



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Correspondência das Nomenclaturas de Uso do Solo no Brasil e nos EUA: Uma Análise na Bacia do São Francisco Utilizando o Modelo SWAT

Josicléda Domiciano Galvinctio¹, Rodrigo Queiroga de Miranda² Gabrielly Gregorio Luz³

^{1,2,3} Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

rodrigo.qmiranda@gmail.com, josicleda.galvinctio@ufpe.br e gabrielly.gregorio@ufpe.br

Artigo recebido em 17/05/2023 e aceito em 19/02/2024.

RESUMO

A adaptação de ferramentas desenvolvidas em outros países ao contexto brasileiro representa um desafio, especialmente devido às diferenças nas nomenclaturas dos dados de entrada, que podem comprometer a precisão do uso. Este estudo investiga a correspondência entre as classificações de uso e ocupação do solo no Brasil e nos Estados Unidos, com um foco particular na bacia hidrográfica do São Francisco, utilizando o modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool). O SWAT, amplamente utilizado em análises hidrológicas, depende de dados de uso do solo para modelar processos ambientais como escoamento superficial, erosão e qualidade da água. No entanto, as variações nas classificações de uso do solo entre diferentes países, especialmente entre Brasil e EUA, apresentam desafios na aplicação e interpretação dos resultados do modelo. Este estudo compara as categorias de uso do solo no Brasil com as empregadas pelo SWAT, originalmente desenvolvido com dados norte-americanos, identificando diferenças e semelhanças que ressaltam a necessidade de ajustes e personalizações para uma aplicação precisa do SWAT em cenários brasileiros. Os resultados deste estudo oferecem uma base para aprimorar a calibração do modelo e a interpretação dos resultados em bacias hidrográficas brasileiras, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e ambientais na região. Palavras-chave: modelagem hidrológica, mudanças de uso do solo, MapBiomas, BEST.

Correspondence of Land Use Nomenclatures in Brazil and the United States: An Analysis in the São Francisco Basin Using the SWAT Model

ABSTRACT

Adapting tools developed in other countries to the Brazilian context poses a challenge, mainly due to differences in the nomenclature of input data, which can compromise the precision of their use. This study investigates the correspondence between land use and land cover classifications in Brazil and the United States, with a specific focus on the São Francisco River Basin, using the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) hydrological model. SWAT, widely used in hydrological analyses, relies on land use data to model environmental processes such as surface runoff, erosion, and water quality. However, variations in land use classifications between different countries, especially Brazil and the USA, present challenges in applying and interpreting the model's results. This study compares land use categories in Brazil with those employed by SWAT, developed initially with North American data, identifying differences and similarities that underscore the need for adjustments and customizations for accurate SWAT application in Brazilian contexts. The results of this study provide a foundation for improving model calibration and interpretation of results in Brazilian watersheds, contributing to more efficient management of water and environmental resources in the region.

Keywords: hydrological modeling, land use change, MapBiomas, BEST.

Introdução

A bacia hidrográfica do Rio São Francisco, uma das mais importantes do Brasil, desempenha um papel vital na provisão de recursos hídricos, na manutenção de ecossistemas diversos e no suporte a atividades econômicas que vão da agricultura à geração de energia. Dada sua importância estratégica, é essencial compreender as dinâmicas hidrológicas e ambientais dessa bacia, o que exige um estudo detalhado do uso e ocupação do solo. O crescente interesse nos impactos das mudanças de uso do solo sobre os recursos hídricos levou pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco ao desenvolvimento e à aplicação de

pesquisa com o SWAT (Soil and Water Assessment Tool), amplamente utilizado em todo o mundo para simular processos hidrológicos em bacias hidrográficas.

Desenvolvido nos Estados Unidos por Srinivasan e Arnold, o SWAT foi projetado para responder à necessidade urgente de ferramentas que pudessem prever os impactos do uso do solo e das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos. Em seus trabalhos recentes, Srinivasan tem destacado a importância de calibrar o modelo para refletir as condições locais, incluindo a variabilidade nas classificações de uso do solo, o que é fundamental para a precisão das simulações em diferentes regiões do

mundo, em especial considerando os desafios das mudanças climáticas (Srinivasan et al., 1998; Koppuravuri et al., 2021; Abdu et al., 2023; Zhang et al., 2022; Zhang et al., 2024).

No entanto, ao aplicar o SWAT em contextos internacionais, como no Brasil, surgem desafios significativos, especialmente relacionados à correspondência entre as nomenclaturas de uso do solo. As categorias de uso do solo no Brasil são definidas com base em características locais, refletindo as particularidades ecológicas e socioeconômicas do país. Como resultado, a simples adoção das categorias norte-americanas originalmente empregadas no SWAT pode levar a simulações imprecisas. Em Pernambuco, o grupo liderado por Galvêncio tem contribuído de forma significativa para a adaptação do SWAT ao contexto brasileiro. Em suas pesquisas mais recentes, Galvêncio enfatiza a necessidade de ajustar as categorias de uso do solo para garantir a precisão dos resultados ao aplicar o SWAT na bacia do São Francisco, evidenciando como essas adaptações são cruciais para refletir a complexidade ecológica da região (Bezerra et al., 2022; Luz et al., 2022; Tiburcio et al., 2023; Luz et al., 2023; Galvêncio et al., 2024).

O grupo de pesquisa de Montenegro, também em Pernambuco, em seus trabalhos recentes, tem feito contribuições valiosas para a aplicação do SWAT no Brasil. Montenegro tem explorado as complexas interações entre mudanças no uso do solo e variabilidade climática na bacia do São Francisco, destacando a importância de considerar essas interações na modelagem hidrológica para melhorar a precisão das previsões e apoiar a gestão sustentável dos recursos hídricos (Farias et al., 2023; Silva et al., 2024; Jovino et al., 2024). Suas pesquisas mostram que a falta de adaptação das nomenclaturas de uso do solo pode resultar em simulações imprecisas, afetando diretamente a capacidade de planejamento e gestão da bacia.

Além disso, Miranda, Silveira, e Luz têm contribuído significativamente para o avanço do conhecimento sobre a modelagem hidrológica na bacia do São Francisco. Os estudos de Miranda (2021-2024) enfocam a calibração e validação do SWAT para condições específicas da bacia, destacando a necessidade de ajustes finos para capturar a variabilidade hidrológica regional. Silveira tem explorado a integração de dados de sensoriamento remoto com o SWAT, fornecendo informações críticas sobre a dinâmica do uso do solo e suas implicações hidrológicas na bacia (Silveira et al., 2022; 2023). Luz, por sua vez, tem investigado o impacto das mudanças climáticas sobre os processos hidrológicos modelados pelo SWAT, oferecendo projeções sobre como essas mudanças podem alterar o regime hídrico da bacia no futuro próximo (Luz et al., 2022; Luz et al., 2023; Barros et al., 2023; Galvêncio et al., 2024).

