

FERRAMENTA BRASILEIRA DE SIMULAÇÃO ECOHIDROLÓGICA – BEST: BALANÇO HÍDRICO INICIAL PARA UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO PANTANAL

LAURA SCHWARTZ LEITE¹; TUANA PEDRA VARGAS²; DANIELLE
BRESSIANI³

¹ Universidade Federal de Pelotas – lauraschwartzleite@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas - tuanapedra@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – danielbressiani@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O Pantanal, localizado na Região Hidrográfica do Paraguai e distribuído entre Brasil, Bolívia e Paraguai, é considerado a maior planície inundável do mundo (CABALLERO *et al.*, 2025; DE SOUSA *et al.*, 2025). Desempenha papel estratégico na conservação da biodiversidade e na regulação dos recursos hídricos, funcionando como um grande reservatório natural de água e sustentando habitats de alta relevância ecológica (Ferreira *et al.*, 2024; Galvanin; Caldas, 2025). Em função dessa relevância, foi declarado pela UNESCO Patrimônio Natural da Humanidade e Reserva da Biosfera.

Apesar de sua importância, o bioma enfrenta pressões crescentes decorrentes da expansão agropecuária, da substituição da vegetação nativa e do avanço de espécies exóticas (CABALLERO *et al.*, 2025; COLMAN *et al.*, 2019). Essas alterações, sobretudo nas áreas de planalto que alimentam hidrologicamente a planície, intensificam processos erosivos, modificam o escoamento superficial e favorecem a ocorrência de eventos extremos, como secas prolongadas e incêndios de grande magnitude, com severos impactos ecológicos e socioeconômicos (DE SOUSA *et al.*, 2025; GALVANIN; CALDAS, 2025).

Compreender os efeitos das mudanças antrópicas e climáticas sobre o ciclo hidrológico é essencial para a conservação do Pantanal, cuja dinâmica depende fortemente de sua conectividade hidrológica (WEI *et al.*, 2023). Entretanto, lacunas de dados e a complexidade da hidrodinâmica típica das planícies inundáveis dificultam tal compreensão (CABALLERO *et al.*, 2025; DE SOUSA *et al.*, 2025). Nesse sentido, a modelagem hidrológica se apresenta como ferramenta fundamental para estimar o balanço hídrico, avaliar impactos potenciais e subsidiar estratégias de manejo sustentável (ALMEIDA; SERRA, 2017; HEINICKE *et al.*, 2024; SADIQI *et al.*, 2024; TUCCI, 2005). Entre os modelos mais utilizados, destaca-se o Soil and Water Assessment Tool (SWAT), que permite simular processos hidrológicos e de qualidade da água em diferentes condições de uso da terra e clima, embora apresente limitações em áreas com baixa densidade de monitoramento ou condições hidrodinâmicas complexas (BRESSIANI *et al.*, 2015; CAMPOS *et al.*, 2024).

Para superar parte dessas restrições, foi desenvolvido o Brazilian Ecohydrological Simulation Tool (BEST), uma plataforma web colaborativa que simplifica o uso do SWAT ao disponibilizar dados globais pré-processados e interface online acessível, reduzindo barreiras e ampliando o acesso a usuários menos experientes (BRESSIANI *et al.*, 2023). Inspirado em sistemas como o Hydrologic and Water Quality System (HAWQS), amplamente utilizado nos Estados Unidos pela Environmental Protection Agency (EPA) e pelo Departamento de Agricultura (USDA) como suporte à gestão de recursos hídricos (HAWQS, 2023), e no Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPer), o BEST está sendo desenvolvido para aplicação no contexto brasileiro (BRESSIANI *et al.*, 2023).

Assim, este estudo apresenta a aplicação inicial do BEST na bacia hidrográfica do rio Miranda, localizada na Região Hidrográfica do Paraguai e

inserida no bioma Pantanal, como etapa piloto para iniciar a análise das simulações hidrológicas e, progressivamente, expandir sua aplicação para toda a Bacia do Paraguai.

