



RELAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAIS ENTRE AS DINÂMICAS DE USO E COBERTURA DA TERRA E DAS ÁREAS ÚMIDAS NA BACIA AGRÍCOLA DO RIO BAMBUÍ – ALTO SÃO FRANCISCO - MG

Harold george Monteiro Ferreira ¹
Rúbia Riane de Souza Araújo ²
Lívia Lara Silva Pereira ³
Antônio Pereira Magalhães Júnior ⁴
Diego Alves de Oliveira ⁵
Elizene Veloso Ribeiro ⁶
Luiz Fernando de Paula Barros ⁷

RESUMO

As áreas úmidas (AUs) são sistemas hidrogeomorfológicos vulneráveis, impactados pela urbanização, assoreamento, drenagem e poluição. Nesse contexto, o sensoriamento remoto tem se destacado como importante ferramenta de monitoramento, permitindo a análise da relação entre uso e cobertura da terra e a integridade desses sistemas. Este estudo investiga as AUs na bacia do rio Bambuí-MG, região marcadamente agrícola no alto curso do rio São Francisco, analisando mudanças ocorridas entre os anos de 1986 e 2024, com ênfase nos impactos das atividades humanas sobre esses sistemas. Imagens dos satélites Landsat foram classificadas por meio do algoritmo *Random Forest*, resultando em cinco classes: (1) vegetação densa; (2) solo exposto/pousio; (3) mosaico de agricultura, pastagem e cerrado; (4) lagoas e reservatórios; e (5) áreas urbanas. A delimitação das AUs foi realizada manualmente para os anos de 2002 e 2024, com base em análise visual e na manipulação de bandas espectrais, utilizando softwares especializados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como QGIS, ArcGIS e Google Earth Engine. Os resultados indicam predominância da agricultura, especialmente no baixo curso da bacia, onde a topografia favorece esse uso. As AUs vêm sendo recorrentemente suprimidas pela expansão agropecuária. Assim, ao delinear esses sistemas, o estudo identifica suas vulnerabilidades e reafirma sua importância para a manutenção dos recursos hídricos.

INTRODUÇÃO

As áreas úmidas (AUs) correspondem a cerca de 20% do território brasileiro (Junk *et al.*, 2015), podendo ser definidas como:

¹ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - haroldgeorge@ufmg.br;

² Mestranda do Curso de Geografia - Universidade Federal de Minas Gerais- rubia.rianedesa@gmail.com;

³ Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - livialara07@ufmg.br;

⁴ Professor orientador: Dr. em Desenvolvimento Sustentável pela UnB - apmagalhaes@ufmg.br;

⁵ Dr. em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais - diego.oliveira@ifmg.edu.br;

⁶ Dra. pelo curso de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - elizene.ribeiro@ifmg.edu.br;

⁷ Dr. em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais - luizfpaulabarros@ufmg.br.



[...] sistemas permanentes ou temporariamente saturados, inundados e/ou alagados, formados em relevos e substratos que permitem um maior acúmulo de águas superficiais e/ou subsuperficiais, por tempo suficiente para promover processos físicos, químicos e biológicos de ambientes com deficiência ou ausência de oxigênio, indicados, comumente, por espécies vegetais adaptadas a essas condições e/ou por solos com características hidromórficas. Interferências antrópicas podem condicionar a sua formação, como as AUs em áreas marginais de reservatórios. Conforme a escala de análise da dinâmica hidrológica, as AUs podem incluir áreas permanentemente secas e/ou aquáticas, que são fundamentais para a sua manutenção ecológica (GOMES, 2017, pg. 166).

Junk *et al.* (2015) e Gomes (2017) destacam a relevância das AUs para a recarga de aquíferos, biodiversidade, melhoria da qualidade da água, retenção de carbono orgânico, controle de inundações, regulação do clima e fornecimento de combustíveis fósseis, água e alimentos. Apesar disso, as AUs são sistemas ameaçados em todo o mundo por processos de crescimento urbano, assoreamento, drenagem e poluição (Carvalho & Ozório, 2007; Felipe, Gomes e Magalhães Júnior, 2023; Fluet-Chouinard *et al.*, 2023). Assim, a compreensão da interação entre uso e cobertura da terra e as áreas úmidas é importante para preservação e manutenção desses sistemas complexos e particularmente vulneráveis, visto que a transformação do solo circundante às AUs pode resultar em impactos substanciais sobre sua integridade (Borges, 2012).