Jones, outro pesquisador associado à Texas A&M University, colaborou extensivamente com Srinivasan no desenvolvimento e na aplicação do SWAT em regiões fora dos Estados Unidos. Jones tem defendido a importância de considerar as interações complexas entre clima, uso do solo e hidrologia ao aplicar o SWAT em novas regiões. Sua abordagem

integradora tem sido essencial para adaptar o SWAT às necessidades específicas de bacias hidrográficas como a do São Francisco, onde variáveis locais desempenham um papel crítico na definição dos padrões hidrológicos (Jones et al., 2007).

Na bacia do São Francisco, que possui uma grande diversidade ecológica e variações climáticas regionais, essas adaptações são particularmente relevantes. Galvêncio, Montenegro, Miranda, Torres, Luz e seus colegas identificaram que uma correspondência inadequada entre as nomenclaturas de uso do solo pode levar a discrepâncias significativas nos resultados das simulações hidrológicas. Por exemplo, as categorias de vegetação e práticas agrícolas no Brasil diferem consideravelmente das categorias originais do SWAT, o que pode impactar a modelagem de processos como escoamento superficial e erosão do solo. A importância de uma correspondência precisa das nomenclaturas é, portanto, fundamental para o sucesso das simulações e para a tomada de decisões informadas na gestão dos recursos hídricos da bacia.

Além disso, as pesquisas conduzidas por Galvêncio, Montenegro, Miranda, Torres, Luz e outros revelam que as mudanças no uso do solo, combinadas com as mudanças climáticas, podem alterar drasticamente o regime hidrológico da bacia do São Francisco. Isso inclui impactos na disponibilidade de água para consumo humano, irrigação agrícola e geração de energia hidrelétrica, atividades vitais para a região. Os cenários futuros projetados por esses estudos indicam que, dependendo das políticas de uso do solo e das condições econômicas, a pressão sobre os recursos hídricos da bacia pode aumentar significativamente nas próximas décadas (Vasco et al., 2024).

Portanto, a adaptação das nomenclaturas de uso do solo no modelo SWAT para refletir as realidades brasileiras é essencial não apenas para garantir a precisão das simulações, mas também para assegurar a eficácia das políticas de gestão de recursos hídricos na bacia do São Francisco. Essas adaptações permitem que o modelo ofereça previsões mais precisas e úteis, contribuindo para uma gestão mais eficaz e informada. A pesquisa contínua de Galvêncio, Montenegro, Miranda, Torres, Luz, Srinivasan e Jones sublinha a importância de manter uma abordagem dinâmica e adaptativa na aplicação do SWAT, especialmente em regiões com um contexto ecológico e socioeconômico tão diverso quanto o Brasil.

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo analisar a correspondência das nomenclaturas de uso do solo entre o Brasil e os Estados Unidos no contexto do SWAT, ao mesmo tempo em que reforça a necessidade de uma abordagem contínua e adaptativa na gestão da bacia do São Francisco. Com essas adaptações, espera-se que as simulações forneçam informações mais precisas, apoiando decisões que contribuirão para a sustentabilidade a longo prazo desta bacia.

Material e Métodos

Área em estudo

A área escolhida para este estudo foi a bacia do rio São Francisco, Figura 1, devido sua extensão territorial representar os diferentes usos existentes no Brasil. A bacia do São Francisco consegue representar grande parte dos biomas brasileiros. Possui uma área de 636.708,32 km².

A metodologia empregada neste estudo foi elaborada para avaliar as correspondências entre as nomenclaturas de uso do solo no Brasil e nos Estados Unidos, com foco na aplicação do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. A seguir, são descritas as principais etapas e procedimentos utilizados neste estudo:

A primeira etapa da metodologia consistiu na coleta de dados de uso do solo para a bacia do São Francisco. Foram utilizados dados provenientes e disponíveis em bases de dados nacionais, como o MapBiomas.



Figura 1 - Localização espacial da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Após a coleta, os dados foram processados e classificados de acordo com as categorias de uso do solo predominantes na bacia do São Francisco. O processamento incluiu a normalização e a padronização dos dados, assegurando a compatibilidade com as categorias utilizadas pelo modelo SWAT. As classes de uso do solo identificadas incluíram, entre outras, áreas agrícolas, pastagens, florestas nativas, e áreas urbanas.

A segunda etapa focou na correspondência entre as nomenclaturas de uso do solo no Brasil e nos Estados Unidos. Utilizando as categorias de uso do solo definidas na etapa anterior, foi realizada uma análise comparativa com as categorias de uso do solo do modelo SWAT, que foram originalmente baseadas em dados norte-americanos. Para essa correspondência, foram consultadas as documentações técnicas do SWAT.

O processo de correspondência envolveu a categorização cruzada, onde cada categoria brasileira foi associada à categoria correspondente no SWAT. Em casos em que as categorias não correspondiam diretamente, foram realizados ajustes e customizações

para garantir que as características locais fossem adequadamente representadas no modelo. Esse processo foi essencial para assegurar a precisão das simulações hidrológicas subsequentes.

Com as categorias de uso do solo devidamente ajustadas, o modelo SWAT foi configurado para a bacia do São Francisco. A configuração incluiu a definição das sub-bacias, dos pontos de monitoramento hidrológico, e dos parâmetros climáticos e hidrológicos específicos da região. Para garantir a acurácia do modelo, foram incorporados dados meteorológicos históricos, incluindo precipitação, temperatura, umidade relativa, e velocidade do vento, obtidos de estações meteorológicas distribuídas pela bacia.

Após a correspondência dos usos e cobertura da terra do MapBiomas com os códigos do SWAT foi obtido os mapas de uso e ocupação do solo para a bacia do São Francisco em diferentes períodos temporais, 2014 e 2022.

Resultados e discussão

Neste estudo foram analisadas as características dos usos e cobertura da terra dos Estados Unidos e comparados com as características descritas pelo MapBiomas. A Tabela 1 mostra a descrição dos usos e cobertura da Terra disponíveis no modelo SWAT e a Tabela 2 as características dos usos e cobertura da terra do MapBiomas. O detalhamento das características dessas classes está descritas em <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/> (Map Biomas)

Para analisar a comparação entre as características dos usos e cobertura da terra nos Estados Unidos conforme descrito pelo modelo SWAT e as características descritas pelo MapBiomas, é necessário considerar as categorias de uso da terra e como elas são classificadas em cada sistema. A seguir, se apresenta uma análise dessa comparação com base nas informações fornecidas nas Tabelas 1 e 2.

Categorias de Uso da Terra e Cobertura Vegetal SWAT (Estados Unidos)

O modelo SWAT utiliza códigos específicos para descrever diferentes tipos de uso da terra e cobertura vegetal, tais como: Florestas (FRSD), Savanas (RNGB), Manguezais (WEWO), Silvicultura (EUCA), Pastagens (PAST), Cana-de-açúcar (SUGC), Áreas urbanas (URBN_WARM), entre outros. O MapBiomas (Brasil) classifica o uso e cobertura da terra com base em uma estrutura hierárquica que inclui vários níveis, desde biomas até tipos específicos de vegetação, agricultura e áreas não vegetadas. Categorias: Formação Florestal (Floresta Ombrófila, Floresta Estacional, etc.), Formação Savânica (Cerrado, Savanas), Agropecuária (Pastagem, Agricultura Temporária e Perene), Áreas não vegetadas (Praias, Dunas, Áreas Urbanizadas), Corpos d'água (Rios, Lagos, Oceano).