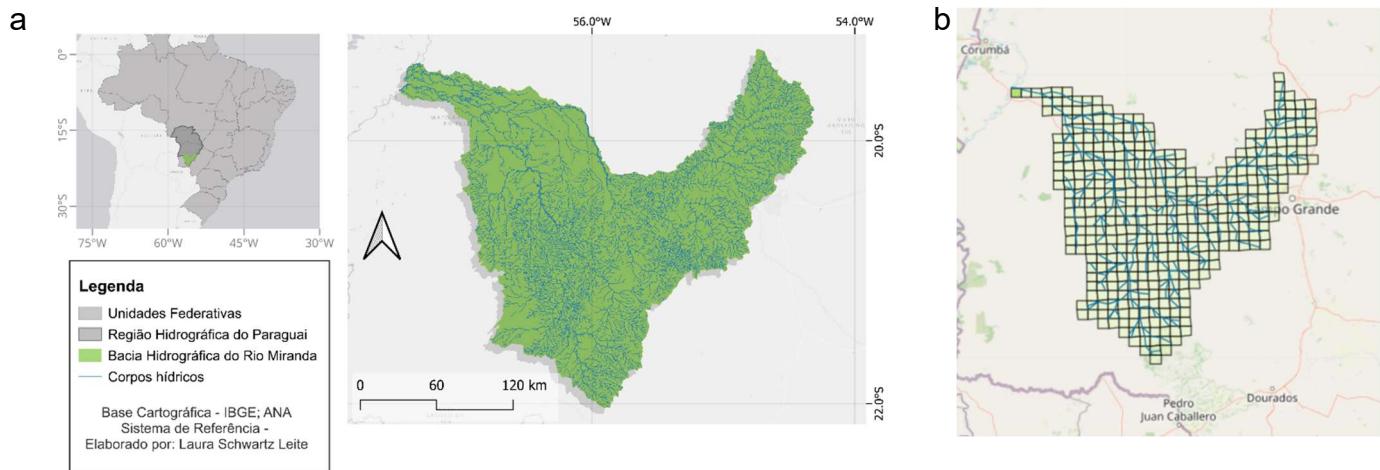
2. METODOLOGIA

O BEST conta com uma base de dados de entrada globais pré-processados, eliminando etapas complexas de configuração e preparação típicas das aplicações convencionais do modelo SWAT. No modelo inicial, as informações sobre modelo digital de elevação, uso e cobertura da terra, tipos de solos e suas propriedades físicas, foram obtidas a partir do banco de dados global de alta resolução desenvolvido por ABBASPOUR et al. (2019), já formatados como entradas para o SWAT.

Os dados de precipitação são provenientes do conjunto CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data), enquanto as informações de temperatura são fornecidas pelo CHIRTS (Climate Hazards Center InfraRed Temperature with Station Data). As simulações são executadas em uma grade regular, na qual cada célula, com resolução de 10 km × 10 km, permite representar os processos hidrológicos de forma espacialmente distribuída (SWAT, 2023).

A aplicação foi conduzida na bacia do rio Miranda, com área de aproximadamente 42.700 km², localizada na Região Hidrográfica do Paraguai e inserida no bioma Pantanal (Figura 1a). A escolha dessa bacia se deve ao fato de ser uma área relativamente pequena, capaz de representar adequadamente as características do bioma, possibilitando iniciar os trabalhos no Pantanal de maneira progressiva, além de dispor de dados de monitoramento hidrológico da ANA para realização de comparações. Nesta etapa, foram realizadas simulações iniciais, de caráter exploratório, utilizando exclusivamente os dados pré-processados da plataforma. Esses experimentos marcam o ponto de partida para a aplicação do BEST, permitindo avaliar as respostas hidrológicas simuladas e, gradualmente, expandir sua aplicação para áreas mais extensas.