A ausência de uma definição clara e amplamente adotada das AUs dificulta tanto o diálogo entre as ciências quanto a adoção de uma proposta única de classificação. Por outro lado, o Instituto Nacional de Áreas Úmidas (INAU) publicou o Inventário das Áreas Úmidas Brasileiras em 2024 (Junk; Cunha, 2024), trazendo importantes contribuições e avanços para o conhecimento e a proteção dos sistemas úmidos do país. Importa destacar, no entanto, que a proposta adota uma abordagem predominantemente biológica e ecológica, não incluindo, por exemplo, os pequenos sistemas hidrogeomorfológicos das zonas planálticas de Minas Gerais. Neste sentido, Gomes e Magalhães Júnior (2018; 2020) elaboraram um panorama dos sistemas de classificação de AUs no Brasil e no mundo e propuseram classes hidrogeomorfológicas de AUs para o estado de Minas Gerais. Barbosa e Ferreira (2017) ressaltam que, no Brasil, as AUs de pequena extensão são pouco contempladas pela legislação ambiental, o que torna ainda mais relevantes as iniciativas de identificação e mapeamento.



Estudos sobre AUs em Minas Gerais vem aumentando nos últimos anos (Barbosa & Ferreira, 2017; Borges, 2012; Gomes, 2017). Entretanto, ainda há muitas lacunas sobre as pressões e os impactos causados pelas atividades humanas na configuração e no estado ambiental das AUs. As bacias agrícolas são particularmente suscetíveis a esses processos, podendo ter importantes sistemas hidrogeomorfológicos suprimidos ou impactados em suas funções ecossistêmicas. Destacam-se as pressões associadas aos processos de drenagem, erosão e assoreamento, bem como a contaminação pontual e difusa decorrente aos usos de agroquímicos (Carvalho & Ozório, 2007; Fluet-Chouinard *et al.*, 2023).

Neste contexto, a bacia do rio Bambuí configura-se como um exemplo ilustrativo de bacias agrícolas com fortes pressões nos sistemas que envolvem as AUs. Localizada na porção superior da bacia do rio São Francisco, possui 1.981,21 km², abrangendo oito municípios. Os dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM - 2000) mostram que as altitudes variam de 623m a 1.281m. Segundo a classificação de *Köppen*, a região apresenta os climas subtropical úmido e subtropical de altitude (Alvares *et al.*, 2013). Inserida na Depressão do Alto Rio São Francisco, a bacia possui predomínio de latossolos, cambissolos e neossolos litólicos, desenvolvidos a partir de rochas do Grupo Bambuí (SISEMA, 2024).

Diante desse panorama, o presente trabalho busca investigar as relações entre as dinâmicas de uso e cobertura da terra e das áreas úmidas na bacia do rio Bambuí no período de 1986 a 2024, apontando as principais transformações e possíveis impactos das atividades humanas sobre as AUs. Como objetivo complementar, o trabalho visa identificar e espacializar as AUs presentes na bacia, dando ênfase na avaliação dos efeitos das mudanças ocorridas.

METODOLOGIA

A metodologia adotada compreendeu três etapas: (1) a classificação do uso e cobertura da terra a partir de imagens dos satélites Landsat para os anos de 1986, 2002, 2010 e 2024; (2) a delimitação manual das AUs para 2002 e 2024, inviabilizada para anos anteriores devido à baixa resolução das imagens; e (3) a análise conjunta dos dados para identificação das possíveis mudanças ao longo do período de análise.