Comparação das Categorias de Uso

Florestas: No SWAT, as florestas são representadas pelo código "FRSD". No MapBiomas, há uma descrição detalhada das formações florestais, incluindo Floresta Ombrófila, Floresta Estacional, entre outras, com variações específicas para diferentes biomas

(Amazônia, Mata Atlântica, etc.). O SWAT possui uma classificação mais simplificada, enquanto o MapBiomas oferece uma descrição mais detalhada, considerando a diversidade de formações florestais nos diferentes biomas brasileiros.

Savanas: No SWAT, as savanas são representadas pelo código "RNGB". No MapBiomas, as savanas estão incluídas na categoria de Formação Savânica, com especificidades para diferentes biomas como o Cerrado e a Caatinga. Semelhante às florestas, o MapBiomas oferece uma descrição mais detalhada e contextualizada regionalmente, enquanto o SWAT usa uma classificação mais genérica. Pastagens: No SWAT, as áreas de pastagem são indicadas pelo código "PAST". No MapBiomas, as pastagens são uma categoria dentro da agropecuária, com distinções entre pastagem plantada e natural. Ambos os sistemas reconhecem a importância das pastagens, mas o MapBiomas oferece uma classificação que distingue entre diferentes tipos de pastagem, o que pode ser útil para análises mais detalhadas de uso da terra. Essas especificações do MapBiomas para ser muito útil ao SWAT e suas interpretações.

Áreas Urbanas: No SWAT, áreas urbanas são representadas pelo código "URBN_WARM". No MapBiomas, áreas urbanizadas são detalhadas dentro da categoria de "Área Não Vegetada", com inclusão de vegetação urbana. A abordagem do MapBiomas é mais abrangente, considerando diferentes aspectos da urbanização e vegetação associada.

O modelo SWAT apresenta uma abordagem simplificada, focada em categorias de uso que são diretamente aplicáveis para a modelagem hidrológica, o que é esperado dado o propósito do modelo. O MapBiomas, por outro lado, oferece um nível de detalhe muito maior, refletindo a complexidade ecológica e geográfica do Brasil, com uma estrutura de classificação que considera fatores ecológicos, econômicos e de manejo da terra. O SWAT é melhor aplicável para modelagens hidrológicas e análises que requerem uma categorização simples e direta dos usos do solo. É importante destacar que os dois sistemas utilizados em conjunto para ser bastante útil na interpretação mais detalhada da região.

Como é comum usarmos os mapas de uso e ocupação da terra do MAPBIOMAS na modelagem hidrológica SWAT é importante realizarmos uma correspondência entre eles. Neste estudo foi realizada uma correspondência entre as categorias do MapBiomas e as do SWAT. A correspondência entre as categorias do MapBiomas e os códigos do SWAT estão sugeridas abaixo:

1. Floresta (MapBiomas):
 - SWAT Code: FRSD
 - Descrição no SWAT: Forest Formation
2. Formação Savânica (MapBiomas):
 - SWAT Code: RNGB
 - Descrição no SWAT: Savanna Formation
3. Mangue (MapBiomas):
 - SWAT Code: WEWO
 - Descrição no SWAT: Mangrove

4. Silvicultura (MapBiomas):
 - SWAT Code: EUCA
 - Descrição no SWAT: Silvicultura (eucalyptus)
5. Campo Alagado e Área Pantanosa (MapBiomas):
 - SWAT Code: WETW
 - Descrição no SWAT: Wetland
6. Formação Campestre ou Pastagem Natural (MapBiomas):
 - SWAT Code: GRAS
 - Descrição no SWAT: Grassland
7. Área Não Vegetada (Praia, Duna e Areal) (MapBiomas):
 - SWAT Code: BSVG
 - Descrição no SWAT: Other non Forest Formations (barren soil)
8. Pastagem (MapBiomas):
 - SWAT Code: PAST
 - Descrição no SWAT: Pasture
9. Cana-de-açúcar (MapBiomas):
 - SWAT Code: SUGC
 - Descrição no SWAT: Sugar cane
10. Mosaico de Usos (agricultura e floresta) (MapBiomas):
 - SWAT Code: CRWO
 - Descrição no SWAT: Mosaic of Uses (agriculture and forest)
11. Área Urbanizada (MapBiomas):
 - SWAT Code: URBN_WARM
 - Descrição no SWAT: Urban Area
12. Mineração (MapBiomas):
 - SWAT Code: BSVG
 - Descrição no SWAT: Mining
13. Aquicultura (MapBiomas):
 - SWAT Code: WATR
 - Descrição no SWAT: Aquaculture
14. Rio, Lago e Oceano (MapBiomas):
 - SWAT Code: WATR
 - Descrição no SWAT: River, Lake and Ocean
15. Soja (MapBiomas):
 - SWAT Code: SOYB
 - Descrição no SWAT: Soybean
16. Algodão (MapBiomas):
 - SWAT Code: COTS
 - Descrição no SWAT: Cotton (beta)
17. Outras Lavouras Temporárias (MapBiomas):
 - SWAT Code: AGRL
 - Descrição no SWAT: Other Temporary Crops
18. Café (MapBiomas):
 - SWAT Code: COFF
 - Descrição no SWAT: Coffee
19. Cítrus (MapBiomas):
 - SWAT Code: ORCD
 - Descrição no SWAT: Citrus
20. Outras Lavouras Perenes (MapBiomas):
 - SWAT Code: AGRL
 - Descrição no SWAT: Other Perennial Crops
21. Restinga Arbórea (MapBiomas):
 - SWAT Code: WETF

- Descrição no SWAT: Restinga Arborea (Wooded Sandbank Vegetation)
- 22. Restinga Herbácea (MapBiomias):
 - SWAT Code: WEHB
 - Descrição no SWAT: Restinga Herbácea (Herbaceous Sandbank Vegetation)

Esta correspondência permite que você importe os dados do MapBiomias para o modelo SWAT, selecionando as categorias mais apropriadas de acordo com as características do uso da terra descritas.

As Figuras 2 e 3 ilustram espacialmente as dinâmicas de uso e ocupação do solo na bacia do Rio São Francisco, revelando as mudanças ocorridas entre 2014 e 2022. Essas representações foram elaboradas a partir de uma correspondência entre as classificações de uso do solo do MapBiomias e as categorias do modelo SWAT. A análise dessas figuras oferece uma visão clara das transformações no uso da terra ao longo dos anos, destacando como diferentes práticas de manejo e fatores ambientais influenciaram a paisagem da bacia. Em 2014, as áreas de vegetação nativa e agrícola mostravam uma configuração distinta, que evoluiu significativamente até 2022, refletindo mudanças no padrão de ocupação e as implicações dessas alterações para os processos hidrológicos e a gestão dos recursos hídricos na região. Essas mudanças sublinham a importância de adaptar os modelos hidrológicos às realidades locais, utilizando ferramentas como o MapBiomias para garantir que as simulações do SWAT capturem com precisão a complexa dinâmica do uso do solo ao longo do tempo.

