



## **As variações Climáticas e Uso da Terra Alteram a Hidrologia da Região de Nabileque, Pantanal, MS**

*Climate variations and land use alter the hydrology of the Nabileque region, Pantanal, MS*

MARQUES, Rita de Cassia Gonçalves<sup>1</sup>; MARQUES, Andressa Gonçalves<sup>1</sup>; DOMINGOS, Joab Doria<sup>1</sup>; RAMALHO, Alanis Rodrigues<sup>1</sup>, PEREIRA, Joelson Gonçalves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Grande Dourados, MS, ritinhaadecassia29@gmail.com, andressagonca04@gmail.com, joabdoria@hotmail.com, alanisrodrigues723@gmail.com, joelsonpereira@ufgd.edu.br

**Resumo:** As mudanças climáticas e as ações humanas impactam ecossistemas, gerando a necessidade de soluções como os sistemas agroflorestais (SAFs) para beneficiar agricultura e conservação. No entanto, poucos estudos abordam SAFs no Pantanal, especialmente utilizando dados multitemporais. Este estudo visa investigar como as variações climáticas influenciam o uso do solo, para a implementação de SAFs na região de Nabileque. Utilizamos imagens do MapBiomas para os anos de 1985, 2005 e 2022, e análises feitas em software R com o pacote OpenLand. Descobrimos uma redução significativa das áreas com corpos d'água, de 46% em 1985 para apenas 1% em 2022, enquanto as áreas de vegetação, especialmente a formação campestre, aumentaram em extensão significativamente. Observamos um aumento médio da temperatura entre os anos 1980 e 2020, especialmente a partir dos anos 2000, e uma diminuição gradual da precipitação, de 260 mm em 1980 para cerca de 150 mm nos anos seguintes. O estudo revela mudanças no uso da terra em Nabileque, com conversão de corpos d'água em áreas campestres se não houver intervenção serão convertidas em áreas de pastagem, destacando a necessidade de práticas sustentáveis. Os sistemas agroflorestais (SAFs) são eficazes na mitigação da perda de vegetação nativa e na regeneração de áreas degradadas. Eles auxiliam na manutenção da umidade do solo, controle da erosão e resiliência ao estresse hídrico. Além disso, os SAFs preservam a biodiversidade e regulam o ciclo hidrológico, reduzindo os impactos das mudanças no uso do solo.

**Palavras-chave:** Análise Multitemporal, SAFs, áreas úmidas, área queimada, mudanças climáticas.

**Abstract:** Climate change and human activities impact ecosystems, creating the need for solutions such as agroforestry systems (SAFs) to benefit both agriculture and conservation. However, few studies address SAFs in the Pantanal, especially using multitemporal data. This study aims to investigate how climate variations influence land use for the implementation of SAFs in the Nabileque region. We used MapBiomas images from 1985, 2005, and 2022, with analyses conducted in R software using the OpenLand package. We found a significant reduction in areas with water bodies, from 46% in 1985 to only 1% in 2022, while vegetation areas, particularly campo formations, significantly expanded. We observed an average temperature increase between 1980 and 2020, especially from the 2000s onward, and a gradual decrease in precipitation, from 260 mm in 1980 to about 150 mm in the following years. The study reveals land use changes in Nabileque, with the conversion of water bodies into



campo areas, which, if not intervened, will become pasturelands, highlighting the need for sustainable practices. Agroforestry systems (SAFs) are effective in mitigating the loss of native vegetation and regenerating degraded areas. They help maintain soil moisture, control erosion, and increase resilience to water stress. Additionally, SAFs preserve biodiversity and regulate the hydrological cycle, reducing the impacts of land use changes.