Figura 1 - a) Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Miranda; b) Delimitação e discretização da bacia no BEST



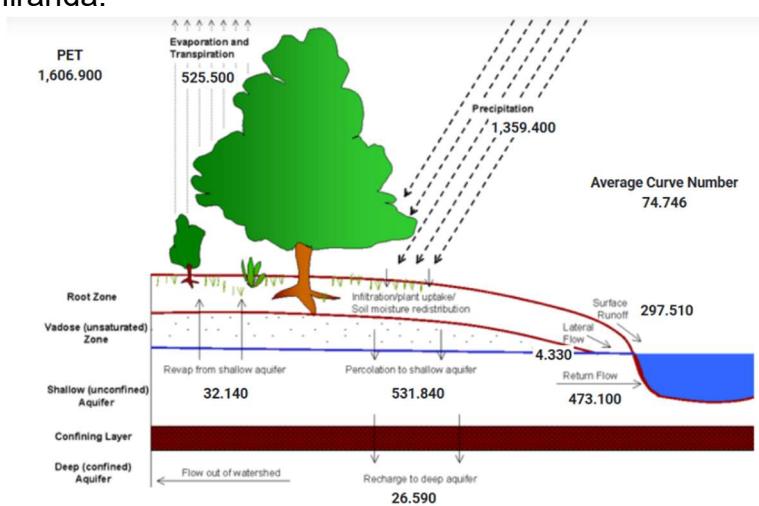
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do rio Miranda foi discretizada pelo BEST em 427 sub-bacias. A partir da sobreposição dos mapas de uso e cobertura da terra, tipos de solo e classes de declividade, foram definidas as Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs), que representam áreas homogêneas quanto a esses atributos. Esse processo resultou em 2561 HRUs, derivadas da combinação de 8 classes de uso e cobertura, 8 tipos de solo e 3 classes de declividade (Figura 1b). A Figura 2

apresenta a média das principais variáveis hidrológicas simuladas para o período de 1991 a 2020, considerando-se um período de aquecimento de 5 anos.

O modelo estimou precipitação média anual de 1359 mm, valor próximo à média climatológica da região (~1.400 mm/ano), com variação interanual entre 800 e 1.600 mm e picos de até 2.000 mm em anos excepcionalmente chuvosos (APARECIDO *et al.*, 2020; MARENKO *et al.*, 2021). As estimativas de evapotranspiração potencial (PET) e real (ET) foram de 1606 mm e 525 mm, respectivamente. A PET encontra-se dentro da faixa relatada para o Mato Grosso do Sul, que varia entre cerca de 1.100 mm (LORENÇONE *et al.*, 2022) e 1.400 mm anuais (APARECIDO *et al.*, 2021). Já a ET mostrou-se inferior ao valor médio anual do Balanço Hídrico Climatológico do INMET (~1.326mm/ano), possivelmente em função das simplificações no uso e cobertura da terra adotadas nesta etapa inicial e da ausência de informações detalhadas sobre práticas de manejo.

Figura 2 – Resumo das variáveis hidrológicas simuladas pelo BEST para a bacia do rio Miranda.



Quanto ao escoamento, as médias simuladas foram 297,51 mm para o escoamento superficial, 4,33 mm para o escoamento lateral e 473,10 mm para o fluxo de base. Os fluxos para o aquífero raso (531,84 mm) e profundo (26,59 mm), bem como o retorno de água do aquífero para a zona não saturada (32,14 mm), apresentaram valores relativamente elevados em relação ao total precipitado, o que pode estar associado às características físicas do solo e ao uso e cobertura da terra considerados na simulação, bem como ao baixo valor de ET (525,50 mm). É importante salientar que essa é uma primeira simulação com o BEST para o Pantanal e que o modelo ainda não foi calibrado para a região, necessitando de ajustes para a melhor representação do balanço hídrico da bacia.