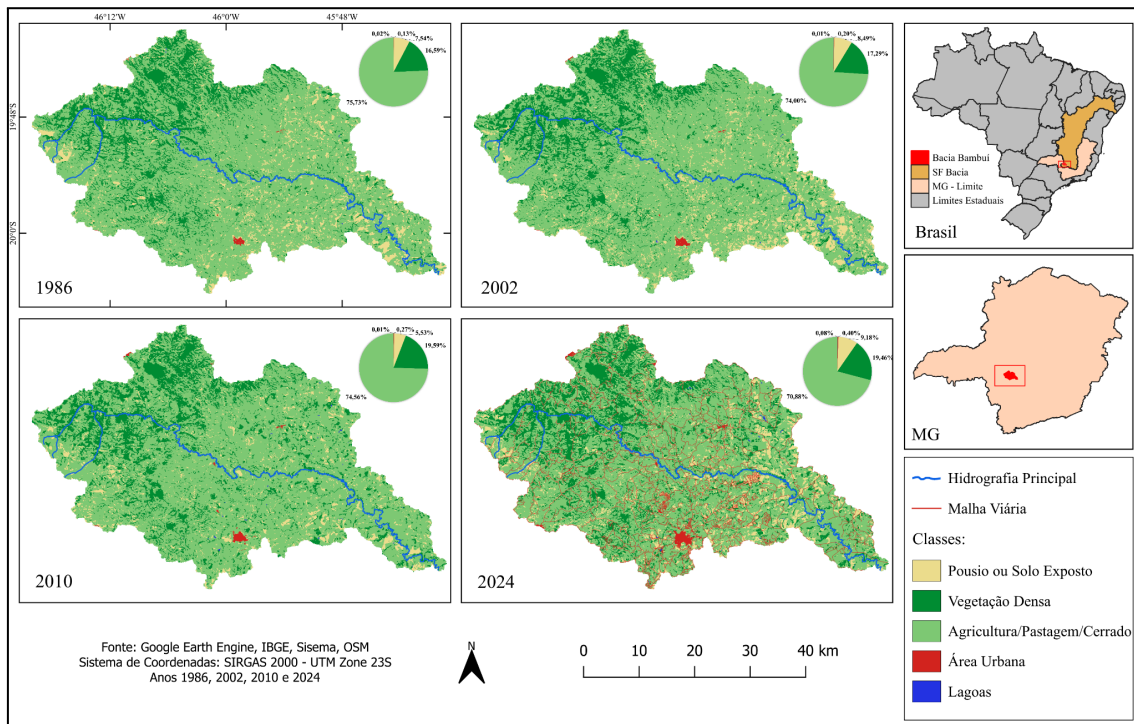
Para a confecção dos mapas de uso e cobertura do solo, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 (1986, 2002 e 2010) e Landsat 9 (2024), obtidas por meio da plataforma Google Earth Engine (GEE). As imagens com menor cobertura de nuvens e maior resolução disponível foram processadas nos *softwares* QGIS e ArcGIS para fusão, recorte e manipulação espectral. A classificação foi realizada na plataforma GEE utilizando o algoritmo *Random Forest*.

A manipulação da ordenação e sobreposição das bandas espectrais do cubo de imagens foi realizada para facilitar a coleta de amostras e visualização da superfície, com a finalidade de evidenciar regiões com diferentes características espectrais, como umidade, vegetação ou áreas urbanizadas. A delimitação manual das AUs considerou padrões, texturas, coloração do solo e vegetação típica de áreas encharcadas. Devido à natureza do mapeamento manual empregado, podem ocorrer discrepâncias resultantes da interpretação visual e da resolução das imagens. No entanto, conforme Kulawardhana *et al.* (2007), métodos automatizados também apresentam limitações, podendo subestimar as áreas mapeadas devido à resolução dos dados e à heterogeneidade da paisagem, estando sujeitos a erros de comissão e omissão. Assim, optou-se pelo mapeamento manual. Para isso, foram utilizadas imagens da plataforma *Google Earth* referentes a 2024. Já para 2002, devido à baixa resolução espacial para séries históricas, foi priorizada a análise a partir de imagens do Landsat 7, com resolução máxima de 15 m/pixel na banda pancromática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação identificou cinco classes de uso e cobertura da terra (figura 1): (1) áreas de pousio ou solo exposto, suscetíveis à erosão e carreamento de sedimentos; (2) vegetação densa, com cobertura arbórea fechada; (3) mosaico de agricultura, pastagem e cerrado, agrupados pela semelhança espectral; (4) área urbana; e (5) lagoas e reservatórios.

Figura 1 – Mapa de uso e cobertura da terra da Bacia Bambuí.



Fonte: Os Autores (2025).

A classificação indica uma marcante presença da agricultura no baixo curso da bacia e um aumento de 214,7% nas áreas urbanizadas entre 1986 e 2024, refletindo o crescimento populacional e a intensificação das atividades urbanas (Tabela 1). A variabilidade das áreas de solo exposto está relacionada ao preparo do solo para a agricultura e às estratégias de pousio, variando sazonalmente conforme as práticas agrícolas. Já as áreas de vegetação densa se concentram a montante na bacia, apresentando poucas variações ao longo dos anos, sendo estas principalmente associadas à silvicultura. A Tabela 2 apresenta um resumo das alterações observadas.

