
O PANTANAL E A PAISAGEM COMO SISTEMA EM TRANSIÇÃO POR MEIO DOS ESTUDOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO USANDO O MODELO GLOBAL SSEBop

Abraão Levi dos Santos **MASCARENHAS**
Geógrafo, doutor em Geografia pela USP
PPGG-Unifesspa
E-mail: abraaolevi@unifesspa.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0546-8836>

Maria Rita **VIDAL**
Geógrafa, doutora em Geografia pela UFC
PPGG-Unifesspa
E-mail: ritavidal@unifesspa.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3392-3624>

Edson Vicente da **SILVA**
Geógrafo, doutor em Geografia pela Unesp, Rio Claro
PPG-UFC
E-mail: cacaueara@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5688-750X>

Vicentina Socorro da **ANUNCIACÃO**
Geógrafa, doutora em Geografia pela Unesp, Pres. Prudente
PPGG-UFPA
E-mail: vicentina.anunciacao@academico.ufpb.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8571-5109>

Maria Helena da Silva **ANDRADE**
Bióloga, doutora em Ecologia pela USP
PPGECI-UFMS
E-mail: helena.andrade@ufms.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7252-4020>

Recebido
Maio de 2026

Aceito
Junho de 2026

Publicado
Junho de 2026

Resumo: Os estudos climáticos na maior região úmida do Brasil são recorrentes desde a segunda metade dos anos 1980, os quais apresentam dados meteorológicos, climáticos e hidrológicos para compreender a dinâmica e regimes das águas no Pantanal. A presente pesquisa objetiva compreender a dinâmica temporal e espacial dos dados de Evapotranspiração, produzidos por Senay *et al.* (2013, 2020, 2023) usando operações simplificadas do balanço de energia de superfície, seu acrônimo em inglês (SSEBop) e, como esta influência no geossistemas em transição denotam a transitoriedade nos padrões úmidos e secos das paisagens Pantaneiras. Os ambientes de transição estão espacialmente distribuídos na direção norte/sul e de Sul/leste variando entre os padrões climatológicos verão/inverno do hemisfério sul, assim os meses de Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF) associados ao verão e, de Junho-Julho-Agosto (JJA) associado ao inverno. Advoga que mudanças nos padrões de Evapotranspiração, causados por alterações no uso e cobertura do solo, interfere significativamente nas atividades agropecuárias, abastecimento público, turismo, navegabilidade e produção de energia sendo necessário a efetivação de políticas públicas que possam auxiliar na convivência com as crises climáticas.

Palavras-Chaves: paisagem; crise climática; áreas úmidas.

THE PANTANAL AND THE LANDSCAPE AS A SYSTEM IN TRANSITION THROUGH EVAPOTRANSPIRATION STUDIES USING THE SSEBop GLOBAL MODEL

Abstract: Since the second half of the 1980s, climate studies have been carried out in Brazil's largest wetland region, based on meteorological, climatic, and hydrological data to understand the dynamics and water regimes in the Pantanal. This research aims to investigate the temporal and spatial dynamics of evapotranspiration data using simplified operations of the surface energy balance (SSEBop), as well as to understand how this influences the geosystem in transition, highlighting the transience of wet and dry patterns in Pantanal landscapes. The transitional environments are spatially distributed in a North/South and South/East direction, varying between the summer/winter climate patterns of the Southern Hemisphere, with the months of December-January-February (DJF) associated with summer and June-July-August (JJA) associated with winter. The study suggests that changes in evapotranspiration patterns, caused by changes in land use and land cover, significantly interfere with agricultural activities, public supply, tourism, navigability, and energy production, thus requiring the implementation of public policies that can help to cope with climate crises.

Keywords: landscape; climate crisis; wetlands.

EL PANTANAL Y EL PAISAJE COMO UN SISTEMA EN TRANSICIÓN A TRAVÉS DE ESTUDIOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN UTILIZANDO EL MODELO GLOBAL SSEBOP

Resumen: Desde la segunda mitad de la década de 1980, se han realizado estudios climáticos en la mayor región de humedales de Brasil, basados en datos meteorológicos, climáticos e

hidrológicos para comprender la dinámica y los regímenes hídricos en el Pantanal. Esta investigación tiene como objetivo investigar la dinámica temporal y espacial de los datos de evapotranspiración utilizando operaciones simplificadas del balance energético superficial (SSEBop), así como comprender cómo esto influye en el geosistema en transición, resaltando la transitoriedad de los patrones húmedos y secos en los paisajes del Pantanal. Los ambientes de transición se distribuyen espacialmente en dirección Norte/Sur y Sur/Este, variando entre los patrones climáticos de verano/invierno del hemisferio sur, con los meses de diciembre-enero-febrero (DJF) asociados al verano y junio-julio-agosto (JJA) asociados al invierno. El estudio sugiere que los cambios en los patrones de evapotranspiración, causados por cambios en el uso y la cobertura del suelo, interfieren significativamente con las actividades agrícolas, el abastecimiento público, el turismo, la navegabilidad y la producción de energía, lo que requiere la implementación de políticas públicas que puedan ayudar a hacer frente a las crisis climáticas.

Palabras clave: paisaje; crisis climática; humedales.