Vale ressaltar que o uso da ferramenta MapBiomias se destaca como uma poderosa aliada na obtenção rápida e precisa de informações sobre os impactos das mudanças de uso e ocupação do solo na bacia do Rio São Francisco. Sua capacidade de mapear e monitorar essas transformações de forma detalhada e contínua oferece uma ferramenta importante para entender as dinâmicas ambientais e prever os efeitos sobre a hidrologia e os ecossistemas da região. Dessa forma, o MapBiomias não apenas facilita a análise, mas também fortalece a tomada de decisões informadas para a gestão sustentável dos recursos hídricos na bacia, quando acoplada a modelagem hidrológica SWAT.

A Figura 4 apresenta os principais usos e ocupações do solo na bacia do Rio São Francisco, em 2022, com uma descrição detalhada desses usos na Tabela 3. Observa-se que 43% da área da bacia é coberta por formações savânicas, seguidas por 26% de pastagens e 13% de mosaicos de uso, que combinam agricultura e floresta. Esses dados evidenciam a predominância das savanas e pastagens na bacia, refletindo a influência significativa dessas formações vegetais na dinâmica ambiental e socioeconômica da região. Além disso, a cobertura de água representa um percentual significativo, refletindo a riqueza de recursos hídricos presentes na bacia.

Tabela 1- Descrição dos códigos no modelo SWAT e usos selecionados para a bacia do rio São Francisco.

Description	SWAT Code
Forest Formation	FRSD
Savanna Formation	RNGB
Mangrove	WEWO
Silvicultura	EUCA
Wetland	WETW
Grassland	GRAS
Other non Forest Formations (barren soil)	BSVG
Pasture	PAST
Sugar cane	SUGC
Mosaic of Uses (agriculture and forest)	CRWO
Beach, Dune and Sand spot	BSVG
Urban Area	URBN_WARM
Other non Vegetated Areas (barren soil)	BSVG
Rocky Outcrop	BSVG
Mining	BSVG
Aquaculture	WATR
Hypersaline Tidal Flat (Apicum)	WATR
River, Lake and Ocean	WATR
Soybean	SOYB
Other Temporary Crops	AGRL
Coffee	COFF
Citrus	ORCD
Other Perennial Crops	AGRL
Restinga Arborea (Wooded Sandbank Vegetation)	WETF
Restinga Herbácea (Herbaceous Sandbank Vegetation)	WEHB
Cotton (beta)	COTS

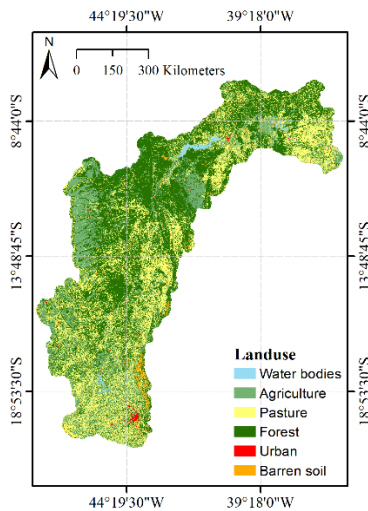


Figura 2- Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio São Francisco no ano de 2014.

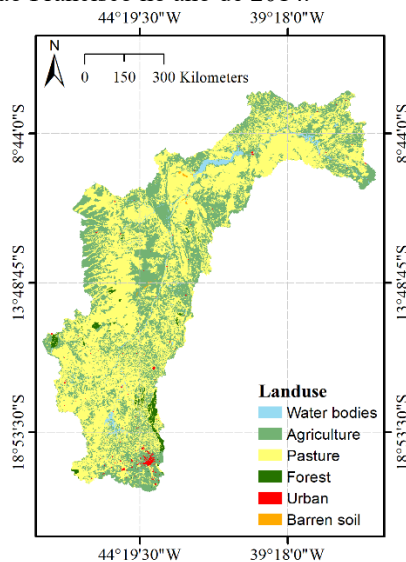


Figura 3- Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio São Francisco no ano de 2022.

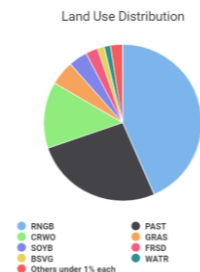


Figura 4- Principais usos e ocupação do solo na bacia do rio São Francisco em 2022.

A distribuição dos usos e ocupações do solo na bacia do Rio São Francisco oferece uma visão detalhada da interação entre os fatores ambientais e as atividades humanas na região. A predominância das formações savânicas, cobrindo 43% da área da bacia, é indicativa de um ecossistema adaptado a condições de seca e variações sazonais, com vegetação xerófila que desempenha um papel crucial na estabilidade do solo e na regulação dos ciclos hidrológicos. Essas formações vegetais são essenciais para a conservação da biodiversidade local, oferecendo habitat para uma ampla

gama de espécies adaptadas a ambientes de baixa umidade.

A presença significativa das pastagens, que ocupam 26% da bacia, ressalta o impacto da pecuária na configuração do uso do solo. Esta prática não só influencia os padrões de cobertura do solo, mas também afeta as dinâmicas de nutrientes e a qualidade do solo. A conversão de áreas naturais em pastagens pode levar à degradação ambiental e alterações nos regimes hidrológicos, exigindo práticas de manejo sustentável para mitigar impactos adversos. Os mosaicos de uso, que correspondem a 13% da bacia e combinam áreas agrícolas e florestais.

A Figura 5 apresenta o balanço hídrico médio anual ao longo de 61 anos, levando em consideração os usos e coberturas do solo descritos anteriormente. Observa-se que, sob essas condições, a bacia do Rio São Francisco gera, em média, 90 mm de escoamento superficial, 62 mm de escoamento lateral e 79 mm de fluxo de retorno por ano. Um aspecto importante a ser destacado é a percolação de 99 mm para o aquífero. Além disso, nota-se que 77% da água precipitada na bacia é perdida por evapotranspiração, evidenciando a significativa influência desse processo na dinâmica hídrica da região. As alterações no uso e ocupação do solo podem interferir significativamente na evapotranspiração e alterar o balanço hídrico da bacia. Políticas públicas de preservação e cuidados com a evapotranspiração na área é de grande importância para diminuir os impactos da evapotranspiração na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

No São Francisco, por 77% da precipitação ser perdida por evapotranspiração, ressalta-se a predominância desse processo na regulação do ciclo hídrico da bacia. Este valor significativo demonstra como a vegetação e a cobertura do solo afetam a redistribuição da água, influenciando diretamente a quantidade disponível para escoamento e infiltração. Mudanças nos padrões de uso do solo, como a conversão de áreas naturais em pastagens ou áreas agrícolas, podem alterar a cobertura vegetal e, consequentemente, a taxa de evapotranspiração, impactando o balanço hídrico e a dinâmica dos recursos hídricos. Essas alterações podem ter implicações amplas, desde a redução da recarga dos aquíferos até o aumento do escoamento superficial, potencialmente exacerbando eventos de enchentes e reduzindo a disponibilidade de água em períodos secos. Portanto, compreender e monitorar as interações entre uso do solo e balanço hídrico é crucial para o planejamento e gestão sustentável dos recursos hídricos na bacia do Rio São Francisco.