Tabela 1 – Evolução populacional dos municípios de contribuição da bacia.

Município	População em 1980	População em 2022
Bambuí	20544	23546
Medeiros	2507	3900
Tapiraí	2387	1690
Pratinha	2472	3559
Campos Altos	10544	12979
Córrego Danta	5799	2960
Luz	14436	17875
Iguatama	6886	6826
Total	65575	73335

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025).

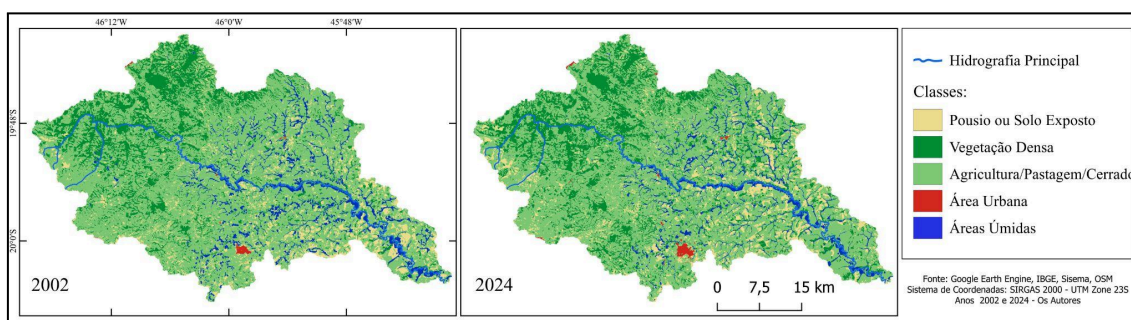
Tabela 2 – Evolução temporal das classes de uso e cobertura da bacia Bambuí.

Classe	1986	2002	2010	2024
Área Urbana	0,13 %	0,20 %	0,27 %	0,40 %
Solo Exposto/Pousio	7,54 %	8,49 %	5,53 %	9,18 %
Vegetação Densa	16,59 %	17,29 %	19,59 %	19,46 %
Agricultura/Pastagem/Cerrado	75,73 %	74,00 %	74,56 %	70,88 %

Fonte: Os Autores (2025).

Ao sobrepor os mapas da Figura 1 com as delimitações das áreas úmidas para os anos de 2002 e 2024, afere-se maior disposição das AUs em regiões densamente alteradas por processos relacionados à agricultura (Figura 2). Em 2002, as AUs ocupavam 114 km² (5,8% da bacia), o que foi reduzido para 88 km² (4,4% da bacia) em 2024.

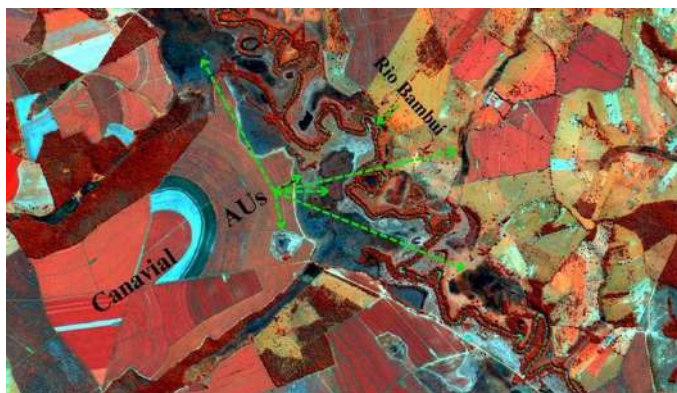
Figura 2 – Disposição das AUs – 2002 e 2024.



Fonte: Os Autores (2025).

Borges (2012) detalha os impactos provenientes da supressão contínua de AUs na bacia do rio Uberabinha devido ao avanço da agricultura, destacando a necessidade de proteção, a fim de mitigar possíveis problemas relacionados à qualidade da água e vazão dos cursos d'água. Portanto, de forma análoga a bacia do rio Uberabinha, as atividades agrícolas e pastoris constituem uma das formas predominantes de uso do solo na bacia do rio Bambuí, sendo frequente a supressão das AUs em função das extensões dedicadas ao cultivo. A Figura 3 evidencia os contrastes entre AUs (tons escuros), zonas ripárias, agricultura (geometria regular avermelhada ou alaranjada) e solo exposto (azul claro), cenário frequente na bacia do rio Bambuí.