INTRODUÇÃO

A pesquisa destaca que a caracterização da evapotranspiração real (ET_r) em território sul-mato-grossense revelou 234,78 mm ano⁻¹ de excesso de água, 80,8 mm ano⁻¹ de déficit hídrico, e 1.114,8 mm ano⁻¹ de evapotranspiração potencial. Os indicadores, o déficit de água e a evapotranspiração potencial diminuem à medida que a latitude aumenta. Já nos trópicos, a evapotranspiração potencial e a energia solar durante o ano são mais elevadas do que em clima temperado (Camargo; Camargo, 2000).

Autores como Lázaro *et al.* (2020) destacam que as microrregiões do Pantanal apresentaram diferentes padrões nos componentes do balanço hídrico e no índice de umidade. A evapotranspiração real anual (ET_r) de Mato Grosso do Sul foi de 1.116,52 mm (± 62,21 mm). As microrregiões do Baixo Pantanal, localizadas no oeste do estado, apresentaram os maiores valores anuais de ET_p, com o menor excedente hídrico, de 23,15 mm (± 23,61 mm), e o maior déficit hídrico e variação nos resultados, além menor índice hídrico (I_h), com um valor de -11,89 (± 8,43). Os achados mostram-se associados à dinâmica habitual de seca no Pantanal, onde a maior parte do ano registra índices de temperaturas elevadas e pluviometria reduzida, ocorrendo intermitência fluvial.

O estudo traz evidências também relacionadas ao excedente hídrico médio anual na microrregião do Baixo Pantanal, destacando o índice de 23,15 mm (± 23,6 mm), enquanto o déficit hídrico médio anual foi de 293,88 mm (± 144,2 mm), distribuído por toda a sazonalidade no período de fevereiro a dezembro, configurando um enfrentamento superior a nove meses de déficit hídrico.

Enfatiza-se que a microrregião de Porto Murtinho apresentou o maior excedente hídrico, ao passo que Corumbá e Ladário mantiveram igual variação no excedente e no déficit hídrico. Ao apresentar o maior valor de déficit hídrico, os autores a classificam, de acordo com a preconização de Thornthwaite, como subúmida.

A transitoriedade das paisagens pantaneiras está associada às dinâmicas climáticas e às respostas geomorfológicas dos sistemas fluviais às variações dos fluxos hídricos, sem desconsiderar as formas de uso e ocupação do solo. Aspectos de maior representatividade dessas interações estão relacionados ao ecótono entre o Chaco Central e o domínio da vegetação de Cerrado.

O geossistema pantaneiro em transição remete a aspectos frontogênicos ligados às zonas climáticas Equatorial e Tropical, que representam variações em seus sistemas atmosféricos, balanço de radiação solar e velocidades do vento (Tarifa, 1984). Essas trocas entre a superfície da terra e a troposfera funcionam como *input* nas inter-relações clima-geomorfologia-biogeografia do complexo territorial natural do Pantanal.

Em escala de bacias hidrográficas, os estudos de evapotranspiração permitem compreender a dinâmica hidrológica e sua correlação com a saúde da vegetação, auxiliando, consequentemente, no monitoramento das atividades agrícolas, que são altamente dependentes da água (Pompeu, 2025). Utilizando dados climáticos de séries históricas aplicados a um período de 30 anos (1987-2017), correspondente às 79 unidades municipais que compõem o Estado de Mato Grosso do Sul, setorizado em microrregiões, avaliaram-se as alterações climáticas empregando o índice de umidade e de aridez da classificação climática de Thornthwaite.

As paisagens, como geocomplexo integrado, são portadoras de fluxos de radiação, sedimentos e fluxos hídricos. Mesmo que os sistemas socioeconômicos sejam um geossistema antroponatural à parte, os sistemas interagem em um todo sistêmico (Vidal, 2024). As peculiaridades regionais do bioma Pantanal são objeto de mapeamento para fins de delimitação regional desde os primeiros trabalhos de Stefan (1964), seguindo pela proposta de Silva e Abdon (1998), que utilizam critérios de inundação, relevo, solo e vegetação, e pela proposta de classificar o Pantanal por meio de unidades de paisagens, conforme a metodologia desenvolvida por Pereira, Chaves e Silva (2012).

Em seus aspectos climáticos, o complexo Pantanal é influenciado pelos sistemas atmosféricos da América do Sul, contando com regimes pluviométricos do tipo Brasil Central e do

Brasil Meridional (Zavattini, 2009). Nos meses mais quentes (novembro a março), a atuação da Massa Equatorial continental é predominante, enquanto nos meses mais frios (maio a agosto), a Massa Polar Atlântica exerce maior influência (Sant'anna Neto, 1989).

Pulsos climáticos com grandes volumes de precipitações e/ou volumes de chuvas reduzidos, de acordo com Alho e Silva (2012) e Marengo, Oliveira e Alves (2016), tornam-se problemas para os assentamentos humanos e a vida silvestre do Pantanal (severidade e/ou drasticidade). A água é fator ecológico e vetor de transição das paisagens, intimamente relacionadas às teleconexões Atmosfera-Terra-Oceano (An, 2009). Em especial, anomalias detectadas nas temperaturas de superfícies do Oceano Pacífico Tropical em períodos interanuais (Saha *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2019) exercem forte influência na sazonalidade do Pantanal (Garcia; Pedraza, 2008; Novais; Farias, 2021; Silva; Carpenedo, 2021).

