



RELAÇÕES ENTRE A DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E A DAS ÁREAS ÚMIDAS NA BACIA DO RIO SÃO MIGUEL - REGIÃO CÁRSTICA DE ARCOS-PAINS, MG

Yuri Ribeiro Viu¹
Julio Cesar Cassiano Gonçalves²
Antônio Pereira Magalhães Junior³
Diego Alves de Oliveira⁴
Elizêne Veloso Ribeiro⁵
Luiz Fernando de Paula Barros⁶
Fillipe Diniz Ferreira⁷
Maria Eduarda dos Santos Pedro⁸

RESUMO

As áreas úmidas (AUs) são sistemas hidrogeomorfológicos com diversas funções ambientais e extremamente sensíveis às pressões antrópicas, principalmente em áreas cársticas. O Alto São Francisco, mais especificamente a bacia do rio São Miguel (região cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis) apresenta ricos sistemas de AUs e, ao mesmo tempo, fortes pressões dos usos da terra. Na região, destacam-se as AUs em dolinas e as AUs de planície de inundação. O objetivo deste trabalho é analisar a evolução espaço-temporal das AUs na bacia por meio do mapeamento de uso e ocupação da terra do MapBiomas, tendo como referência os anos de 1985, 1997, 2008 e 2021. O estudo foi realizado em ambiente SIG, por meio do QGIS, Google Earth Engine e TerrSet LiberaGIS, utilizando os dados de ocupação e uso da terra obtidos da plataforma do MapBiomas, referentes à coleção 9 (2024). Destaca-se a constante expansão da mineração de calcário e áreas de usos agropecuários, principais pressões antrópicas na área. Os resultados mostram uma diminuição geral das AUs de cerca de 1,56 Km², entre 1985 e 2008. No entanto, há um aumento em 2021, o que não se relaciona com a dinâmica pluviométrica, o que aponta para a necessidade de aperfeiçoamento da metodologia para mapeamento das AUs de pequena extensão. O aumento das pressões humanas diante da diversificação e intensificação do uso da terra torna urgente a ampliação da investigação das AUs em escala compatível com a dimensão desses sistemas no Alto São Francisco.

Palavras-chave: Hidrogeomorfologia; Hidrogeografia; Sistemas hidroambientais.

¹Graduando do Curso de Geografia da UFMG, yuriviu@gmail.com;

²Graduando do Curso de Geografia do IFMG, julio.csr.cassiano@gmail.com;

³Prof. do Departamento de Geografia da UFMG – antonio.magalhaes.ufmg@gmail.com;

⁴Prof. da Coordenadoria de Geografia do IFMG, diego.oliveira@ifmg.edu.br;

⁵Prof. de Geografia do IFMG, elizene.ribeiro@ifmg.edu.br;

⁶Prof. do Departamento de Geografia da UFMG, luizfpbarros@yahoo.com.br;

⁷Graduando do Curso de Geografia da UFMG, fillipedinizferreira2003@gmail.com;

⁸Graduanda do Curso de Geografia da UFMG, madu.mespx@gmail.com.



INTRODUÇÃO

As áreas úmidas (AUs) contribuem com a regulação do equilíbrio hidrogeomorfológico e ecológico dos sistemas hidrográficos, apresentando diversas funções ambientais. Esses sistemas tendem a armazenar nutrientes minerais e orgânicos, contribuem para a perenização de cursos d'água, auxiliam na recarga de aquíferos, atuam na regulação de ciclos biogeoquímicos, na regulação do clima, na manutenção da qualidade da água, no controle de inundações e, ao mesmo tempo, formam áreas de abrigo, reprodução e/ou alimentação da fauna aquática (CUNHA; JUNK, 2024). Portanto, a adequada proteção das AUs é uma dimensão necessária dos processos de gestão dos recursos hídricos e dos sistemas hidrogeomorfológicos como bacias hidrográficas (FELIPPE; GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2023).