**Keywords:** Multitemporal Analysis, SAFs, wetlands, burned area, climate change.

## Introdução

Com o agravamento dos efeitos das mudanças climáticas sobre os sistemas humanos e terrestres, cresce a demanda por parte das instituições globais pela adoção de soluções climáticas baseadas na natureza (Jovanelly; Su; Ong, 2024). Entre essas soluções, os sistemas agroflorestais (SAFs) destacam-se por sua capacidade de mitigar os impactos das mudanças climáticas enquanto promovem a adaptação a seus efeitos, integrando práticas agrícolas e florestais de maneira sustentável (Lasco; Delfino; Espaldon, 2014). No entanto, para garantir o sucesso dos SAFs, especialmente em regiões sensíveis como o Pantanal, é indispensável compreender o histórico de uso da terra (Escobar-López *et al.*, 2022). Essa análise permite identificar condições ambientais, que podem influenciar a eficácia e a longevidade do sistema implantado.

O Pantanal, é um conjunto de ecossistemas terrestres e aquáticos que abrange cerca de 150.000 km<sup>2</sup> de áreas úmidas, e é influenciado pelos biomas brasileiros e pelo Chaco boliviano e paraguaio, sendo reconhecido como a maior planície alagada de água doce do mundo (Stevaux *et al.*, 2020). Durante as chuvas, os rios transbordam e inundam o Pantanal, criando um ambiente úmido que abriga uma grande diversidade de espécies, incluindo algumas ameaçadas de extinção (Santos; Soriano; Filho, 2007). Essa diversidade leva à subdivisão do bioma em diferentes regiões, como o Pantanal de Nabileque, onde há um fluxo superficial misto de água pluvial e água fluvial não confinada, resultando em inundações persistentes que abrangem entre 50% e 85% da área total (Assine *et al.*, 2015).

Contudo, nos últimos 38 anos, o ecossistema perdeu cerca de 0,7 milhões de hectares de florestas naturais, isso em decorrência ao crescimento de áreas queimadas no Pantanal aumentou simultaneamente, com 93,5% das ocorrências em áreas de vegetação nativa e 6,5% em áreas destinadas à agricultura (Azevedo *et al.*, 2023). Ademais, com o aquecimento global intensificado pelas ações antrópicas resulta em alterações climáticas, tais como temperaturas mais elevadas, ondas de calor cada vez mais frequentes e escassez de chuvas, o que aumenta a inflamabilidade da vegetação e conseqüentemente a propagação do fogo é exacerbada, resultando em mudanças na estrutura da paisagem e na biodiversidade (Pelissari *et al.*, 2023).



Embora este trabalho seja uma análise multitemporal focada no Pantanal Nabileque, uma consulta a 50 artigos de revisão revelou que a maioria dos estudos sobre as modificações do uso da terra na estrutura da vegetação se concentra no bioma Cerrado ( Schuler *et al.*, 2022), e estes não trabalham com sistemas agroflorestais. Essa ausência de pesquisas similares no Pantanal evidencia a originalidade e relevância deste estudo, sem considerar os SAFs. Outro fator também, é que os estudos não utilizam dados do mapbiomas para análises multitemporais, mas outros sensores, como sentinel, Landsat (Kandus *et al.*, 2018).

Dentro desse contexto, objetivo dessa pesquisa foi investigar se as variações climáticas ao longo dos anos refletem nas modificações do uso do solo, para propor melhores estratégias de SAFs.

## **Metodologia**

### Área de estudo

A microrregião do Pantanal Nabileque está situada no Mato Grosso do Sul, englobando os municípios de Corumbá e Ladário, no sul do Pantanal, abaixo da confluência do rio Nabileque com o rio Paraguai. A microrregião tem uma área de 14.015 km<sup>2</sup> e é composta pelo Pantanal do Abobral, ao sul pelas florestas de Porto Murtinho, ao leste pelo Pantanal de Miranda e ao oeste pela fronteira boliviana-paraguaia.

A estação de cheias ocorre entre os meses de março e abril, enquanto os meses de seca ocorrem entre junho e julho. Este padrão climático é consequência das características da área, que é marcada por períodos de inundação que podem se estender por 9 meses a um ano (Lima *et al.*, 2022).