Mesmo que mudanças físicas estejam ocorrendo, o geossistema Pantanal em transição pode conservar um aspecto homeostático. Assim, os elementos de radiação e umidade, afetados por ações antropogênicas como o aumento das pastagens/agrossistemas, desflorestamento e expansão da malha urbana (Pompeu, 2025), por enquanto, ainda são capazes de se autorregular e preservar o funcionamento da paisagem – reforçando a ideia de uma tendência à transição. Tais elementos são reforçados atualmente pelas mudanças na circulação atmosférica no Pantanal (Hoffman *et al.*, 2023).

Para a presente seção, pontua-se que considerar o aspecto da transitoriedade de paisagem é, acima de tudo, pensar o geossistema em mutabilidade discreta e contínua (Frolov, 2024a; 2024b). De outro modo, refere-se às constantes variabilidades espacial e temporal sofridas pelo estado dinâmico do geossistema natural, que lhe confere transições em seus atributos geocológicos.

Essas questões não contradizem o que se tem demonstrado sobre a diminuição das precipitações em toda região do Pantanal, mas trazem elementos importantes do ponto de vista da emergência sistêmica. A complexidade ambiental derivada das perturbações humanas sobre os complexos territoriais naturais, sinergias e entropias que autorregulam as dinâmicas sistêmicas, cujas mudanças podem ser negativas ou positivas.

Pelo exposto, a pesquisa objetiva compreender a dinâmica temporal e espacial dos dados de Evapotranspiração, usando operações simplificadas do balanço de energia de superfície, cujo acrônimo em inglês é SSEBop. Entre os diversos modelos para estimar a evapotranspiração, o SSEBop destaca-se por seu balanço operacional simplificado de energia de superfície, mostrando-

se uma opção promissora na obtenção da evapotranspiração a partir do uso de imagens orbitais (Senay, 2020).

Analisar o comportamento dos índices de evapotranspiração no Pantanal na última década (2012-2024) torna-se necessário em vista das mudanças climáticas em curso e da necessidade de a sociedade promover políticas para conviver com as crises climáticas. Tais análises permitem a compreensão atual de como os fatores climáticos em escala regional vêm se comportando e modificando as paisagens no geossistema, tendendo a transições.

METODOLOGIA

A fim de caracterizar o clima dos pantanais, Corrêa Filho (1946) realizou uma descrição do clima por meio dos atributos de temperatura sensível e umidade relativa. Já nos primeiros esforços para compreender o clima da região, naqueles anos, mostrava-se preocupado com a devastação dos Pantanais e com a dificuldade da aquisição dos dados de estações meteorológicas. Em seguida, os estudos modernos de Garcia (1984), para os anos de 1977 a 1981, utilizando a metodologia de balanço hídrico com base no conceito de evapotranspiração, serviram para demonstrar aspectos agroclimáticos baseados em séries históricas na porção norte, central e sul da Bacia do Alto Paraguai.

Ao apontar para os aspectos climatológicos do Pantanal, Tarifa (1984) iniciou um dos estudos mais relevantes na direção de compreender o comportamento do clima por meio dos ritmos climáticos. Sua análise incluiu aspectos sinóticos e físicos dos sistemas de clima sobre o Pantanal. No final dos anos 2000, as contribuições de Zavattini (2009) sobre as massas de ar e a distribuição das precipitações seguiram os aportes da Teoria do clima, associando os tipos de tempo e as massas de ar, o que resultou em uma classificação de base genética do clima que incluiu a área do Pantanal.

A evapotranspiração é a transferência de umidade da superfície terrestre para a atmosfera, entre os principais processos associados a perda de água estão a transpiração das plantas, quantidade de água no solo, pressão de vapor etc. Assim, usando modelo meteorológico baseado em imagens de satélites, especialmente os derivados de sensores termais que são capazes de medir a temperatura do Ar, tais dados são calibrados usando a constante psicométrica dos termômetros de bulbo-seco e bulbo úmido para estimativa de evapotranspiração. Esses aspectos permitem estimativas de evapotranspiração de grandes áreas hidroclimáticas utilizando dados de temperatura máxima, as estimativas geradas em imagens de

sensores termais de superfície, por exemplo, imagens com resoluções de 100 metros podem armazenar até três milhões de medições pelo método SSEBop.

As imagens (raster) com arquivos SSEBop foram baixadas do site <https://earlywarning.usgs.gov/fews/product/460> por meio de arquivos raster, contendo dados de evapotranspiração real (ET_r) em milímetros (mm) mensais, com resolução de 1km (Senay *et al.*, 2023; 2020; 2022; 2008; 2013). Para cada conjunto de três imagens foi realizado uma média para representar as estações do verão, da mesma maneira foi realizada as médias para a estação de inverno. Foi utilizada a plataforma Qgis 3.34, ferramenta calculadora Raster, para obtenção das médias mensais de evapotranspiração para todo o bioma Pantanal, foram selecionadas as imagens contendo dados de evapotranspiração dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro empregando um total de 79 arquivos rasters, assim foi possível gerar um conjunto de 24 mapas de Evapotranspiração conforme o quadro 1.