Não há uma definição consensual de AUs na literatura, mas no Brasil o termo abarca uma diversidade de sistemas como brejos, pântanos, lagoas marginais, veredas e nascentes difusas. As iniciativas de inventário, diagnóstico e classificação de AUs no país tem, tradicionalmente, um viés biológico e ecológico (DIEGUES, 2002; CUNHA et al., 2015; JUNK; CUNHA, 2024). Portanto, a Geografia traz um forte potencial de contribuição na perspectiva hidrogeomorfológica (GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2018; 2020).

A partir do século XX, houve intensificação das pressões e impactos nos sistemas de AUs em âmbito global, sendo a maior parte convertida em áreas agropastoris e urbanas (MITSCH; GOSSELINK, 2007). Este cenário valoriza os estudos de AUs em relação à dinâmica de uso e ocupação da terra. Porém, esses processos são desafiadores devido à variabilidade espacial e temporal das AUs, principalmente em climas sazonais. Métodos convencionais de cartografia e levantamento de campo são eficazes, mas limitados em escala e custo-benefício (KLEMAS, 2011).

A região cárstica de Arcos-Pains, bacia do alto rio São Francisco - sudoeste de Minas Gerais, apresenta uma rica diversidade de sistemas de AUs, comumente associados a depressões de dissolução. Por outro lado, há um forte dinamismo da indústria extrativa e de beneficiamento de calcário, com grandes empresas nacionais e multinacionais. Neste contexto, este trabalho objetivou analisar a evolução espaço-temporal das áreas úmidas na bacia hidrográfica do rio São Miguel, localizada

no Alto São Francisco. Para tanto, foi utilizado o mapeamento de ocupação e uso da terra do MapBiomas, tendo como referência os anos de 1985, 1997, 2008 e 2021.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio São Miguel situa-se na margem direita do alto rio São Francisco, sudoeste de Minas Gerais, e possui área de 524 Km², abrangendo os municípios de Pains, Arcos, Formiga, Iguatama e Córrego Fundo. A bacia insere-se na região cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis (Saadi et al., 1998) e apresenta um cenário diversificado em termos de usos e ocupações do solo, incluindo pastagem, vegetação nativa, agricultura, maciços rochosos, mineração, silvicultura, solo exposto e áreas urbanas (CHEREM, 2006). As atividades antrópicas implicam numa maior susceptibilidade para alteração da qualidade das águas, sendo a predisposição à poluição facilitada por feições cársticas, como dolinas e sumidouros, que muitas vezes promovem ampla conexão entre as drenagens superficial e subterrânea (HADDAD, 2007).

As AUs da bacia estão ligadas a depressões de planície de inundação e processos de dissolução cárstica, como as dolinas. No trabalho de campo realizado no mês de janeiro de 2025, foi possível registrar imagens das AUs encontradas (**Figura 1**).



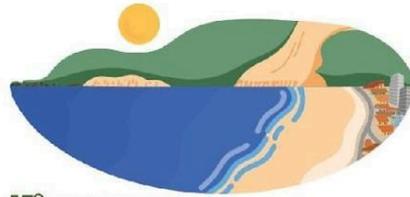
Figura 1 - Exemplo de AUs na bacia.



O quadro geológico da área compreende as rochas do Grupo Bambuí, associadas às formações Serra de Santa Helena, Sete Lagoas e Samburá (CPRM, 2014). A primeira constitui uma sucessão sedimentar predominantemente pelítica, composta de siltitos, folhelhos e argilitos. Já a formação Sete Lagoas é composta por uma sucessão carbonática, incluindo calcilutitos, calcarenitos e dolomitos. Por fim, na formação Samburá há a presença de uma associação de arenitos arcossianos, pelitos, ortoconglomerados e paraconglomerados (**Figura 2**).