A vegetação predominante é a chaquenha (savana estépica), acompanhada por uma diversidade de formações vegetais, incluindo campos inundados, carandazais, campos secos, paratudais, brejos, chaco, além de áreas menores com pirizais, baceiros, canjiqueirais, matas estacionais e matas de galeria (Lima *et al.*, 2022).

### Obtenção e processamento de dados

Os dados sobre o uso da Terra ao longo dos anos foram obtidos pelo site do Google Earth Engine, pertencente à coleção 8 do MAPBIOMAS. Esta plataforma oferece uma análise histórica do uso da terra no Brasil desde 1985. Os procedimentos metodológicos podem ser consultados em <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia> (Mapbiomas, 2024).



Foram selecionados os seguintes anos para análise: 1985, 2005, e 2022, de acordo com critérios específicos. A seleção do ano anterior, 1985, foi motivada pelo início das operações do projeto MAPBIOMAS, enquanto 2022 representa a última atualização. O ano de 2005 foi escolhido devido à relevância de analisar as alterações na paisagem após uma década de uso da terra. Além disso, 2005 apresentou um aumento significativo nos focos de incêndio devido ao aumento das temperaturas, uma tendência que persistiu até 2020, quando houve um recorde de queimadas no Pantanal (Jesus *et al.*, 2020). Os dados matriciais foram processados no software livre QGIS versão 3.34 *Prizren* em coordenadas planas EPSG: 31981 SIRGAS 2000/ UTM zona 21 S.

#### Análise de dados

Para analisar as mudanças no uso da Terra ao longo dos anos, tratamos os dados matriciais com tratamento estatístico na linguagem R (R Core Team, 2023), utilizando o pacote *Openland* para elaborar o diagrama de Sankey, que permite analisar as alterações e mudanças na paisagem ao longo do tempo (Cuba, 2015).

### Resultados e discussões

Nossos resultados indicam uma significativa alteração no uso da terra na microrregião de Nabileque entre 1985 e 2022. Inicialmente, a região apresentava extensas áreas alagadas 6.487,7823 km<sup>2</sup> que ao longo das décadas foram gradualmente convertidas em vegetação, apresentando uma redução drástica de 158,634 km<sup>2</sup>. Contudo, a análise das imagens revela que houve um aumento expressivo da formação campestre de 1.047,2229 km<sup>2</sup> para 10.500,7266 km<sup>2</sup> entre 1985 e 2022 sugere uma expansão significativa dessa vegetação, enquanto a expansão de áreas de pastagem foi menos significativa com o aumento de 150.9408 km<sup>2</sup> para 539.6139 km<sup>2</sup> de pastagem entre 1985 e 2022. Esse aumento de áreas campestre pode ter potencial para implementar técnicas de SAFs, com intuito de reverter esse problema de seca extrema que está acontecendo na região (Krčmářová; Jeleček, 2017).

A expansão desordenada da agropecuária pode resultar no acúmulo de agroquímicos nos planaltos. Estima-se que até 2050, o uso de pesticidas possa aumentar em 8%, totalizando 4,3 milhões de litros, o que representa uma ameaça adicional à saúde ambiental (Roque *et al.*, 2021). Dessa forma, espera-se que a perda de vegetação nativa nos próximos 30 anos seja de 74% em diversas áreas do planalto e em algumas áreas limítrofes entre o planalto e as terras baixas, aumentando ainda mais a pressão antropogênica sobre o ecossistema (Guerra *et al.*, 2020). Além disso, muitas áreas de vegetação nativa estão sendo convertidas em pastagem, contendo gramíneas africanas invasivas, como a *Urochloa distachya* L. TQ Nguyen, cultivadas nas várzeas (Tomas *et al.*, 2019).