O critério de análise baseou-se nas estações do ano de Verão (700 – 1600 mm), com os meses selecionados sendo dezembro, janeiro e fevereiro (DJF), e nos meses de junho, julho e agosto (JJA), referentes à estação de inverno (0 – 100 mm). Essas seleções correspondem às análises climatológicas e meteorológicas realizadas por Marengo *et al.* (2021), Marengo, Oliveira e Alves (2016), Assine *et al.* (2016), Leivas *et al.* (2014), Zavattini (2009), Tarifa (1984) e Correa Filho (1946).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido aos seus atributos de zona de transição característicos ocorrem no Pantanal territorializações de diversas idiossincrasias. A atividade econômica tradicional da região, a pecuária, combina elementos tradicionais e contemporâneos como técnica de manejo extensivo do gado de corte. A incorporação do meio técnico, científico e informacional visa ao aumento da produtividade e renda, caracterizando a atuação da alta tecnologia e da fazenda-empresa. Somam-se a matriz econômica, a mineração, o turismo ecológico, o etnoturismo, a pesca, uma pequena produção familiar, o avanço desenfreado do cultivo de soja, milho, cana-de-açúcar e a silvicultura do eucalipto, além da presença da hidrovia e de empreendimentos hidrelétricos.

As características físicas e ambientais do bioma, inerentes à inserção na Bacia do Alto Paraguai (BAP), que o constitui como uma planície sedimentar composta por três compartimentos

integrados (Planaltos, Depressões e o Pantanal), configuram-no como um ambiente atravessado por dinâmicas intermitentes, solos arenosos, campos inundáveis, ambientes aquáticos.

Trata-se de um ecossistema vulnerável, associado a territorialização das forças produtivas socioespaciais e ambientais que promovem uma ruptura social com a dinâmica natural do domínio morfoclimático, desvelando fatores que contribuem para o desencadeamento e potencializam a emergência climática. A água, como fator ecológico, dinamiza aspectos florísticos e faunísticos, enquanto os aspectos climáticos exercem ampla influência na sazonalidade dos pantanais. Assim, a água, a vida e sociedade estão em constante transição e interações.

Aspectos fisiográficos do tipo área úmida, entremeados por rios – em especial, os rios Bento Gomes e Cuiabá ao norte, o rio Taquari na parte central e os rios Miranda, Aquidauana e Nabileque na parte sul – dinamizam o bioma pantaneiro. A formação de uma megaplanície fluvial é de responsabilidade do rio Paraguai. Esse sistema fluvial, de acordo com Assine (2015) e Boin *et al.* (2019), é responsável pela distribuição e deposição de sedimentos ao longo da bacia sedimentar do Pantanal.

Inconstâncias nos índices de umidade no bioma Pantanal têm sido registradas e observadas ao longo das décadas por vários pesquisadores. Os indicadores revelam que a sazonalidade típica da região, com chuvas concentradas entre outubro e março, ainda persiste, porém, já apresenta alterações importantes, como intercorrências no aumento ou redução dos volumes, nos índices de umidade e evapotranspiração. Sant'Anna Neto (2021) enfatiza que o clima, embora seja um fenômeno natural resultante de processos físicos e químicos, também é moldado por interações sociais, econômicas e políticas.

Nesse sentido, alvitra-se que transformações no uso e ocupação das terras em larga escala no bioma Pantanal têm convergido em emergência climática, com fortes repercussões nos índices de precipitação, umidade relativa, afetando a evapotranspiração e o balanço hídrico, potencializando as ameaças associadas (Pompeu, 2025).

A emergência climática tem apresentado repercussões significativas manifestadas nos componentes do balanço hídrico, em especial no déficit hídrico e na evapotranspiração no Pantanal, uma vez que são controlados pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. Tomasella (2023) enfatiza o aumento significativo da demanda atmosférica por água, o que tem levado muitas áreas no país, incluindo o Pantanal, a uma condição de maior seca.