Segundo Saadi et al (1998), a evolução geomorfológica da área se deu sob influência de atividade neotectônica, em contexto que favoreceu a reativação de estruturas antigas. As várias fases de evolução do carste, durante o Terciário e o Quaternário, se relacionam, ou com a simples presença de antigas falhas (controle passivo), ou com a movimentação de outras (controle ativo).

Ao sul da cidade de Pains as feições cársticas são exuberantes, com escarpamentos dominados por torres e inúmeras dolinas, cavernas e sumidouros, sendo que vários cursos d'água não alcançam diretamente o rio São Miguel, coletor local, de direção geral N-S. Na porção leste-nordeste da bacia, ocorre uma depressão drenada pelo rio Candongas (afluente do rio São Miguel), com direção N30W, denominada Graben de Arcos, de idade pleistocênica (SAADI et. al., 1998).



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

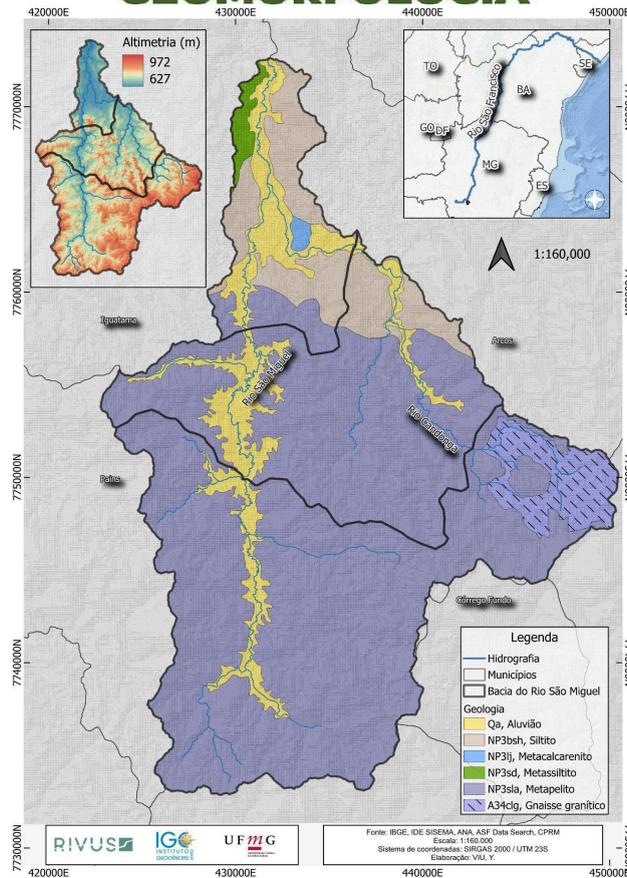


Figura 2 – Quadro geológico e hipsométrico da bacia do rio São Miguel

Na planície, ocorrem solos com atributos hidromórficos, como Cambissolo Háplico Tb Eutrófico Gleico e como Gleissolo nas AUs. Nas áreas de relevo suave ondulado e ondulado predominam Latossolos Vermelhos, com presença, também, de Cambissolo com caráter alumínico e Luvissoilo Ta Eutrófico (HADDAD, 2007).

A bacia encontra-se na zona de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica, ocorrendo florestas estacionais decíduais, a oeste, e florestas estacionais semidecíduais, a leste (IBGE, 2004). Conforme a classificação Köppen-Geiger, o clima regional é do tipo Aw, tropical úmido de inverno seco e verão chuvoso; a temperatura média no mês mais frio é superior a 18°C e os totais pluviométricos variam entre 1.000 e 1.500 mm. A umidade média anual é de 67,8% e os meses mais úmidos são dezembro e janeiro, com média mensal de 74,8% (MAPEAR, 2003).



TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS

Os dados de uso e ocupação do solo são oriundos do MapBiomas Coleção 09, disponível em camadas raster com resolução de 30 m x 30 m. Por meio do Google Earth Engine (GEE), utilizando o *toolkit* fornecido pelo MapBiomas, foi possível realizar o recorte dos dados. Para desenvolvimento dos mapas e processamento das informações geográficas, foi utilizado o *software* QGIS. As bases raster foram vetorizadas e classificadas de acordo com o MapBiomas para identificação especialmente das AUs. A hidrografia (ANA) foi hierarquizada (STRAHLER, 1952) com o auxílio do Modelo digital de elevação ALOS-PALSAR com 12,5 m de resolução.

Por conseguinte, foram calculadas as áreas das AUs e de uso e ocupação terra para cada ano na calculadora da tabela de atributos do QGIS, assim como as AUs de cada compartimento (alto, médio e baixo curso), a fim de obter o seu percentual de incidência. Como complemento, foi gerado um gráfico de precipitação da bacia com o intuito de relacionar anos mais chuvosos à incidência de AUs. O gráfico foi gerado no GEE com dados do Dataset CHIRPS Daily (precipitação mensal acumulada desde 1981).

Por fim, para obter dados da evolução espaço-temporal dos objetos de estudo, foi utilizado o *software* TerrSet LiberaGIS. Foi usada a opção Land Change Modeler com os arquivos geotiff da base de dados do MapBiomas para os anos de 1985 a 2021. Assim, foi possível ter uma métrica precisa das relações dos usos e ocupações da terra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos usos e ocupações da terra, o dado mais recente na série analisada mostra baixa ocupação urbana, com apenas 1,2% da área total (6,4 km²). As manchas urbanas correspondem parcialmente ao centro de Arcos (NE da bacia) e de Pains.

A classe da vegetação é um agrupamento da mata seca com a mata de cerrado e ocupa 127,7 km² de área na bacia (24,4% do total). Ao longo do tempo, houve uma tendência à substituição da vegetação natural de campo cerrado por áreas utilizadas para pecuária e para agricultura. A pecuária bovina é desenvolvida na região desde o século XVIII, conforme cartas de sesmarias (BARBOSA, 1971). Esta atividade demanda grandes áreas de pastagem devido à forma extensiva da criação. Assim, as categorias de agropecuária (silvicultura, pastagem, cana, mosaicos de usos, soja, outras lavouras temporárias e café) somam cerca de 70% da área total (363,7 km²). O incremento da

silvicultura de eucalipto teve um crescimento de 13,6 km² nos últimos anos, particularmente na porção SW da bacia (**Figura 3**). Parte da produção é utilizada como material comburente na calcinação das rochas carbonáticas (HADDAD, 2007).

A mineração de calcário é a principal atividade econômica, embora ocupe apenas 2,4% da área da bacia (12,7 km²), com um crescimento de 10 km² desde 1985 (**Figura 3**). As atividades mineradoras geram impactos como emissão de poeira, poluição atmosférica e demanda elevada de água captada de poços, cisternas, dolinas, rios e lagoas. A água é usada em processos produtivos, como resfriamento de caldeiras, lavagem de equipamentos e hidratação do calcário e no controle de poeira (HADDAD, 2007). O tratamento de efluentes é precário, com uso de tanques de decantação e despejo em sumidouros e fossas, além disso, são frequentes os impactos relativos a assoreamento de dolinas, as quais são as principais depressões cársticas em superfície que proporcionam a formação de AUs (HADDAD, 2007). Os impactos na qualidade dos recursos hídricos envolvem o aumento da dureza da água por rejeitos armazenados em superfície e a contaminação por metais pesados (Cd, Pb, Zn, Co, Cr, Ni, Cu), principalmente próximos às calcinadoras, que usam combustíveis poluentes - madeira, pneus, plásticos, óleos (BORGHETTI, 2002).