Em contrapartida, a agroecologia pode promover práticas agrícolas que reduzem a dependência desses insumos químicos, valorizam a biodiversidade e integram conhecimentos tradicionais e científicos para manejar os agroecossistemas de forma resiliente (Jeanneret *et al.*, 2021). A adoção de sistemas agroflorestais e o manejo agroecológico do solo podem mitigar a perda de vegetação nativa, regenerar áreas degradadas e controlar a invasão de gramíneas exóticas por meio do fortalecimento de espécies nativas e serviços ecossistêmicos. Além disso, a transição agroecológica também contribui para a soberania alimentar, reduzindo a pressão antropogênica sobre os ecossistemas e promovendo uma relação mais equilibrada entre a produção agrícola e a conservação ambiental (Altieri; Nicholls, 2020).

Outro fator preocupante que afeta o ciclo hidrológico do Pantanal e sua vegetação é a extração mineral, especialmente de manganês, ferro e ouro, em áreas específicas da região. Esse processo de mineração requer grandes quantidades de água e, frequentemente, resulta em poluição severa de córregos, águas subterrâneas, especialmente em áreas próximas aos processos de extração mineral, como as bacias fluviais que atravessam o bioma (Tomas *et al.*, 2019). E essa contaminação pode refletir em processos de gestão que envolva a restauração desses habitats.

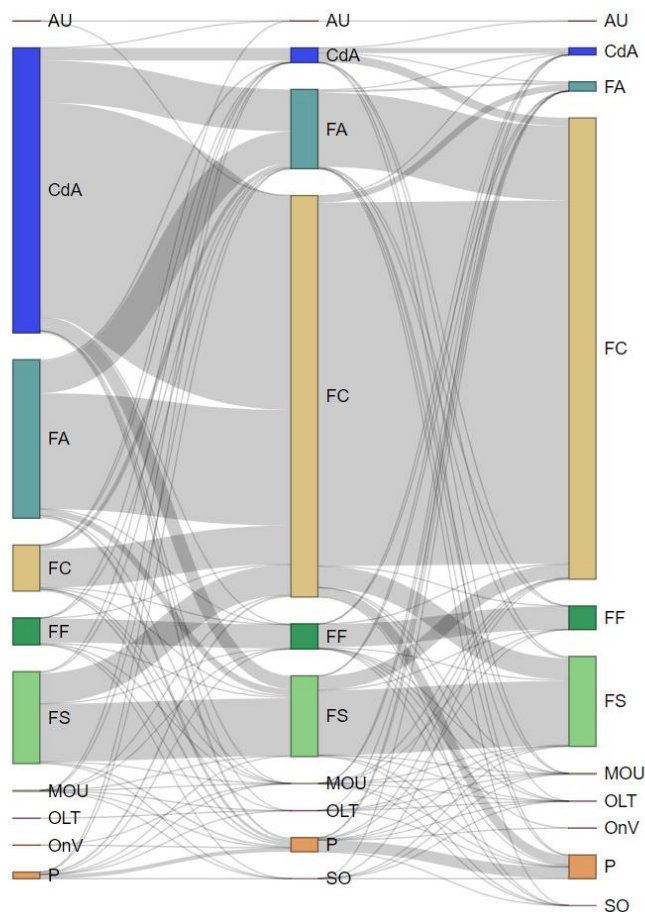
O diagrama de Sankey de 1985 a 2022 para a microrregião de Nabileque, revela que a classe de corpos d'água (CdA) predominava em 1985, representando 46%, e diminuiu drasticamente para apenas 1% em 2022. Essa transformação foi acompanhada por um aumento significativo nas áreas de vegetação, especialmente na Formação Campestre (FC), que, em 1985, representava apenas 7% da área total, mas passou a ocupar 75% da área em 2022. O aumento da FC pode ser explicado por uma combinação de fatores, como a redução das chuvas nas últimas décadas, que afetou a disponibilidade de água para manter grandes áreas alagadas, e o processo de desmatamento e conversão de áreas naturais para atividades agropecuárias, como pastagem. Esses fatores contribuíram para a mudança no uso da terra, favorecendo a expansão da vegetação campestre em detrimento dos corpos d'água, refletindo a transição ecológica observada no bioma Pantanal (Figura 1).