4. CONCLUSÕES

Este estudo apresentou a aplicação inicial da Ferramenta Brasileira De Simulação Ecohidrológica – BEST no Pantanal, destacando sua inovação ao simplificar o uso do modelo SWAT por meio de dados pré-processados e de uma interface acessível. A escolha da bacia do rio Miranda como área piloto permitiu iniciar a aplicação do modelo de forma progressiva no bioma, reforçando seu potencial como ferramenta de apoio à gestão integrada dos recursos hídricos frente às mudanças climáticas e de uso da terra.

Agradecimentos - ao Projeto INCT ONSEAdapta e à CAPES pelo apoio e pela concessão da bolsa, que foram fundamentais para a realização deste estudo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASPOUR, K. C. *et al.* Global soil, landuse, evapotranspiration, historical and future weather databases for SWAT Applications. **Scientific Data**, v. 6, n. 1, p. 263, 2019.

ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista da FAE**, v. 20, p. 129–137, 2017.

APARECIDO, L. E. O. et al. Caracterização Hídrica Espacial e Sazonal de Mato Grosso do Sul com Dados em Grid. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 147–156, 2020.

APARECIDO, L. E. O. et al. Climate changes and their influences in water balance of Pantanal biome. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 143, n. 1–2, p. 659–674, 2021.

BRESSIANI, D. et al. A review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 3, p. 1–27, 2015.

BRESSIANI, D. et al. An Open Collaborative Web-Based Brazilian Ecohydrological Simulation Tool-BEST. In: **XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS**, 2023.

CABALLERO, C. B. et al. Decadal hydroclimatic changes in the Pantanal, the world's largest tropical wetland. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 17675, 2025.

CAMPOS, F. L. M. et al. Uso do modelo hidrológico SWAT+ para quantificação e espacialização de processos em apoio ao planejamento ambiental. **Revista Pantaneira**, v. 24, 2024.

COLMAN, C. et al. Effects of Climate and Land-Cover Changes on Soil Erosion in Brazilian Pantanal. **Sustainability**, v. 11, n. 24, p. 7053, 2019.

DE SOUSA, B. R. et al. Pantanal wetland wildfires are associated with drought in interconnected biomes. **Natural Hazards**, 2025.

FERREIRA, F. H. M. et al. Climate change in the Upper Paraguay Basin and hydrological impacts on the Pantanal. **Journal of Water and Climate Change**, v. 15, n. 7, p. 3210–3221, 2024.

GALVANIN, E. A. S.; CALDAS, Marcellus M. Evaluating Public Policies in Fire-affected Conservation Priority Areas of the Brazilian Pantanal. **Environmental Management**, 2025.

HAWQS. **HAWQS System 2.0 and Data to model the lower 48 conterminous U.S using the SWAT model**. [S.I.]: Texas Data Repository. Disponível em: <<https://doi.org/10.18738/T8/GDOPBA>>. 2023

HEINICKE, S. et al. Global hydrological models continue to overestimate river discharge. **Environmental Research Letters**, v. 19, n. 7, 2024.

LORENÇONE, J. A. et al. Assessment of Climate Change Using Humidity index of Thornthwaite Climate Classification in Pantanal Biome. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 1, p. 99–119, 2022.

MARENGO, J. A. et al. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, , 2021.

SADIQI, S. S. J. et al. Analysis of Hydrological Dynamics and Climate Change Impact in the Chuncheon Watershed with the SWAT Model. **Research Square**, 2024

SWAT. **Swat. Brazil is Back! SWAT – Soil & Water Assessment Tool**, 22 jun. 2023. Disponível em: <https://swat.tamu.edu/news/2023/brazil-is-back/>.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2º ed. Porto Alegre: ABRH (Associação Brasileira de Recursos Hídricos), 2005. v. 1

WEI, C. et al. A new framework combining hydrological connectivity metrics and morphological spatial pattern analysis for the hydrological connectivity evaluation of wetlands. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 19, n. 4, p. 1064–1078, 2023.