dinâmica das Inundações no Pantanal. 1986., Accepted: 2011-08-04T01:03:48Z. Anais do I Simpósio Sobre Recursos Naturais e Socio-Econômicos do Pantanal [...]. Corumbá, MS: Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986., 1986. p. 51-61. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/787689>. Acesso em: 29 abr. 2023.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Portal HidroWeb. [s. d.]. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 24 mar. 2023.
- ARRIAGADA, C. A. H.; ARRIAGADA, G. L. H.; FRAGA, B. L. de; SILVA, B. D.; CAVENAGHI, G. A. G. Estratégias de mitigação para o controle dos efeitos das secas no Rio Paraguai, trecho Corumbá-MS. *Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável*, v. 1, n. 1, 7 jun. 2022. DOI 10.17271/rtgs.v1i1.3156. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rtgs/article/view/3156>. Acesso em: 29 abr. 2023.
- ASF DAAC. PALSAR\_Radiometric\_Terrain\_Corrected\_high\_res. [S. l.: s. n.], 2015. DOI 10.5067/Z97HFCNKR6VA. Disponível em: <https://asf.alaska.edu>. Acesso em: 29 abr. 2023.
- ASSINE, M. L. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. *Geomorphology*, v. 70, n. 3-4 SPEC. ISS., p. 357-371, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.013>.
- ASSINE, Mario Luis; MERINO, E. R.; PUPIM, F. do N.; MACEDO, H. de A.; SANTOS, M. G. M. dos. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, v. 45, p. 475-489, set. 2015. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201520150014>.
- ASSINE, Mario Luis; SOARES, P. C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. *Quaternary International*, v. 114, n. 1, p. 23-34, 2004. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(03\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(03)00039-9).
- CARROLL, M. MOD44W MODIS/Terra Land Water Mask Derived from MODIS and SRTM L3 Global 250m SIN Grid V006. [S. l.: s. n.], 2017. DOI 10.5067/MODIS/MOD44W.006. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod44wv006/>. Acesso em: 16 fev. 2023.
- CARROLL, M. L.; TOWNSHEND, J. R.; DIMICELI, C. M.; NOOJIPADY, P.; SOHLBERG, R. A. A new global raster water mask at 250 m resolution. *International Journal of Digital Earth*, v. 2, n. 4, p. 291-308, 1 dez. 2009. <https://doi.org/10.1080/17538940902951401>.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. SACE Bacia do Rio Paraguai (Pantanal). [s. d.]. Disponível em: [https://www.cprm.gov.br/sace/index\\_bacias\\_monitoradas.php?getbacia=bparaguaiBoletins#](https://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php?getbacia=bparaguaiBoletins#). Acesso em: 16 fev. 2023.
- DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; POTT, A. (Orgs.). *Flora and Vegetation of the Pantanal Wetland*. Cham: Springer International Publishing, 2021. v. 18, (Plant and Vegetation). DOI 10.1007/978-3-030-83375-6. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-83375-6>. Acesso em: 16 dez. 2022.
- FILHO, J. D. de G. Aspectos Geológicos do Pantanal Mato-Grossense e de sua Área de Influência. 1986. Anais do I Simpósio Sobre Recursos Naturais e Socio-Econômicos do Pantanal [...]. Corumbá, MS: [s. n.], 1986. p. 63-76.
- FONSECA, T. P. de L.; SILVA, A.; SILVA, B. L. de P. A Influência da Cheia na Comunidade da Barra do São Lourenço Pantanal Sul-Mato-Grossense. *Revista GeoPantanal*, v. 12, p. 447-460, 25 set. 2017. .
- JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; NUNES DA CUNHA, C.; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research,

sustainable management, and protection: BRAZILIAN WETLANDS. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, v. 24, n. 1, p. 5–22, fev. 2014. <https://doi.org/10.1002/aqc.2386>.

MAPBIOMAS. MapBiomias Brasil. 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 30 jan. 2023.

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. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.

PADOVANI, C. R. Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal. 2010. Doutorado em Ecologia Aplicada – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. DOI

10.11606/T.91.2010.tde-14022011-170515. Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-14022011-170515/>. Acesso em: 7 fev. 2023.

PONTIUS, R. G.; MILLONES, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, v. 32, n. 15, p.

4407–4429, 10 ago. 2011. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.552923>.

SILVA, J. dos S. V. da; ABDON, M. de M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. 1998. .

STEVAUX, J. C.; MACEDO, H. de A.; ASSINE, M. L.; SILVA, A. Changing fluvial styles and backwater flooding along the Upper Paraguay River plains in the Brazilian Pantanal wetland. *Geomorphology*, v. 350, p. 106906, 1 fev. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106906>.

TINER, R. W. Wetland Hydrology. *Encyclopedia of Inland Waters*. [S. l.]: Elsevier, 2009. p. 778–789.

DOI 10.1016/B978-012370626-3.00018-1. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123706263000181>. Acesso em: 15 jan. 2023.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. EarthExplorer. [s. d.]. Disponível em:

<https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 15 maio 2023.