Pensar em otimização do uso e ocupação do solo e do manejo sustentável dos recursos naturais da bacia hidrográfica do rio São Francisco pode trazer benefícios importantes para a economia do Brasil. Implementações de recuperação de áreas degradadas, reflorestamento na bacia e nas margens dos reservatórios podem trazer benefícios importantes na diminuição da evapotranspiração e regulação dos recursos hídricos. A evaporação da água do solo, absorvida pelas raízes das plantas, desempenha um

papel fundamental no ciclo hidrológico da bacia do rio São Francisco. Essa evapotranspiração, como é tecnicamente chamada, é um processo importante de transferência de água do solo para a atmosfera, que ocorre tanto pela transpiração das plantas quanto pela evaporação direta do solo. Esse processo é particularmente relevante na bacia do São Francisco devido à predominância de áreas com vegetação nativa, agricultura e pastagens, todas as quais influenciam a dinâmica da água.

Um aspecto crítico ao se estudar o balanço hídrico na bacia do rio São Francisco é a percolação, ou infiltração, de água no solo. Em muitas regiões da bacia, a infiltração de água no solo é superior ao escoamento superficial, ou seja, uma parte significativa da água das chuvas infiltra-se no solo, alimentando aquíferos e reservatórios subterrâneos. Pensar na bacia do rio São Francisco implica necessariamente considerar a importância das águas subterrâneas. Essas reservas de água não apenas sustentam a vegetação e a agricultura em períodos de estiagem, mas também mantêm o fluxo de muitos rios e córregos, especialmente em períodos secos, quando a contribuição das chuvas é reduzida e/ou nas regiões semiáridas da bacia. A água subterrânea é, portanto, essencial para manter a perenidade dos corpos d'água na bacia, em especial na parte semiárida, garantindo a continuidade dos ciclos ecológicos e socioeconômicos na região.

Um ponto de destaque é o fato de que a água armazenada nos aquíferos rasos e profundos da bacia está relativamente protegida de contaminações superficiais, como poluentes agrícolas e industriais. Embora os aquíferos profundos estejam mais protegidos, os aquíferos rasos são particularmente vulneráveis à poluição superficial, e uma vez contaminados, o tratamento da água subterrânea pode ser significativamente mais dispendioso do que o da água superficial.

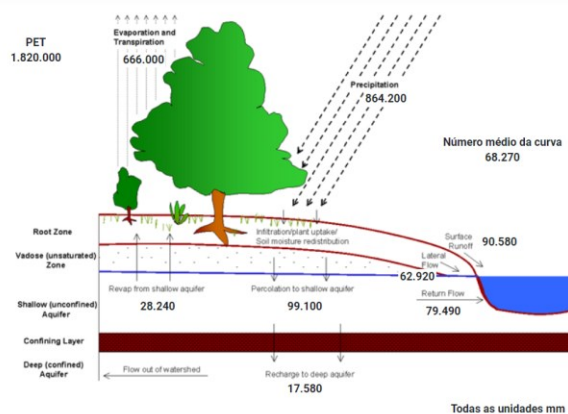


Figura 5- Balanço hídrico médio anual da bacia do rio São Francisco.

Na bacia do São Francisco, a recarga dos aquíferos é essencial para garantir a disponibilidade de água subterrânea ao longo do ano, especialmente em períodos de seca. No entanto, a recarga natural dos aquíferos pode ser prejudicada por práticas inadequadas de uso do solo, como o desmatamento, a compactação do solo e a urbanização desenfreada. O desmatamento, por exemplo, reduz a capacidade do solo de absorver a

água da chuva, levando ao aumento do escoamento superficial e à diminuição da infiltração. Da mesma forma, a compactação do solo, causada pelo uso intensivo da terra para agricultura e pecuária, pode dificultar a percolação da água, resultando em menor recarga dos aquíferos. A urbanização, por sua vez, impermeabiliza grandes áreas de solo, impedindo completamente a infiltração da água da chuva e agravando ainda mais a situação.

Para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos na bacia do São Francisco, é crucial adotar práticas de manejo do solo que promovam a infiltração e a recarga dos aquíferos.

Conclusões

A integração dos dados detalhados de uso e cobertura do solo do MapBiomass no modelo SWAT permite uma melhor representação das condições locais na bacia do Rio São Francisco, resultando em simulações hidrológicas mais precisas. Essa abordagem é essencial para melhorar a eficácia da gestão dos recursos hídricos na região.

Embora o SWAT seja uma ferramenta poderosa para modelagens hidrológicas, sua eficácia pode ser significativamente aprimorada ao incorporar bases de dados nacionais, como o MapBiomass, que oferecem um nível de detalhamento mais adequado às realidades brasileiras. Isso demonstra a importância de adaptar modelos globais às especificidades locais.

A comparação entre o SWAT e o MapBiomass revela que, enquanto o SWAT é ideal para simulações hidrológicas generalizadas, o MapBiomass fornece a granularidade necessária para capturar a diversidade de usos e ocupações do solo no Brasil. A integração dessas duas abordagens contribui para uma modelagem hidrológica mais robusta e precisa.

Este estudo evidencia que o uso combinado do SWAT e dos dados do MapBiomass pode aumentar a precisão das previsões de impacto das mudanças de uso do solo sobre a hidrologia da bacia do Rio São Francisco. Isso reforça a importância de utilizar bases de dados detalhadas e atualizadas para aprimorar a capacidade preditiva dos modelos hidrológicos.

A adaptação do modelo SWAT para incorporar dados do MapBiomass não só melhora a precisão das simulações hidrológicas, como também facilita a aplicação do modelo em outras regiões do Brasil. Essa adaptação torna o SWAT uma ferramenta ainda mais relevante para a gestão sustentável dos recursos hídricos em contextos variados.