A agroecologia oferece uma abordagem prática para minimizar os efeitos negativos das alterações no uso e cobertura do solo (LULCC) sobre a evapotranspiração, incentivando sistemas produtivos que valorizam a funcionalidade ecológica (D'Acunha *et al.*, 2024). A substituição de vegetação nativa por pastagens em áreas úmidas reduz a transpiração estomática, o que, por sua vez, pode alterar o ciclo hidrológico e agravar problemas como a escassez de água.





Figura 1. Transição das classes de uso da terra entre os anos 1985, 2005 e 2022. Os símbolos indicam formação florestal (FF), Formação savânica (FS), Floresta Alagável (FA) e Formação Campestre (FC), pastagem (P), corpos d'água (CdA), classes mosaico de usos (MOU), soja (SO), outras lavouras temporárias (OLT), as áreas urbanizadas (AU) e áreas não vegetadas (OnV)



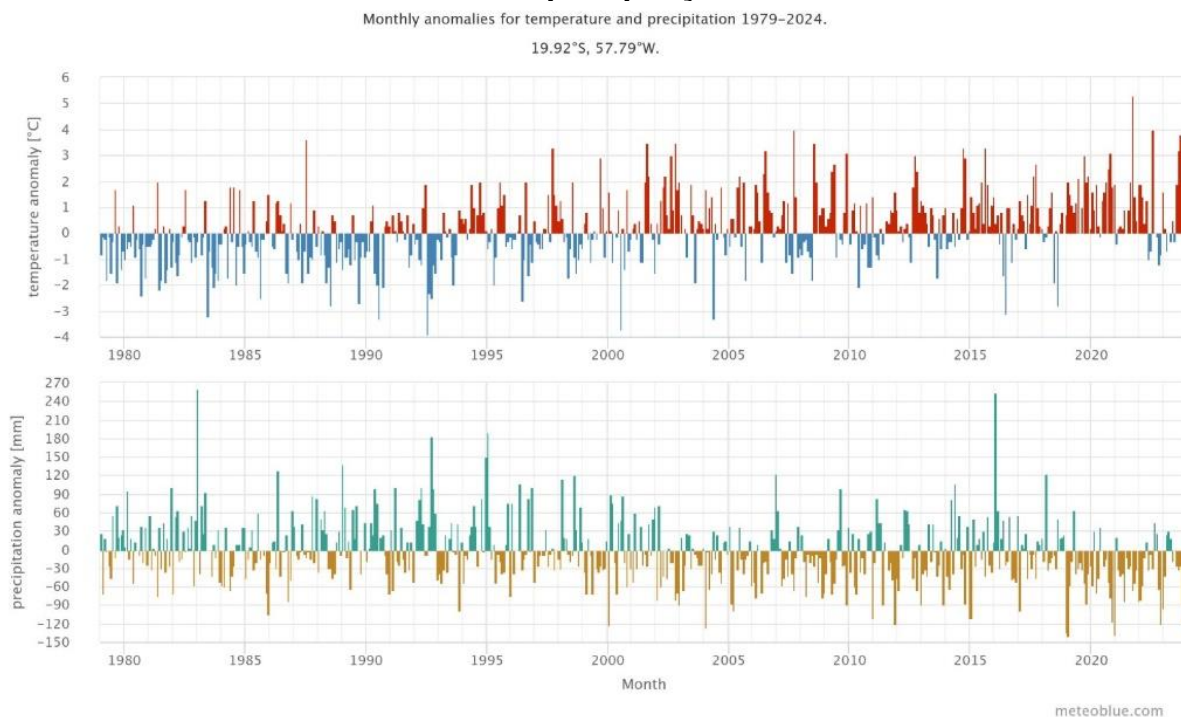
Fonte: Os autores, 2024.