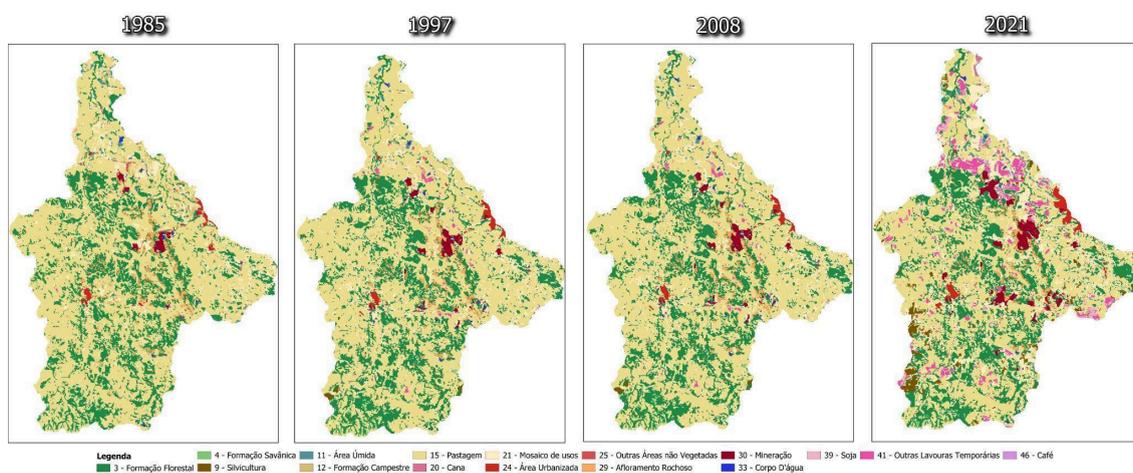


Figura 3 – Evolução espaço-temporal do Uso e Ocupação da Terra

A análise quantitativa da evolução das AUs na bacia do rio São Miguel mostra que houve uma diminuição sequencial das áreas relativas a AUs entre os anos de 1985 (4,3 km²), 1997 (3,01 km²) e 2008 (2,74 km²), cenário este que pode resultar dos impactos associados às atividades agropecuárias. No entanto, observa-se a expansão das AUs em 2021 (3,67 km²), fato que não está relacionado com o volume de chuvas, pois a

precipitação total desse ano esteve abaixo dos demais (**Figura 4**). Assim, este quadro pode estar associado à evolução das geotecnologias, com melhores imagens de satélite e sensores espectrais.