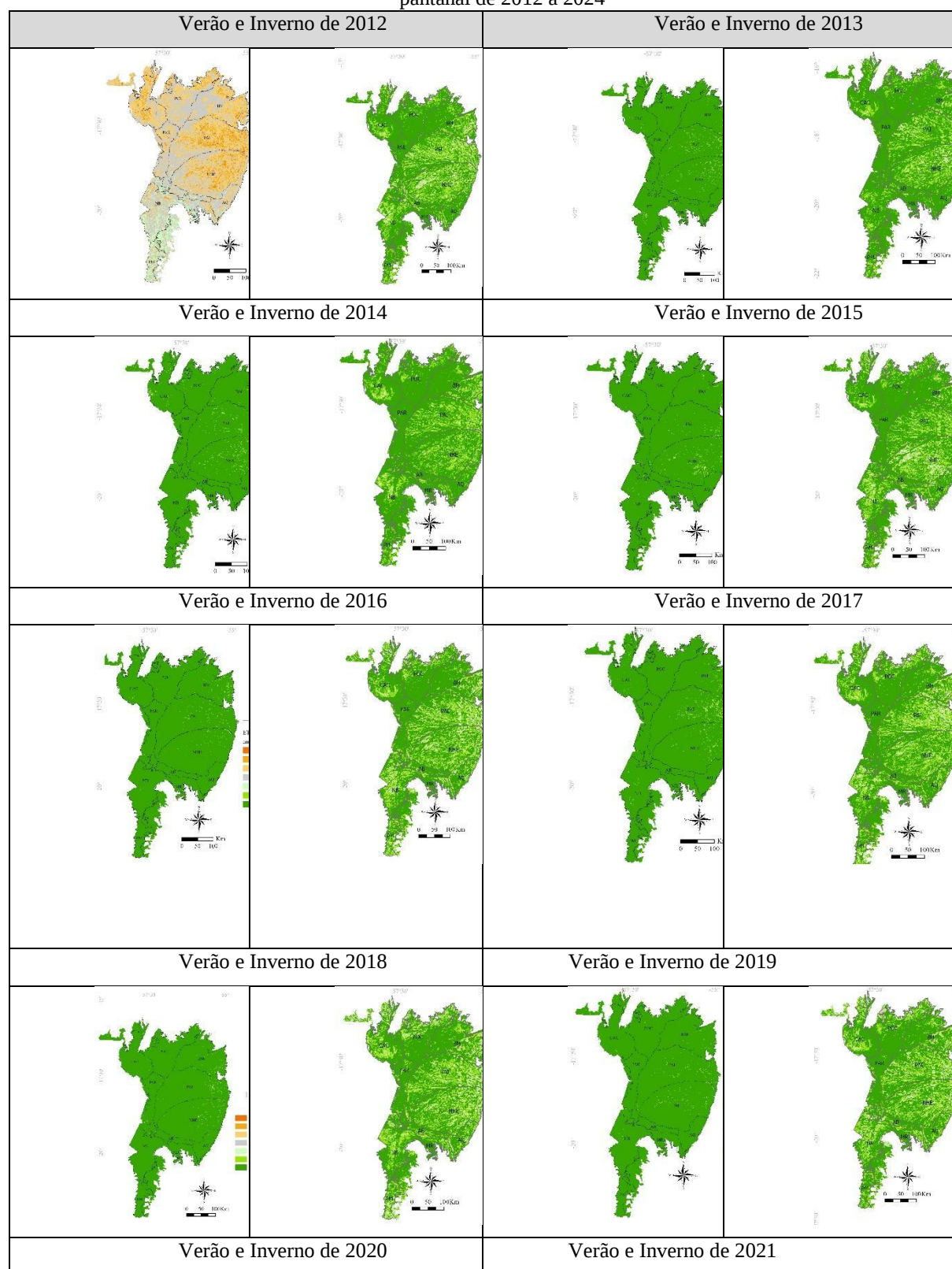
Os dados de ETr têm demonstrado que o escoamento superficial é altamente influenciado pelos efeitos geomórficos (Assine *et al.*, 2015), pedológicos (Couto *et al.*, 2023) e das massas de ar atuantes (Tarifa, 1984), conforme o Quadro 1. A distribuição da evapotranspiração para os últimos anos varia sazonalmente entre as estações de Verão (DJF), caracterizada como período úmido, e a estação de Inverno (JJA), que vem se caracterizando a cada ano como estação mais seca – aqui uma questão interessante para a bacia é que a dinâmica hidrodinâmica torna-se dependente dos fatores da evapotranspiração para a ciclagem dos recursos hídricos.

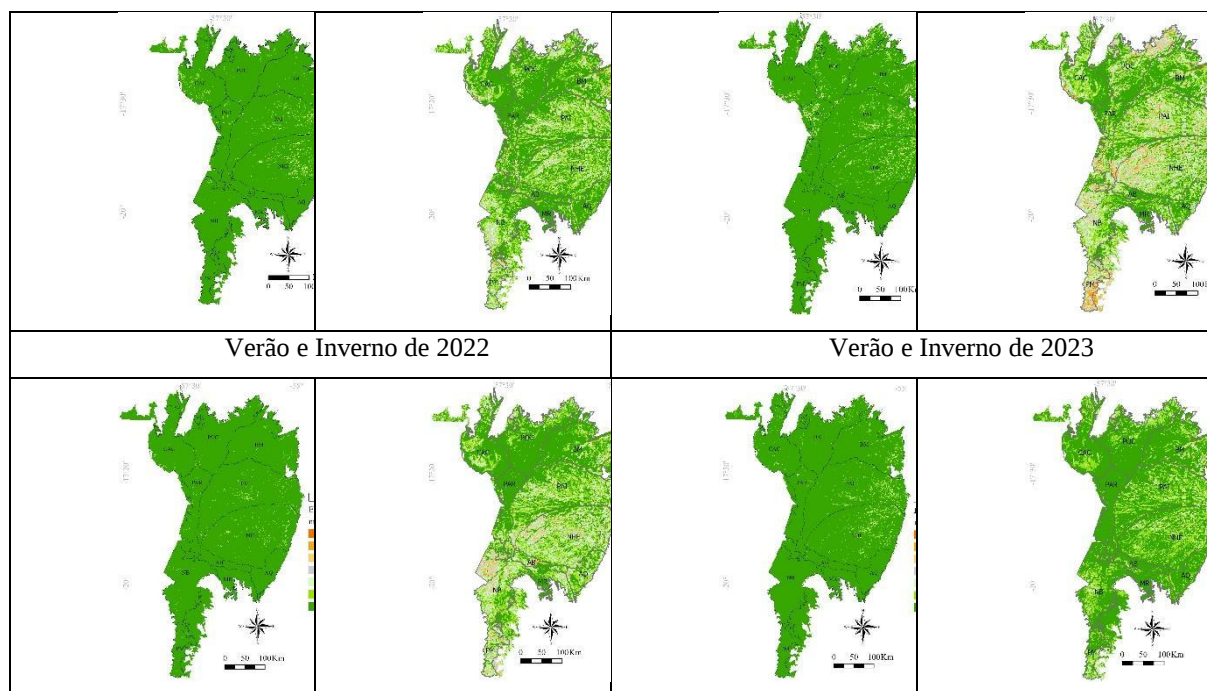
A falta de dados completos para o verão de 2012 não nos permite análises substanciais desse ano, já que nos bancos de dados não há dados anteriores. Talvez por isso as menores taxas de evapotranspiração sejam tão proeminentes. Apresentar tais dados, contudo, permite ter um ponto de partida para a região, embora uma descrição mais assertiva para o ano de 2012 não seja possível.