Ao contrário disso, práticas agroecológicas, como o cultivo de policultivos e sistemas agroflorestais, mantêm ou restauram a cobertura vegetal diversificada, aumentando a retenção de água no solo e a transpiração por meio de espécies vegetais adaptadas ao ecossistema local (Wang *et al.*, 2021). Além disso, essas técnicas estimulam o microclima, a infiltração de água e a resiliência do sistema ao estresse hídrico. Ao manter a vegetação nativa e incorporar espécies que complementem a dinâmica hidrológica, a agroecologia não só minimiza os efeitos negativos da LULCC sobre a evapotranspiração, como também aumenta a capacidade adaptativa dos agroecossistemas frente às mudanças climáticas (Svoma *et al.*, 2016).



Na região de Nabileque, houve um aumento de temperatura chegando a atingir 4 °C em média, considerando os anos 1980 a 2020, com um incremento mais evidenciado a partir dos anos 2000, o que pode impedir o sucesso dos sistemas agroflorestais. A precipitação, conseqüentemente, diminuiu, sendo que, entre 1980 e 2000, a precipitação atingiu 260 mm, mas foi reduzindo gradualmente para cerca de 150 mm ao longo dos anos, o que pode comprometer a sobrevivência das espécies, conforme evidenciado na figura 2.

**Figura 2. Anomalias mensais de temperatura e precipitação de 1979 a 2024. Para o gráfico de temperatura vermelho representa temperaturas mais elevadas e o azul representa temperaturas mais baixas. Para o segundo gráfico de precipitação, o verde indica alta precipitação e o amarelo indica baixa precipitação**



Fonte: Os autores, 2024.

Em sistemas agroflorestais, essas condições extremas podem afetar particularmente espécies menos adaptadas à seca, afetando a produtividade agrícola e a regeneração das árvores (Watts *et al.*, 2022). Contudo, esses sistemas também possuem vantagens significativas em relação a esses desafios climáticos. A adição de árvores à agricultura pode aprimorar a retenção de umidade no solo, diminuir a temperatura local por meio do sombreamento e aumentar a resistência das plantas ao estresse hídrico, devido às raízes profundas das árvores que captam água em camadas mais profundas do solo (Altieri; Nicholls, 2020).



A formações campestres, geralmente predomina plantas herbáceas, são moldadas por fatores como clima, organismos vivos (flora e fauna) e condições edáficas (do solo) (Brandenburg; Carroll, 1995). Para o estabelecimento de uma vegetação mais densa, estima-se um período de aproximadamente 18 anos (Gonçalves *et al.*, 2021). Por outro lado, a redução dos cursos d'água e a substituição por uma pré-vegetação acarretam impactos significativos na biodiversidade aquática, como a redução de espécies, além de provocar desequilíbrios nas cadeias tróficas locais (Li *et al.*, 2023).

Neste contexto, a agroecologia oferece soluções para mitigar esses efeitos adversos, promovendo práticas que respeitam as dinâmicas naturais dos ecossistemas. A integração de sistemas agroflorestais e o manejo sustentável do solo podem contribuir para a regeneração e preservação das vegetações nativas, incluindo a vegetação ripária, e garantir a estabilidade dos cursos d'água (Jeanneret *et al.*, 2021). Essas práticas favorecem a manutenção da biodiversidade, a regulação hídrica e o equilíbrio das cadeias tróficas locais, ao mesmo tempo em que viabilizam a produção agrícola de forma sustentável (Wang *et al.*, 2021). Assim, a agroecologia não apenas promove a conservação ambiental, mas também garante a resiliência e a sustentabilidade dos agroecossistemas frente aos desafios ambientais contemporâneos.

Além disso, as alterações climáticas podem ter um impacto significativo nos ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, uma vez que o aumento da temperatura nas águas aumenta a exposição dos organismos à radiação solar visível e ultravioleta excessiva, dado que os ecossistemas aquáticos absorvem cerca de 93% do excesso de calor antropogênico, enquanto a falta de precipitação resulta em habitats terrestres cada vez mais secos, levando à extinção de espécies (Häder; Barnes, 2019).