Figura 3 – Agricultura e AUs no médio curso da Bacia BambuÍ – 2023.



Fonte: Os autores (2025).

A consequente compactação do solo e assimilação das AUs em detrimento a atividades pastoris e ao livre acesso do gado a regiões hidromórficas é enfatizada por Borges (2012). O pisoteamento impede a regeneração da vegetação nativa, favorecendo a erosão e o assoreamento dos cursos d'água. A Figura 4 ilustra a supressão de áreas úmidas e a criação de gado em suas proximidades, em diferentes períodos, ao longo de um afluente que deságua no rio BambuÍ.

Figura 4 – Supressão de AUs e criação de gado de livre acesso – 2004 e 2023.

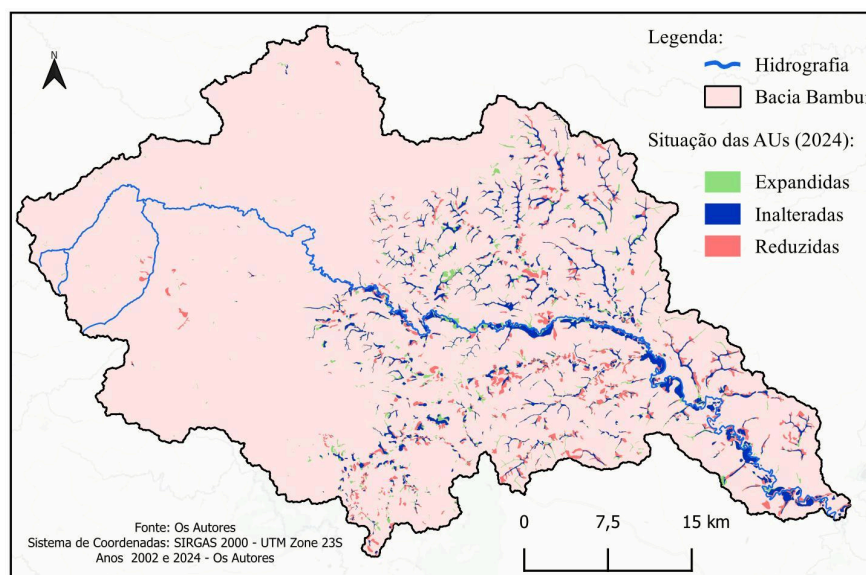


Fonte: Extraída do software Google Earth® em 17 de maio de 2024.

A partir da análise comparativa dos mapas da Figura 2, obteve-se como subproduto a Figura 5, que detalha a dinâmica das AUs no período de 2002 a 2024. O mapa resultante demonstra as variações temporais nos processos de expansão, contração e estabilidade das áreas úmidas. As regiões destacadas em vermelho indicam AUs identificadas em 2002, mas que não foram encontradas em 2024, sugerindo uma

possível contração ou desaparecimento ao longo do tempo. Em verde, são identificadas as AUs que surgiram no período de análise ou que sofreram expansão. Já as áreas destacadas em azul correspondem aos sistemas permanentemente saturados que permaneceram estáveis ao longo dos anos. Estas alterações, conforme descrito por Junk *et al.* (2015), podem ser reflexo de mudanças sazonais e são influenciadas pela disponibilidade hídrica e pelos pulsos de inundação, uma vez que a maioria das AUs brasileiras pertence ao grupo das sazonais ou temporárias. Apesar de os movimentos sazonais serem comuns em AUs, durante o processo de mapeamento, foi constatado que algumas delas foram drenadas ou barradas, favorecendo os processos agrícolas.

Figura 5 – AUs expandidas, reduzidas e inalteradas – 2002 a 2024.



Fonte: Os Autores (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa possibilitou a classificação temporal de cinco classes de uso e cobertura da terra na bacia do rio Bambuí por meio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. O uso de imagens dos satélites Landsat ampliou a abrangência histórica e permitiu identificar variações bruscas no uso e cobertura da terra, o que não seria viável com produtos como o MapBiomas. O mapeamento manual das AUs permitiu captar detalhes que seriam facilmente perdidos em abordagens automatizadas,



sobretudo em AUs pequenas, descontínuas e de periodicidade variável, como as encontradas na bacia do rio Bambuí e nos domínios planálticos mineiros.