Por fim, este estudo busca contribuir para o melhor uso do modelo SWAT, considerando os usos e ocupações do solo e as bases de dados existentes no Brasil que podem ser integradas ao modelo, visando melhorar a precisão da modelagem hidrológica

Tabela 2- Descrição da legenda do MAPBIOMAS. Fonte: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_8/downloads/legenda-colecao-8-descricao-detalhada-PDF-pt-br-3.pdf

					DESCRIÇÃO DA LEGENDA COLEÇÃO 8			
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Biomass	Descrição breve	Classificação IBGE(1999; 2012)	Classificação FAO(2012)	Classificação Inventário Nacional de Emissões de GEE (2015)
Floresta	Formação Florestal			Amazônia	Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Sempre-Verde, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Savana Arborizada, Áreas que sofreram ação do fogo ou exploração madeireira, Floresta resultante de processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial de vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais, podendo ocorrer árvores remanescentes de vegetação primária. Floresta de bambu (Acre).	Da, Db, Ds, Dm, Ha, Hb, Hs, Ld, La, Aa, Ab, As, Am, Fa, Fb, Fs, Fm, Ca, Cb, Cs, Cm, Vsp	FDP, FEP, FSP, FEM, FDM, FSM	FMN, FM, FSec
				Caatinga	Tipos de vegetação com predomínio de dossel contínuo - Savana-Estépica Florestada, Floresta Estacional Semi-Decidual e Decidual.	Td, Cs, Cm, Fm, Fs, Pa, As, Fb, Pf, Pm, Fa,	FEP, FSP	FMN, FM
				Cerrado	Tipos de vegetação com predomínio de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão) (Ribeiro & Walter, 2008), além de florestas estacionais semidecíduais.	Aa, Ab, As, Cb, Cm, Cs, Da, Dm, Ds, F, Ml, Mm, P, Sd, Td	FEP, FDP, FSP	
				Mata Atlântica	Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista e Floresta Estacional Semi-Decidual, Floresta Estacional Decidual e Formação Pioneira Arbórea.	D, A, M, F, C, Pma	FEP, FSP	
				Pampa	Vegetação lenhosa com espécies arbóreas ou arbóreo-arbustivas, com predomínio de dossel contínuo. Inclui as tipologias florestais: ombrófila, decidual e semidecidual e parte das formações pioneiras.	Da, Db, Ds, Dm, Ma, Ms, Mm, Ml, Fa, Fb, Fs, Fm, Ca, Cb, Cs, Cm, P,	FEP, FDP, FSP	FMN, FM, FSec, CS

		Pantanal	Árvores altas e arbustos no estrato inferior: Floresta Estacional Decidual e Semidecidual, Savana Florestada, Savana-Estépica Florestada e Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre.	Ca, Cb, Cs, Fa, Fb, Fs, SN, Sd, Td, Pa	FEP, FSP	FMN, FM
	Formação Savânica	Amazônia	Formação vegetal aberta com um estrato arbustivo e/ou arbóreo mais ou menos desenvolvido, estrato herbáceo sempre presente.	Sa, Ta	WS	
		Caatinga	Tipos de vegetação com predomínio de espécies de dossel semi-contínuo - Savana-Estépica Arborizada, Savana Arborizada.	Ta, Sa	FDP	
		Cerrado	Formações savânicas com estratos arbóreo e arbustivo-herbáceos definidos (Cerrado Sentido Restrito: Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo e Cerrado rupestre).	Sa, Ta	FDP, FSP, WS	
		Mata Atlântica	Savanas, Savanas-Estépicas Florestadas e Arborizadas.	Sd, Td, Sa, Ta		
		Pantanal	Espécies arbóreas de pequeno porte, distribuídas de forma esparsa e dispostas em meio à vegetação contínua de porte arbustivo e herbáceo. A vegetação herbácea se mistura com arbustos eretos e decumbentes.	Sa, Sp, Sg, Td, Ta, Tp		
	Mangue		Formações florestais, densas, sempre-verdes, frequentemente inundadas pela maré e associadas ao ecossistema costeiro de Manguezal.	Pf	FEP, FEM	
	Floresta Alagável (beta)	Amazônia	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial estabelecida ao longo dos cursos de água, ocupa as planícies e terraços periodicamente ou permanentemente inundados, que na Amazônia constituem fisionomias de matas-de-várzea ou matas-de-igapó, respectivamente.	Da, Db, Ds, Dm, Ha, Hb, Hs, Ld, La, Aa, Ab, As, Am, Fa, Fb, Fs, Fm, Ca, Cb, Cs, Cm, Vsp	FDP, FEP, FSP, FEM, FDM, FSM	FMN, FM, FSec
	Restinga Arbórea	Mata Atlântica	Formações florestais que se estabelecem sobre solos arenosos ou sobre dunas na zona costeira.	Pma	FEP, FEM	FMN, FM
		Pampa				
Caatinga						
Formação Natural não	Campo Alagado e Área Pantanosa	Amazônia	Vegetação de várzea ou campestre que sofre influência fluvial e/ou lacustre.	Pa	OM	GNM, GM, GSec

Florestal		Cerrado	Vegetação com predomínio de estrato herbáceo sujeita ao alagamento sazonal (ex. Campo Úmido) ou sobre influência fluvial/lacustre (ex. Brejo). Em algumas regiões a matriz herbácea ocorre associada às espécies arbóreas de formação savânica (ex. Parque de Cerrado) ou de palmeiras (Vereda, Palmeiral).	Pa, Sp		
		Mata Atlântica	Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre.	Pa		
		Pampa	Áreas pantanosas, denominadas regionalmente de banhados ou marismas (influência salina). Vegetação tipicamente higrófila, com plantas aquáticas emergentes, submersas ou flutuantes. Ocupam planícies e depressões do terreno com solo encharcado e também as margens rasas de lagoas ou reservatórios de água.	P, Pa, Pm		
		Pantanal	Vegetação herbácea com predomínio de gramíneas sujeitas ao alagamento permanente ou temporário (pelo menos uma vez ao ano) de acordo com os pulsos naturais de inundação. O elemento lenhoso pode estar presente sobre a matriz campestre formando um mosaico com plantas arbustivas ou arbóreas (ex: cambarazal, paratudal e carandazal). As áreas pantanosas ocorrem geralmente nas margens das lagoas temporárias ou permanentes ocupadas por plantas aquáticas emergentes, submersas ou flutuantes (ex: brejos e baceiros). Áreas com superfície de água, mas de difícil classificação devido a quantidade de macrófitas, eutrofização ou sedimentos, também foram incluídas nesta categoria.	Tg, Sp, Pa, Tp		
	Formação Campestre	Amazônia	Savana, Savana Parque (Marajó), Savana-Estépica (Roraima), Savana Gramíneo-Lenhosa, Campinarana, para regiões fora do Ecótono Amazônia/Cerrado. E para regiões dentro do Ecótono Amazônia/Cerrado predominância de estrato herbáceo.	Sa, Sp, Sg, Ta, Tp, Tg	WG, OG, WS	A, Res GNM, GM, GSec
		Caatinga	Tipos de vegetação com predomínio de espécies herbáceas (Savana-Estépica Parque, Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque, Savana Gramíneo-Lenhosa) + (Áreas inundáveis com uma rede de lagoas interligadas, localizadas ao longo dos cursos de água e em áreas de depressões que acumulam água, vegetação predominantemente herbácea a arbustiva).	Tp, Sg, Rm, Sp, Tg, Rl		