Entretanto, a cobertura vegetal das árvores em SAFs oferece sombra, reduzindo a exposição direta das plantas agrícolas e do solo à radiação solar excessiva, incluindo os raios UV, o que pode minimizar o estresse térmico e proteger as plantas da desidratação (Rosati *et al.*, 2023). Além disso, a diversidade biológica típica desses sistemas fortalece a resiliência dos ecossistemas terrestres, tornando-os mais capazes de enfrentar secas prolongadas e de conservar a umidade do solo (Escobar-López *et al.*, 2022).

## **Conclusões**

O estudo aponta mudanças significativas no uso da terra na microrregião de Nabileque, com a conversão de corpos d'água em áreas de pastagem e formações campestres, reforçando a necessidade de práticas sustentáveis. Sistemas agroflorestais (SAFs) destacam-se como solução eficaz para mitigar a perda de vegetação nativa, regenerar áreas degradadas e enfrentar secas extremas. Esses sistemas podem manter a umidade do solo, controlam a erosão e aumentam a resiliência ao estresse hídrico, integrando espécies adaptadas ao bioma local. Além





disso, os SAFs preservam a biodiversidade e regulam o ciclo hidrológico, reduzindo impactos negativos das mudanças no uso do solo.

## Referências

ALDWAIK, S. Z.; PONTIUS, R. G. Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. **Landscape and Urban Planning**, [S. l.], v. 106, n. 1, p. 103–114, maio 2012.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Agroecology: challenges and opportunities for farming in the Anthropocene. **International Journal of Agriculture and Natural Resources**, [S. l.], v. 47, n. 3, p. 204–215, dez. 2020.

ASSINE, M. L. *et al.* Avulsive Rivers in the Hydrology of the Pantanal Wetland. *In*: BERGIER, I.; ASSINE, M. L. (org.). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. The Handbook of Environmental Chemistry. Cham: Springer International Publishing, v. 37, p. 83–110, 2015.

AZEVEDO, T. *et al.* Relatório Anual de Desmatamento 2022. [S. l.], p. 125, 2023.  
BRANDENBURG, A. M.; CARROLL, M. S. Your place or mine?: The effect of place creation on environmental values and landscape meanings. **Society & Natural Resources**, [S. l.], v. 8, n. 5, p. 381–398, set. 1995.

CUBA, N. Research note: Sankey diagrams for visualizing land cover dynamics. **Landscape and Urban Planning**, [S. l.], v. 139, p. 163–167, jul. 2015.

D'ACUNHA, B. *et al.* Changes in evapotranspiration, transpiration and evaporation across natural and managed landscapes in the Amazon, Cerrado and Pantanal biomes. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 346, p. 109875, mar. 2024.

ESCOBAR-LÓPEZ, A. *et al.* Identifying Coffee Agroforestry System Types Using Multitemporal Sentinel-2 Data and Auxiliary Information. **Remote Sensing**, [S. l.], v. 14, n. 16, p. 3847, 9 ago. 2022.

GONÇALVES, R. V. S. *et al.* Changes in the Cerrado vegetation structure: insights from more than three decades of ecological succession. **Web Ecology**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 55–64, 30 mar. 2021.

GUERRA, A. *et al.* Drivers and projections of vegetation loss in the Pantanal and surrounding ecosystems. **Land Use Policy**, [S. l.], v. 91, p. 104388, fev. 2020.



HÄDER, D.-P.; BARNES, P. W. Comparing the impacts of climate change on the responses and linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 682, p. 239–246, set. 2019.

JEANNERET, Ph. *et al.* Agroecology landscapes. **Landscape Ecology**, [S. l.], v. 36, n. 8, p. 2235–2257, ago. 2021.

JESUS, J. B. D. *et al.* Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 30, n. 1, p. 176, 6 abr. 2020.