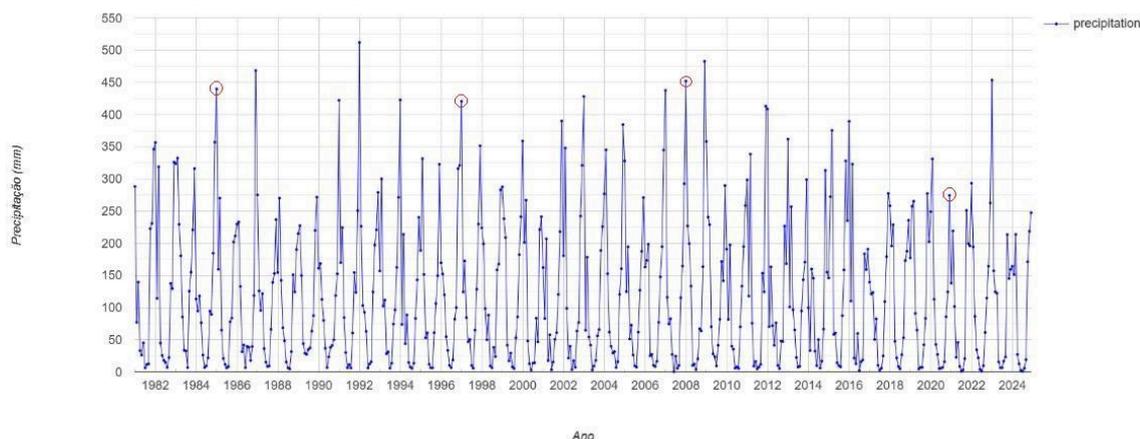


Figura 4 – Precipitação total mensal da área de estudo

O projeto MapBiomias utiliza imagens dos satélites Landsat 5, 7 e 8 para gerar séries temporais anuais de uso e ocupação da terra no Brasil, de 1985 até o presente, com resolução espacial de 30 m. É importante ressaltar que o Landsat 5 operou até 2013 e o Landsat 8 opera até os dias de hoje. Embora os sensores do Landsat 5 (*Thematic Mapper*) e do Landsat 8 (*Operational Land Imager*) possuam características técnicas distintas, como melhor resolução radiométrica e bandas espectrais adicionais no Landsat 8 (VALERO, 2022), o MapBiomias aplica metodologias avançadas de processamento e classificação automática baseadas em aprendizado de máquina para integrar essas imagens em uma série temporal consistente (ATBD, 2024). Assim, é possível realizar correções para alinhar as imagens e manter a continuidade temporal, no entanto para classes de áreas menores e com comportamentos espectrais que se confundem com outras classes, como é o caso das AUs, resulta em um aumento da qualidade e precisão dos mapas nos anos mais recentes, graças à maior disponibilidade e qualidade das imagens do Landsat 8 e ao aprimoramento dos algoritmos de classificação.

Desse modo, o mapeamento de AUs apresenta certos desafios metodológicos, especialmente devido à baixa resolução espacial de alguns sensores e à dificuldade na distinção espectral entre esses ambientes e outras ocupações da terra. Frequentemente, sensores de média resolução, como o Landsat TM (30m), não conseguem capturar pequenos fragmentos de AUs, resultando em uma classificação mais generalizada.

Além disso, a complexidade espacial e a variabilidade temporal das AUs exigem que as observações de satélite sejam complementadas por dados de campo e imagens aéreas para garantir maior precisão (KLEMAS, 2011). No entanto, quando se trata de usos do solo de maior área, o MapBiomas responde bem, com resultados satisfatórios para comparação e visualização das dinâmicas da ocupação da terra ao longo do tempo.

A Figura 5 apresenta redução de 11% de área de AUs (0,41 km²) em relação aos usos agropecuários, entre 1985 e 2021. Já a mineração e a expansão das áreas urbanas contribuem pouco para as perdas de AUs, cerca de 3% (0,11 km²). Ainda que não seja o foco deste trabalho, deve-se ponderar que essas categorias são potenciais degradadoras da qualidade da água nas AUs, mesmo que não haja redução de sua área. Na Figura 6 é possível ver que não há nenhum ganho de área das AUs entre 1985 e 2008; somente perdas por usos intensivos agropecuários.

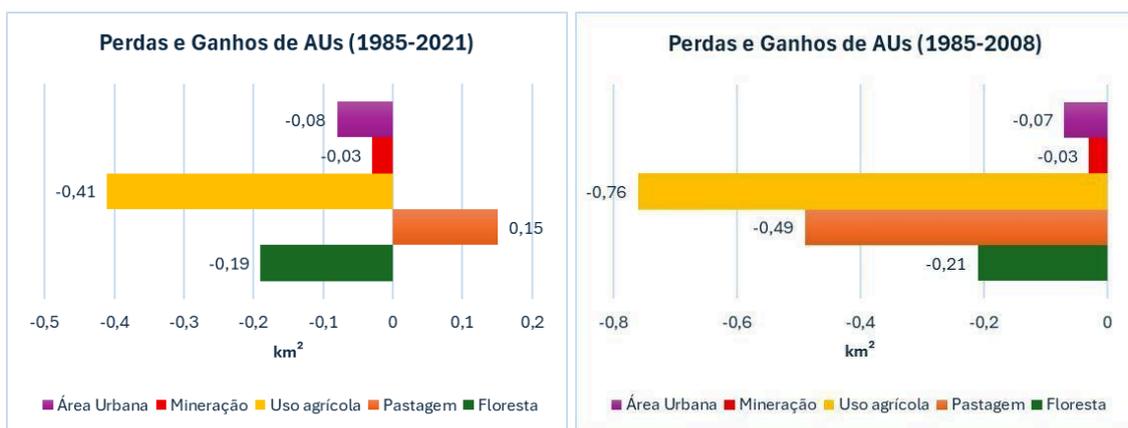
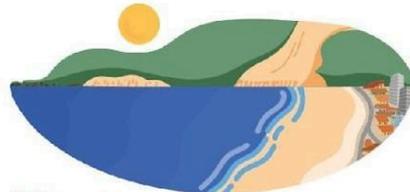