		Cerrado	Formações campestres com predominância de estrato herbáceo (campo sujo, campo limpo e campo rupestre) e algumas áreas de formações savânicas como o Cerrado rupestre.	Sg, Tp, Tg	WG, OG	
		Mata Atlântica	Savanas-Estépicas Parque e Gramíneo-Lenhosa, Estepe e Pioneiras Arbustivas e Herbáceas.	Sp, Sg, Tp, Tg, E, Pa		
		Pampa	Vegetação com predomínio de estrato herbáceo graminóide, com presença de dicotiledôneas herbáceas e subarbustivas. A composição botânica é influenciada pelos gradientes edáficos e topográficos e pelo manejo pastoril (pecuária). Ocorrem em solos profundos até solos rasos, incluindo terrenos rochosos (campos rupestres) e arenosos (campos arenosos ou psamófilos). Ocupam desde solos bem drenados (campos mésicos), até solos com maior teor de umidade (campos úmidos - com presença marcante de ciperáceas). Na maioria dos casos corresponde à vegetação nativa, mas podem estar presentes manchas de vegetação exótica invasora ou de uso forrageiro (pastagem plantada).	E, Ea, Ep, Eg, T, Ta, Tp, P, Pa, Pm		
		Pantanal	Vegetação com predomínio de estrato herbáceo graminóide, com presença de arbustivas isoladas e lenhosas raquíticas. A composição botânica é influenciada pelos gradientes edáficos e topográficos e pelo manejo pastoril (pecuária). Manchas de vegetação exótica invasora ou de uso forrageiro (pastagem plantada) podem estar presentes formando mosaicos com a vegetação nativa.	Sg, Sp, Ta, Tg		
	Apicum		Apicuns ou Salgados são formações quase sempre desprovidas de vegetação arbórea, associadas a uma zona mais alta, hipersalina e menos inundada do manguezal, em geral na transição entre este e a terra firme.	Pf, Pfh	OM, OX	
	Afloramento Rochoso		Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola e alta declividade.	Ar	OX	ArM, ArNM
	Restinga Herbácea	Caatinga	Vegetação herbácea com influência fluviomarinha.	Pmb, Pmh	WG, OG	GNM, GM
		Mata Atlântica				

			Pampa	Vegetação herbácea que se estabelece sobre solos arenosos ou sobre dunas na zona costeira.			
	Outras Formações não Florestais		Mata Atlântica	Outras Formações Naturais não florestais que não puderam ser categorizadas.			
Agropecuária	Pastagem			Áreas de pastagem predominantemente plantadas, diretamente relacionadas à atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural, por sua vez, são predominantemente caracterizadas como formações campestres ou campo alagado, podendo ser submetidas ou não a práticas de pastejo. Na Amazônia, podem ocorrer áreas desmatadas recentemente, sem ainda ter iniciado a atividade agropecuária.	AP, PE, PS	OP, OG	Ap
	Agricultura	Lavoura Temporária	Soja	Áreas cultivadas com a cultura da soja.	AMc (s)	OCA	AC
			Cana	Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar.	AMc (c)		
			Arroz	Áreas cultivadas com cultura de arroz, exclusivamente sob sistema de irrigação, nos estados do Rio Grande do Sul, Tocantins, Santa Catarina e Litoral do Paraná. Este mapa é o mesmo apresentado no módulo irrigação na classe "Arroz Irrigado".	AMc		
			Algodão (beta)	Áreas cultivadas com a cultura do algodão.	AMc (s)		
			Outras Lavouras Temporárias	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.	AMc		
		Lavoura Perene	Café	Áreas cultivadas com a cultura do café.	AMp (c)	OCP	PER
			Citrus	Áreas cultivadas com a cultura do citrus.	AMp		
			Dendê (beta)	Áreas cultivadas com monocultura de dendê.			
			Outras Lavouras Perenes	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que permitem colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio. Nessa versão, o mapa abrange majoritariamente áreas de caju, no litoral do nordeste e dendê na região nordeste do Pará, porém sem distinção entre eles.			
	Silvicultura			Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária).	R	FPB, FPC, FPM	Ref
	Mosaico de Usos		Caatinga	Areas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.	AP, PE, PS, ATp, ATc,	OCA, OCM, OP, OG	AC, PER, Ap, APD

		Cerrado		ATpc		AC, PER
		Mata Atlântica				
		Pampa	Áreas de uso agropecuário, onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura. Pode incluir áreas de cultivos, pastagens de inverno ou de verão e de horticultura. Inclui as áreas de descanso entre safras agrícolas (pousio).	AP, AS, AT, AM, PE, PS, Ag, Ap, Ac, Acc, Acp, AA	OCA, OCM, OP, OG, OF	AC, PER, Ap, APD
		Áreas Urbanizadas	Áreas de vegetação urbana, incluindo vegetação cultivada e vegetação natural florestal e não-florestal.		OB	S
Área Não Vegetada	Praia, Duna e Areal		Cordões arenosos, de coloração branco brilhante, onde não há o predomínio de vegetação de nenhum tipo.	Dn	OX	DnM,DnNM
	Área Urbanizada		Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura.		OB	S
	Mineração		Áreas referentes a extração mineral de porte industrial ou artesanal (garimpos), havendo clara exposição do solo por ação por ação antrópica. Somente são consideradas áreas próximas a referências espaciais de recursos mineiros do CPRM (GeoSGB), da AhkBrasilien (AHK), do projeto DETER (INPE), do Instituto Socioambiental (ISA) e de FL Lobo et al. 2018.	MCA	OQ	Min
	Outras Áreas não Vegetadas	Amazônia	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.	AU, MCA	OB, OQ	S, Min
		Caatinga				
		Cerrado	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes e regiões de solo exposto em área natural ou em áreas de cultura em entresafra.			
		Mata Atlântica	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.			
		Pampa	Classe mista que contempla áreas naturais e áreas antropizadas. As áreas naturais incluem superfícies arenosas como as praias fluviais e os areais. As áreas antropizadas incluem áreas de solo exposto e superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração).	AU, MCA, Dn, Iu	OB, OQ, OX	S, SE, DnM, DnNM, Min

		Pantanal	Áreas de solo exposto (principalmente solo arenoso) não classificadas na classe de Formação Campestre ou Pastagem.	PE, Sg	OX	Ap, GNM, GSec
Corpos D'água	Rio, Lago e Oceano		Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.		IRP, IRS, IL, ID	A, Res
	Aquicultura		Área referente a lagos artificiais, onde predominam atividades aquícolas e/ou de salicultura.			
Não Observado			Áreas bloqueadas por nuvens ou ruído atmosférico, ou com ausência de observação.			NO

Referências: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Manual técnico de uso da terra, IBGE: Rio de Janeiro, Brazil, 1999, 58p.; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira, 2nd ed., IBGE: Rio de Janeiro, Brazil, 2012. pp.157-160; Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. Manual for integrated field data collection. FAO: Rome, Italy, 2012, 175p.; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, Brasília, 2020, 620p.

Tabela 3- Área e percentagem dos usos e cobertura da terra da bacia do rio São Francisco.