JOVANELLY, K.; SU, C.; ONG, T. W. Managing agroforestry transitions in a rapidly changing climate. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, [S. l.], , p. 1–41, 23 out. 2024.

KANDUS, P. *et al.* Remote sensing of wetlands in South America: status and challenges. **International Journal of Remote Sensing**, [S. l.], v. 39, n. 4, p. 993–1016, 16 fev. 2018.

KRČMÁŘOVÁ, J.; JELEČEK, L. Czech traditional agroforestry: historic accounts and current status. **Agroforestry Systems**, [S. l.], v. 91, n. 6, p. 1087–1100, dez. 2017.

KUMAR, S. *et al.* Changes in land use enhance the sensitivity of tropical ecosystems to fire-climate extremes. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 964, 19 jan. 2022.

LASCO, R. D.; DELFINO, R. J. P.; ESPALDON, M. L. O. Agroforestry systems: helping smallholders adapt to climate risks while mitigating climate change. **WIREs Climate Change**, [S. l.], v. 5, n. 6, p. 825–833, nov. 2014.

LI, X. *et al.* Driving effects of land use and landscape pattern on different spontaneous plant life forms along urban river corridors in a fast-growing city. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 876, p. 162775, jun. 2023.

LIMA, M. C. D. *et al.* Composição da fauna de Hymenoptera associada a macrófitas aquáticas no Pantanal Sul-Matogrossense. **Entomology Beginners**, [S. l.], v. 3, p. e029, 21 nov. 2022.

MAPBIOMAS. **Coleções MapBiomas**. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

PARRON, L. M. *et al.* Research on ecosystem services in Brazil: a systematic review. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 1, 6 maio 2019.



PELLISSARI, T. D. *et al.* Dynamics of major environmental disasters involving fire in the Brazilian Pantanal. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 21669, 7 dez. 2023.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. [S. l.]: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

ROQUE, F. D. O. *et al.* Simulating land use changes, sediment yields, and pesticide use in the Upper Paraguay River Basin: Implications for conservation of the Pantanal wetland. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 314, p. 107405, jul. 2021.

ROSATI, A. *et al.* Agroforestry versus agrivoltaic: spectral composition of transmitted radiation and implications for understory crops. **Agroforestry Systems**, [S. l.], 10 out. 2023.

SANTOS, S. A.; SORIANO, B. M. A.; FILHO, A. C. Cheia e seca no Pantanal: importância do manejo adaptativo das fazendas. [S. l.], v. 20, p. 1–3, 2007.

SCHULER, H. R. *et al.* Ecosystem Services from Ecological Agroforestry in Brazil: A Systematic Map of Scientific Evidence. **Land**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 83, 6 jan. 2022.

SILVA, M. P. D. *et al.* Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Revista Brasileira de Botânica**, [S. l.], v. 23, n. 2, jun. 2000.

STEVAUX, J. C. *et al.* Changing fluvial styles and backwater flooding along the Upper Paraguay River plains in the Brazilian Pantanal wetland. **Geomorphology**, [S. l.], v. 350, p. 106906, fev. 2020.

STRAUBE, F. C. Avifauna do Pantanal de Nabileque (Mato Grosso do Sul, Brasil). [S. l.], 2006.

SVOMA, B. M. *et al.* Evapotranspiration differences between agroforestry and grass buffer systems. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 176, p. 214–221, out. 2016.

TOMAS, W. M. *et al.* Sustainability Agenda for the Pantanal Wetland: Perspectives on a Collaborative Interface for Science, Policy, and Decision-Making. **Tropical Conservation Science**, [S. l.], v. 12, p. 1940082919872634, jan. 2019.

WANG, Z. *et al.* Modeling the coupling processes of evapotranspiration and soil water balance in agroforestry systems. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 250, p. 106839, maio 2021.



WATTS, M. *et al.* Impacts of climate change on tropical agroforestry systems: A systematic review for identifying future research priorities. **Frontiers in Forests and Global Change**, [S. l.], v. 5, p. 880621, 22 ago. 2022.