Figura 5 e 6 - Perdas e Ganhos de AUs para os anos de 1985 a 2021 e para os anos de 1985 a 2008.

As AUs estão heterogeneamente distribuídas na bacia do rio São Miguel. No alto curso estão 10,6% das AUs, enquanto no médio curso estão 32,6% e 56,8% no baixo curso, verifica-se que houve redução da presença de AUs na porção superior e aumento na inferior. Este fato pode estar associado não somente aos usos e ocupação da terra, mas também à própria dinâmica hidrogeomorfológica, pois a porção superior apresenta morfologia acidentada (serra e morros), enquanto na porção do baixo curso do rio São Miguel a morfologia é suavizada, favorecendo a dinâmica fluvial (**Figura 7**).



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

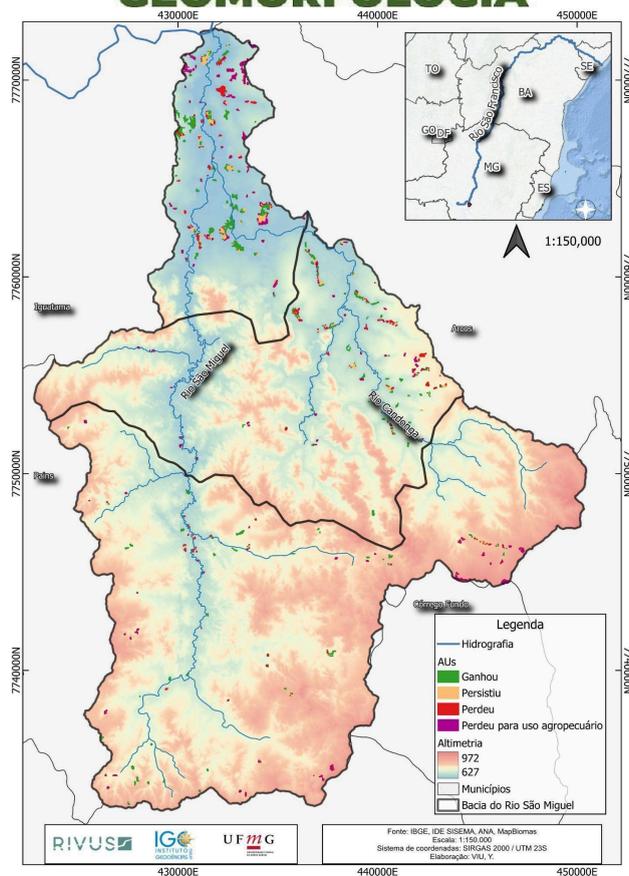


Figura 7 - Mapa de Perdas e Ganhos de AUs

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostram que a distribuição espacial das AUs está diretamente condicionada à morfologia da bacia, com maior concentração nos trechos de planície de inundação. Houve redução significativa das AUs entre 1985 e 2008, podendo estar associada principalmente à expansão de atividades agropecuárias, silvicultura e mineração. A leve recuperação em 2021 reflete, sobretudo, avanços nos sensores orbitais e nos algoritmos de classificação, e não necessariamente uma recuperação ambiental. Portanto, o estudo também confirma as limitações do sensoriamento remoto para o mapeamento de AUs, especialmente em função da resolução espacial dos sensores e da dificuldade na diferenciação espectral desses ambientes frente a outros usos. A integração de sensores de maior resolução, dados de campo e metodologias aprimoradas é essencial para melhorar a acurácia dos mapeamentos. Os resultados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo das AUs e de políticas públicas que



contemplem a sua importância e a sua fragilidade e susceptibilidade à degradação em bacias cársticas.