Uso e cobertura da terra	Descrição	Area (km ²)	% of Total Area
RNGB	Range-Brush	276,603.87	43.443
PAST	Pasture	167,361.77	26.285
CRWO	Cropland/Woodland Mosaic	87,506.86	13.744
GRAS	Grassland	32,016.67	5.028
SOYB	Soybean	24,410.00	3.834
FRSD	Forest-Deciduous	16,048.45	2.521
BSVG	Baren Or Sparsly Vegetated	8,867.18	1.393
WATR	Water	8,166.44	1.283
AGRL	Agricultural Land-Generic	5,298.76	0.832
WETL	Wetlands-Mixed	4,400.57	0.691
URBN	Residential	3,086.43	0.485
EUCA	Eucalyptus	2,221.92	0.349
SUGC	Sugarcane	606.35	0.095
WEHB	Herbaceous Wetland	56.28	0.009
WETF	Wetlands-Forested	43.80	0.007
WEWO	Wooded Wetland	12.98	0.002

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e CAPES pelas bolsas de pesquisa (CNPq- 306163/2021-7) e pós-graduação (CAPES). Agradecem ao CNPq pelo financiamento a pesquisa através do projeto processo número 405853/2022-0 e a FACEPE através dos projetos/processos APQ-0392-3.07/22 e APQ-0044-3.07/24.

Referências

- Abdu Y.Yimam, Feleke K. Sishu, Tewodros T. Assefa, Tammo S. Steenhuis, Manuel R. Reyes, Raghavan Srinivasan, and Seifu A. Tilahun. 2023. "Modifying the water table fluctuation method for calculating recharge in sloping aquifers." *Journal of Hydrology: Regional Studies* 46:101325.
- P. M. O.; Nascimento, C. R.; Ribeiro, E. P.; Galvêncio, J. D.; Silva, M. V. 2022. Dynamics of land cover and land use in Pernambuco (Brazil): Spatio-temporal variability and temporal trends of biophysical parameters. *Remote Sensing Applications-Society And Environment* 25, 100677.
- Farias, C. W. L.A., de Souza Viana, J. F., de Queiroga Miranda, R., da Silva, S. F., Vasco, G., Montenegro, S. M. G. L., & Galvêncio, J. D. (2023). Técnica de calibração para modelagem da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, Brasil, utilizando o SWAT. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(3), 1621-1628. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1621-1628>
- Galvêncio, J. D., de Queiroga Miranda, R., & da Luz, G. G. (2024). Use of Soil Moisture as an Indicator of Climate Change in the SUPER System. *Hydrology*, 11(5), 65. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology11050065>
- Jones, C. A., & Srinivasan, R. (2007). Application of SWAT and other hydrological models to international river basins: Case studies and challenges. *Journal of Hydrology*.
- Jovino, E. S., Tavares, D. M. F., Montenegro, S. M. G. L., dos Santos, S. M., & de Oliveira, L. M. M. (2024). Dinâmica Multitemporal das Mudanças de Uso e Cobertura do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, 5(1) Doi 10.5281/zenodo.11331417.
- Koppuravuri Ramabrahmam, Venkata Reddy Keesara, Raghavan Srinivasan, Deva Pratap, and Venkataramana Sridhar. 2021. "Flow Simulation and Storage Assessment in an Ungauged Irrigation Tank Cascade System Using the SWAT Model." *Sustainability* 13 (23):13158.
- Luz, G. G., Galvêncio, J. D. (2022). Balanço hídrico superficial da bacia hidrográfica do riacho Milagres-PE, utilizando o SUPER. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(2), 1094-1107. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p1094-1107>
- Luz, G. G. D., Miranda, R. D. Q., & Galvêncio, J. D. (2023). Assessment of Water Availability and Environmental Influence on People's Lives in a Small Basin in the Hinterland of Pernambuco, Using the SUPER and UAV. *Applied Sciences*, 13(20), 11255. Doi: <https://doi.org/10.3390/app132011255>
- Silva, S. F., dos Santos Araújo, D. C., de Souza Viana, J. F., Fontes, A. S., Medeiros, Y. D. P., & Montenegro, S. M. G. L. (2024). Analysis of the correlation between land use and surface runoff in a Brazilian savanna basin. *Journal of South American Earth Sciences*, 133, 104724. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104724>.
- Silveira, N. T., dos Santos, T. O., Tibúrcio, I. M., & Galvêncio, J. D. (2022). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a análise espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova, Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, 3(3). 10.5281/zenodo.7510928
- Silveira, N., Tibúrcio, I., Soares, G., Galvêncio, J., Santos, D., & Montenegro, S. (2023). Temporal Analysis of Water Quality for the Nilo Coelho Reservoir, Terra Nova, Pernambuco, Brazil. *Water*, 15(16), 2899. Doi: <https://doi.org/10.3390/w15162899>
- Srinivasan, R., Arnold, J. G., & Jones, C. A. (1998). Hydrologic modelling of the United States with the soil and water assessment tool. *International Journal of Water Resources Development*, 14(3), 315-325. Doi: <https://doi.org/10.1080/07900629849231>
- Paz, Y. M., Freire-Silva, J., de Holanda, R. M., & Galvêncio, J. D. (2022). Planejamento e gestão ambiental de bacias hidrográficas a partir da modelagem hidrossedimentológica e estudo de cenários alternativos de uso e cobertura do Solo: Environmental management of watersheds from the hydrosedimentological modeling and study of alternative land cover scenarios. *Geosciences= Geociências*, 41(3), 675-687. Doi: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i3.16368>
- Vasco, G., Miranda, R., de Souza Viana, J. F., Bressiani, D., Mendiando, E. M., da Silva, R. M., Montenegro, S. (2024). Projection of spatially explicit land use scenarios for the São Francisco River Basin, Brazil. Doi: <https://doi.org/10.31223/X5SX2M>
- Viana, J. F. D. S., Montenegro, S. M. G. L., Srinivasan, R., Santos, C. A. G., Mishra, M., Kalumba, A. M., & da Silva, R. M. (2023). Land use and land cover trends and their impact on streamflow and sediment yield in a humid basin of Brazil's Atlantic forest biome. *Diversity*, 15(12), 1220. Doi: <https://doi.org/10.3390/d15121220>
- Zhang, X.; Beibei Ding, Yonghao Hou, Puyu Feng, De Li Liu, Raghavan Srinivasan, and Yong Chen. 2024. "Assessing the feasibility of sprinkler irrigation schemes and their adaptation to future climate change in groundwater over-exploitation regions." *Agricultural Water Management* 292:108674.
- Zhang, Y., Junyu Qi, Dongmei Pan, Gary W. Marek, Xueliang Zhang, Puyu Feng, Haipeng Liu, Baogui Li, Beibei Ding, David K. Brauer, Raghavan Srinivasan, and Yong Chen. 2022. "Development and testing of a dynamic CO2 input method in SWAT for simulating long-term climate change impacts across various climatic locations. *Journal of Hydrology*, 614:128544.