O ano de 2019 é caracterizado como um marco nas variabilidades climáticas por apresentar as mudanças mais significativas nos baixos valores de balanço de energia, ou seja, evapotranspiração abaixo de 50mm/mês, não ultrapassando valores de 90mm/mês. Assim, a dinâmica de evapotranspiração tem afetado a disponibilidade de água nos diversos pantanais, sendo as primeiras atividades afetadas a geração de energia e as atividades turísticas. Esse comportamento é repetido no ano de 2022, e esses dados corroboram os já observados por Cunha, Buermann e Marengo (2019) para longas séries temporais associadas a eventos climáticos, em especial para as ocorrências de secas e temperaturas extremas.

Os anos de 2019, 2021 e 2022 vêm revelando estações mais secas, com médias de ETr menores que 100 mm, em especial nos anos de 2021 e 2022, com médias menores que 50 mm/mês, o que denota a influência dos anos de El Niño. Os pantanais de Paiaguás, Porto Moutinho, Nhecolândia e Nabileque foram os que apresentaram menores taxas de evapotranspiração. Esse comportamento corrobora os estudos de Moreira *et al.* (2019) para as estações secas, os quais confirmam que na região norte dos pantanais as taxas de evapotranspiração apresentam maiores variações.

Quadro 1 – Mapas de distribuição espacial e temporal dos índices de evapotranspiração nas regiões do pantanal de 2012 a 2024





Fonte: SSEBOP 2012-2024. Org.: Autores (2025).

As estações de verões têm mantido evapotranspiração acima de 130 mm/mês, e mesmo em anos de El Niño, as taxas de umidades têm oferecido condições ecológicas aos geossistemas. A transição entre umidade e seca revela pulsos climáticos preocupantes, em especial as médias de temperaturas e precipitações, sobre as quais Leivas *et al.* (2014) já haviam alertado. Com exceção dos anos de 2020, 2021 e 2023, esses valores estavam abaixo dos 130mm/mês; os demais anos têm seguido os padrões climáticos regionais.

Os pulsos climáticos no verão de 2017 já apresentavam a tendência de um maior ressecamento na região de Piauí, o que se confirmou nos anos de 2020, 2021 e 2023. Estudos associados à conversão de áreas naturais para pastagens e/ou queimadas podem ajudar a explicar como a região, predominantemente de vegetação savânica, vem modificando os atributos do clima. Estudos de Ikeda-Castrillon (2022) demonstraram os índices de devastação ambientais para os pantanais.

Diante de tais problemáticas, pode-se pensar em aspectos que afetam diretamente os geossistemas pantaneiros: a) o microclima e a questão da hidrodinâmica, bem como seus atributos do clima, exercem influência significativa no aporte de águas nos aquíferos e, consequentemente, em toda a vida aquática; b) na gestão dos recursos hídricos e na segurança das águas para uma efetiva gestão ambiental, manejo e controle de hidrovias e geração de energia, bem como na

transparência nos processos de outorgas de água; c) outro problema relaciona-se à aquicultura e à pesca, já que o Pantanal é conhecido como uma região turística e produtora de pescado. Compreender que há um frágil equilíbrio na demanda de oferta de água, comandada pelo balanço de energia, é de fundamental importância geoecológica. Para além disso, o alto número de licenciamentos para instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) nas áreas de cabeceira dos rios que formam o Pantanal, na região e MT e leste de MS, pode colocar em risco o volume de água que, naturalmente, garante o pulso de inundação (Wantzen *et al.*, 2024).

Com o advento da instalação da hidrovía Paraguai-Paraná no trecho médio do rio Paraguai (região de Corumbá a jusante desta cidade), corre-se o risco de que a dragagem em pontos que devem permitir navegabilidade o ano inteiro possa refletir, num futuro breve, alterações dessas imensas “sístoles e diástoles”, dinâmica de cheia e de seca que garante a existência do complexo Pantanal (Wantzen *et al.*, 2024). Soma-se a isso o aumento exponencial de licenciamentos de pequenas centrais hidrelétricas (Zanatta; Marciel, 2021).

Os dados globais de evapotranspiração têm demonstrado ser de grande proveito para a análise da dinâmica climática e sua estreita relação com fatores ecológicos e geográficos dos Pantanaís. O estudo revelou elementos do clima em conjunto com elementos meteorológicos mais gerais; a radiação e o balanço de energia e água são, sem dúvida, um vetor de agregação e diferenciação dos rios pantaneiros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As variabilidades climáticas na última década, apresentadas nesta seção, podem ser apreendidas pelas taxas de evapotranspiração encontradas nos dados do SSEBop. O ressecamento de grandes áreas do Pantanal tem sido uma constante preocupação; os baixos e/ou elevados valores de evapotranspiração são extremos que afetam as atividades humanas e a ecologia da região. Contudo, uma mudança na forma de governança ambiental é necessária para a proteção dessa importante área úmida.