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; ao grupo de pesquisa RIVUS.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, W. A. **Dicionário histórico e geográfico de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Saterb Ltda, 1971.
- BORGHETTI, C. A. **A influência da indústria calcinadora na distribuição e na concentração de metais pesados nos solos da região de Córrego Fundo – Pains (MG)**. 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
- CHEREM, L. F. **Atlas cartográfico para a gestão ambiental de médias bacias hidrográficas: proposição conceitual-metodológica e o estudo de caso da bacia do rio São Miguel – Alto São Francisco/MG**. 2006. 85 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- CUNHA, C.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. Cuiabá: EdUFMT, 2015. v. 1.
- DIEGUES, A. C. S. **Povos e águas: inventário de áreas úmidas brasileiras**. 2. ed. São Paulo: NUPAUB-USP, 2002. 597 p. ISBN 8587304062.
- FÉLIX, A. A.; FREITAS JÚNIOR, R. L. **Mapeamento geológico e hidrogeológico da bacia hidrográfica do rio São Miguel – Alto São Francisco, Estado de Minas Gerais**. 2000. 105 f. Trabalho Geológico de Graduação – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
- SAADI, A.; MORAIS, M. S.; CARDOSO, G. G. C. **Evolução morfotectônica e carstogênese na região de Arcos-Pains-Doresópolis**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2., 1998, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis, 1998.
- GOMES, C. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. M. **Classes hidrogeomorfológicas de áreas úmidas em Minas Gerais**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 1, p. 202-220, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1791>.
- HADDAD, Eduardo Abjaud. **Influência antrópica na qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel, Carste do Alto São Francisco, Minas Gerais**. 2007. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-7LBML5>.



- JUNK, W. J.; CUNHA, C. N. da (org.) **Inventário das áreas úmidas brasileiras: Distribuição, ecologia, manejo, ameaças e lacunas de conhecimento**. Cuiabá-MT: Carlini & Caniato Editorial, 2024.
- SIMAN GOMES, C.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Sistemas de classificação de áreas úmidas no Brasil e no mundo: panorama atual e importância de critérios hidrogeomorfológicos**. Geo UERJ, n. 33, p. 1-23, 2018. DOI: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2018.34056>.
- MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M.; FANTINEL, L. M. **Disponibilidades hídricas na Província Cárstica de Arcos Pains e Doresópolis – Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil**. Revista Águas Subterrâneas, n. 16, p. 1-19, maio 2002.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL; CODEMIG. **Mapas geológico e de recursos minerais do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2014. Escala 1:1.000.000. 2 mapas, color.
- MAPEAR LTDA. **Estudo de Impacto Ambiental da Mineração Arcos Ltda., Fazenda Cupins, Zona Rural, Arcos, MG**. Belo Horizonte, 2003.
- SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO – SAAE. **Relatório anual de atividades**.
- MAPBIOMAS. **Mapa de uso e cobertura da terra do Brasil – Coleção 9**. [S.l.]: MapBiomias, 2025. <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/02/ATBD-Collection-9-versao2-v2.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- VALERO, M. **LAND-USE AND LAND-COVER MAPPING USING A COMBINATION OF RADAR AND OPTICAL SENSORS IN RORAIMA – BRAZIL**. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42n2e20210142/2022>
- KLEMAS, V. **Remote sensing of wetlands: case studies comparing practical techniques**. May 2011 Journal of Coastal Research 27(3)DOI:10.2307/29783262
- STRAHLER, A. N. **Dynamic basis of geomorphology**. Geological Society of America Bulletin, v. 63, p. 923-938, 1952.