Além disso, o crescimento urbano e a persistência de modelos agropecuários continuam pressionando as AUs. Os padrões identificados indicam que as dinâmicas espaciais do uso do solo reduzem a extensão física desses sistemas e intensificam processos de erosão, assoreamento e comprometimento da qualidade da água.

Este estudo contribuiu para o delineamento das AUs da bacia (ainda inexistente na área de estudo) e evidencia sua vulnerabilidade às mudanças no uso e cobertura da terra. Esses ambientes oferecem diversos benefícios, incluindo a provisão de recursos hídricos para a agricultura. Conforme destacado por Gomes (2017), as AUs atuam como amortecedores naturais da paisagem, mitigando os efeitos de inundações e secas. A interação das atividades humanas com estes sistemas pode agravar os danos associados às inundações. Em um cenário global de mudanças climáticas, respeitar o limite dessas áreas garante a continuidade dos serviços ambientais que oferecem e minimiza os impactos inerentes à sua degradação (Fluet-Chouinard *et al.*, 2023).

Palavras-chave: Hidrogeomorfologia; Dinâmica ambiental; Sistemas hídricos; Sensoriamento Remoto.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos: Ao CNPq pela bolsa PQ e bolsas PIBIC; à FAPEMIG pelas bolsas PROBIC e auxílio financeiro no âmbito do Projeto APQ-00770-24 e do processo PCE-001140-25; aos grupos de pesquisa RIVUS e PIAU.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BARBOSA, J.G.M; FERREIRA, V.O. **Análise da evolução do uso da terra e conflitos relacionados à conservação das áreas úmidas na bacia do ribeirão Bom Jardim, em Uberlândia/mg**. Revista Cerrados, Montes Claros, v.15, n.2, p. 181-200, 2017.

BORGES, F.A. **Caracterização temporal das áreas úmidas e de preservação permanente da porção de alto e médio curso da bacia hidrográfica do Rio Uberabinha MG com a aplicação de técnicas de geoprocessamento.** Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, 2012.

CARVALHO, A. B. P.; OSÓRIO, C. P. **Avaliação sobre os banhados do Rio Grande do Sul, Brasil.** In: Revista de Ciências Ambientais, Canoas, v.1, n.2, p. 83 a 95, 2007.

EARTHDATA (NASA). **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).** Disponível em: <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm>. Acesso em 04 de maio de 2023.

FELIPPE, M. F.; GOMES, C. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Nascentes e áreas úmidas.** In: MAGALHÃES JÚNIOR, A.; LOPES, F. W. A. *Recursos hídricos: as águas na interface sociedade-natureza.* São Paulo, 2023. cap. 5, p. 89-102.

FLUET-CHOUINARD, E.; STOCKER, B. D.; ZHANG, Z.; MALHOTRA, A.; MELTON, J. R.; POULTER, B.; *et al.* **Extensive global wetland loss over the past three centuries.** Nature, 2023, 614 (7947), 281–286.

GOMES, C.S. **Bases teórico-conceituais e subsídios para a classificação hidro-geomorfológica das áreas úmidas em Minas Gerais.** Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2017.

GOMES, C. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. **Sistemas de classificação de áreas úmidas no Brasil e no mundo: panorama atual e importância de critérios hidrogeomorfológicos.** Geo UERJ, Rio de Janeiro, n. 33, e34519, 2018.

GOMES, C. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. **Classes hidrogeomorfológicas de áreas úmidas em Minas Gerais.** Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 313-327, abr./jun. 2020.

IBGE. **Censo Demográfico.** www.ibge.gov.br. Acesso em: fev. 2025.

JUNK, W. J.; CUNHA, C. N. **Inventário das Áreas Úmidas Brasileiras.** Cuiabá, 2024.

JUNK, W.J.; PIEDADE, M.T.F; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F; KANDUS, P; LACERDA, L.D; BOZELLI, R.L; CUNHA, N.C; *et al.* **Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats.** Cuiabá: EdUFMT, 2015.

KULAWARDHANA, R. W., THENKABAIL, P. S., VITHANAGE, J., BIRADAR, C., ISLAM MD. A., GUNASINGHE, S., ALANKARA, R. **Evaluation of the Wetland Mapping Methods using Landsat ETM+ and SRTM Data.** Journal of Spatial Hydrology Vol.7, No.2, p.62-96, 2007.

SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE SISEMA.** Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em fevereiro de 2025.