O balanço de energia de superfície, disponibilizado pelos bancos de dados do SSEBop, apresenta grande potencial explicativo e demonstrou ser capaz de diminuir a escassez de dados observacionais para áreas como os Pantanaís de Abobral, Miranda e Porto Murtinho, na região sul do Pantanal. Os valores entre 0 e 100 mm a 700 – 1600 mm são limiares de uma grande depressão

úmida e alagada que sofrem influência diretas das teleconexões (El Niño e La Niña) e de massas de ar. Somado a isso, o conjunto de aspectos de uso e ocupação do solo e dinâmicas geográficas vêm sendo fortemente alterados. A hidrodinâmica dos Pantanaís reveste-se de uma transitoriedade intrarregional. Os dados apresentados no Quadro 1 revelam que, na porção norte pantaneira, há boa oferta de recursos hídricos, enquanto no sul há uma inversão do quantitativo hídrico; mesmo os complexos ambientes fluviais sofrem com os extremos climáticos (valões de evapotranspiração abaixo de 50mm/mês). Os dados apontam uma tendência dos pantanaís a se comportarem com estações secas por mais anos, enquanto as estações úmidas terão menos ocorrências.

Os próximos passos da pesquisa serão a análise das estações de primavera e outono, uma vez que elas podem revelar novas transitoriedades intrarregionais. A utilização de dados de estações secas e úmidas auxilia na definição de que, mesmo a espacialização temporal dos dados de evapotranspiração, pôde revelar pulsos climáticos influenciados pelos fatores de teleconexões (El Niño/La Niña), sem que haja um padrão interanual, onde o aporte de águas e os valores de precipitação estão sendo afetados tanto em quantidade quanto em qualidade.

REFERÊNCIAS

- ALHO, C. J. R.; SILVA, J. S. V. Effects of Severe Floods and Droughts on Wildlife of the Pantanal Wetland (Brazil): a review. **Journal Animals**, n.2, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani2040591>
- AN, S. A review of interdecadal changes in the nonlinearity of the El Niño-Southern Oscillation. **Journal Theoretical and Applied Climatology**. Springer. v. 97, p. 29-40, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0071-z>
- ASSINE, M. L. Brazilian Pantanal: A Large Pristine Tropical Wetland. In: VIERA, B. C.; SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C. **Landscapes and Landforms of Brazil**. Springer. 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-8023-0_12
- ASSINE, M. L. et al. Geology and Geomorphology of the Pantanal Basin. In: I. Bergier and M.L. Assine (eds.). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**, Hdb Env Chem, DOI: 10.1007/698_2015_349, Springer International Publishing Switzerland 2015.
- ASSINE, M. L. et al. Avulsive Rivers in the Hydrology of the Pantanal Wetland. In: Ivan Bergier e Mario Luis Assine (edts). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. The Handbook of Environmental Chemistry, Series Editors: Damià Barceló · Andrey G. Kostianoy, v. 37, 2016.

BOIN, M. N.; et al. Pantanal: The Brazilian Wetlands.. *In*: SALGADO, André A. R.; SANTOS, Leonardo J. C.; PAISANI, Julio C (ed.). **The Physical Geography of Brazil: environment, vegetation and Landscape**. springer, 2019.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M.B.P. An analytic revision of the potential evapotranspiration. **Bragantia** n. 59, v. 2, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052000000200002>

CORRÊA FILHO, V. **Pantanais Matogrossenses**: devassamento e ocupação. Série A, n.3, IBGE, Rio de Janeiro, 1946.

COUTO, E. G. et al. Soils of Pantanal: The Largest Continental Wetland. *In* Schaefer, C.E.G.R. (eds) **The Soils of Brazil, World Soils, Book Series**. Springer, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-19949-3_9

CUNHA, A. P. M. A; BUERMANN, W.; MARENGO, J. A. Changes in compound drought-heat events over Brazil's Pantanal wetland: an assessment using remote sensing data and multiple drought indicators. **Journal Climate Dynamics**, n.62, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06937-x>

FROLOV, A. A. Landscape Changeability in Light of the Theory of Geosystems. **Geogr. Nat. Resource**, n.45, 2024a. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1875372824700239>

FROLOV, A. A. Modeling the Spatiotemporal Variability of Geosystems. **Geogr. Nat. Resource**, n.45, 2024b. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1875372824700689>

GARCIA, E.A. C. **O clima no Pantanal mato-grossense**. Circular Técnica, n.14, EMBRAPA/UEPAE de Corumbá-MS, 1984.

GARCÍA, N. O.; PEDRAZA, R. A. Daily Rainfall Variability over Northeastern Argentina in the La Plata River Basin. **Trends and Directions in Climate Research**: Ann. N.Y. Acad. Sci. 1146, New York, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1196/annals.1446.011>

HOFMANN, G.S. et al. Changes in atmospheric circulation and evapotranspiration are reducing rainfall in the Brazilian Cerrado. **Sci Rep**. n.13, 11236, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38174-x>

IKEDA-CASTRILLON, S. K. et al. The Pantanal: **A Seasonal Neotropical Wetland Under Threat**. The Palgrave Handbook of Global Sustainability, Springer International Publishing, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-38948-2_36-1

LÁZARO, W. L.; et al. Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the northern Pantanal water regime. **Rev. Acta Limnologia Brasiliensia**, v. 32, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X7619>

LEIVAS, J.F. et al. Evapotranspiração no Pantanal utilizando modelo agrometeorológico-espectral SAFER, *In*: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 5., 2014. Campo Grande, **Anais [...]**. Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2014, p. 92-99.

MARENGO, Jose A.; OLIVEIRA, Gilvan S.; ALVES, Lincoln M. Climate Change Scenarios in the Pantanal. In BERGIER, Ivan; ASSINE, Mario Luis (ed.). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/698_2015_357

MARENGO, Jose A. et al. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts, **Journal Frontiers in Water**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.639204>

MOREIRA, A.A. et al. Water balance based on remote sensing data in pantanal. **Rev. Ra'eGa**, Curitiba, v. 46, n.3, p. 20 - 32, 2019. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v46i3.67096>

NOVAES, G. T.; FARIAS, S.E. M. Caracterização climática do cerrado. In Diego Tarley Ferreira Nascimento *et al.* (org.). **Climatologia do Cerrado**: variabilidades, suscetibilidades e mudanças climáticas no contexto do Cerrado brasileiro, Goiânia: C&A Alfa Comunicação, 2021.

PEREIRA, G.; CHÁVEZ, E.S.; SILVA, M. E. S. O estudo das unidades de paisagem do bioma Pantanal. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 7, n.1, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.826>

POMPEU, J. Cross-Boundary Drivers of Water Cover Reduction in the Pantanal Wetland and Implications for its Conservation. **Journal Wetlands**, n. 45, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13157-025-01916-w>

SAHA, J.; PRICE, C. G.; PLOTNIK, T.; GUHA, A. Impact of the El Niño–Southern Oscillation on upper-tropospheric water vapor. **Atmospheric Research**, v.280, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106422>

SANT'ANNA NETO, J. L. Algumas considerações sobre a dinâmica climática da porção sudeste do Pantanal mato-grossense. **Boletim Paulista De Geografia**, n.67, 1989. Recuperado de Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/949>

SANT'ANNA NETO, J. L. **Clima, Sociedade e Território**. São Paulo: Paco Editorial, 2021. v.88.

SENAY, G. B, et al. Improving the Operational Simplified Surface Energy Balance Evapotranspiration Model Using the Forcing and Normalizing Operation. **Remote Sensing**, n.15, v.1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15010260>

SENAY, G. B. et al. Mapping actual evapotranspiration using Landsat for the conterminous United States: Google Earth Engine implementation and assessment of the SSEBop model. **Remote Sensing of Environment**, n.275, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113011>

SENAY, G. B.; KAGONE, S.; VELPURI, N. M. Operational Global Actual Evapotranspiration using the SSEBop model, Data Release, **Earth Resources Observation and Science (EROS) Center**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5066/P9OUVUUI>

SENAY, G. B. Modeling landscape evapotranspiration by integrating land surface phenology 979 and a water balance algorithm. **Algorithms**, v.1, n.2 2008. DOI: <https://doi.org/10.3390/a1020052>

SENAY, G. B.; et al. Operational evapotranspiration mapping using remote sensing and weather datasets: a new parameterization for the SSEB approach. **Journal of the American Water Resources Association**, American Water Resources Association, v. 49, n.3, 2013. <http://dx.doi.org/10.1111/jawr.12057>

SILVA, C. B.; CARPENEDO, C.B. Teleconexões no Cerrado brasileiro. In: Diego Tarley Ferreira Nascimento *et al.* (org.). **Climatologia do Cerrado**: variabilidades, suscetibilidades e mudanças climáticas no contexto do Cerrado brasileiro, [recurso eletrônico], Goiânia, C&A Alfa Comunicação, 2021.

STEFAN, É. R. O Pantanal mato-grossense. **Rev. Bras. de Geografia**, IBGE, 1964.

TARIFA, J. R. O sistema climático do Pantanal: da compreensão do sistema à definição de prioridades de pesquisa climatológica. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SOCIOECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1984, Corumbá. **Anais** [...]. Brasília, DF: EMBRAPA-DDT, 1986. p. 65-72.

TOMASELLA, J. *et al.* Elaboração dos mapas de índice de aridez e precipitação total acumulada para o Brasil. **Nota técnica do Cemaden e INPE**. 2023

ZANATTA, S. C. S.; MARCIEL. J.C. Pantanal ameaçado: a construção de represas e a insignificância da energia hídrica produzida. **INTERAÇÕES**, Campo Grande, MS, v. 22, n.2, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v22i2.2811>

ZAVATTINI, J.A. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul**: estudo geográfico com vista à regionalização climática. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. ISBN: 978-85-7983-002-0

WANG, B. et al. Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño. **PNAS**, v. 116, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.191113011>

WANTZEN, K. M. et al. The end of an entire biome? World's largest wetland, the Pantanal, is menaced by the Hidrovia project which is uncertain to sustainably support large-scale navigation. **Journal Science of The Total Environment**, v. 908, 2024, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167751>.

VIDAL, M. R. O que é geoecologia das paisagens? **Revista Equador**, UFPI, Teresina, v. 13, n. 2, Edição Especial, p. 26-45 2024, DOI: <https://doi.org/10.26694/equador.v13i2.14683>

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que financia o desenvolvimento do Projeto de Pesquisa “Riscos Hídricos e os Cenários Materializados Face as Mudanças Globais no Espaço Geográfico do Pantanal de Mato Grosso do Sul, Brasil”.