

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **IMPACTOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS VAZÕES MÍNIMAS: ESTUDO DE CASO PARA A SUB-BACIA DO RIO DAS MORTES (MG)**

*Lara Peixoto Moraes<sup>1</sup>; Tiago Vieira da Silva<sup>2</sup>; Aline de Araújo Nunes<sup>3</sup>; Ana Letícia Pilz de Castro<sup>4</sup>, Aníbal da Fonseca Santiago<sup>5</sup>, Múcio André dos Santos Alves Mendes<sup>6</sup>, Tamara Daiane de Souza<sup>7</sup> & Mila Correa Sampaio<sup>8</sup>*

**Abstract:** The transformations occurring in hydrographic basins directly impact ecosystem functioning and, at the same time, reflect intense human interventions, such as changes in land use and land cover, climate change, and increased water demand. These alterations influence the hydrological cycle, making it essential to understand these dynamics for the sustainable planning and management of water resources. This study aimed to identify trends in historical streamflow and precipitation series in a specific area of the Rio das Mortes sub-basin (MG, Brazil), associating these results with changes in land use and land cover between 1985 and 2023. The Mann-Kendall test was applied to data from one streamflow station and two rainfall stations. A significant decreasing trend was detected in minimum streamflows (Q7), while average and maximum flows, as well as precipitation indices, remained stable – except at the Resende Costa station, which showed a decline in rainfall. Land use analysis indicated a 47 km<sup>2</sup> reduction in agricultural areas and a substantial 236% increase in non-vegetated land, mainly due to urban expansion, followed by mining activities. These findings suggest that anthropogenic pressures, such as urban growth and the intensification of economic activities, have the potential to reduce groundwater recharge and alter the regime of minimum flows. Therefore, the results highlight the need for management strategies that integrate environmental conservation with sustainable economic development.

**Resumo:** As transformações ocorridas nas bacias hidrográficas impactam diretamente o funcionamento dos ecossistemas e, ao mesmo tempo, refletem as intensas intervenções humanas, como a alteração do uso e ocupação do solo, mudanças climáticas e aumento da demanda hídrica. Essas alterações influenciam o ciclo hidrológico, tornando essencial a compreensão dessas dinâmicas para o planejamento e a gestão sustentável dos recursos hídricos. Este estudo teve como objetivo identificar tendências em séries históricas de vazão e precipitação em determinada área da sub-bacia do Rio das Mortes (MG), associando esses resultados às mudanças no uso e ocupação do solo entre

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Urbana (UFOP). CEP 35400-000 Ouro Preto-MG. Correio eletrônico: [lara.moraes@aluno.ufop.edu.br](mailto:lara.moraes@aluno.ufop.edu.br)

<sup>2</sup> Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). CEP 35400-000 Ouro Preto-MG. Correio eletrônico: [tiago.vt@aluno.ufop.edu.br](mailto:tiago.vt@aluno.ufop.edu.br)

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Agrícola e Ambiental, Profa. Dra. UFOP - Depto. Engenharia Urbana, CEP 35400-000 Ouro Preto-MG. Correio eletrônico: [aline.nunes@ufop.edu.br](mailto:aline.nunes@ufop.edu.br)

<sup>4</sup> Eng<sup>a</sup> Sanitarista e Ambiental, Profa. Dra. UFOP - Depto. Engenharia Civil, CEP 35400-000 Ouro Preto-MG. Correio eletrônico: [anacastro@ufop.edu.br](mailto:anacastro@ufop.edu.br).

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Ambiental, Prof. Dr. UFOP - Depto. Engenharia Civil, CEP 35400-000 Ouro Preto-MG. Correio eletrônico: [anibal@ufop.edu.br](mailto:anibal@ufop.edu.br).

<sup>6</sup> Eng<sup>a</sup> Agrícola e Ambiental, Prof. Dr. UFOP - Depto. Engenharia Civil, CEP 35400-000 Ouro Preto-MG. Correio eletrônico: [mucio.mendes@ufop.edu.br](mailto:mucio.mendes@ufop.edu.br).

<sup>7</sup> Eng<sup>a</sup> Agrícola e Ambiental, Profa. Dra. UFOP - Depto. Engenharia Urbana, CEP 35400-000 Ouro Preto-MG. Correio eletrônico: [tamara.souza@ufop.edu.br](mailto:tamara.souza@ufop.edu.br)

<sup>8</sup> Eng<sup>a</sup> Ambiental, Profa. Dra. Unifesspa – Faculdade de Engenharia Civil, CEP 68507-590 Marabá-PA. Correio eletrônico: [mila@unifesspa.edu.br](mailto:mila@unifesspa.edu.br)

1985 e 2023. Aplicou-se o teste de Mann-Kendall aos dados de uma estação fluviométrica e duas pluviométricas. Foi detectada tendência significativa de queda nas vazões mínimas (Q7), enquanto as vazões médias, máximas e os índices pluviométricos mantiveram-se estáveis, com exceção da estação Resende Costa, que apresentou redução na precipitação. A análise do uso do solo indicou redução de 47 km<sup>2</sup> em áreas agropecuárias e aumento expressivo de 236% na ocupação não vegetada, representada pelas áreas urbanizadas, seguida da mineração. Esses dados indicam que as ações antrópicas, como o crescimento urbano e a intensificação das atividades econômicas, têm potencial para reduzir a recarga hídrica e alterar o regime das vazões mínimas. Assim, os resultados reforçam a necessidade de estratégias de gestão que aliem conservação ambiental ao desenvolvimento econômico sustentável.

**Palavras-Chave** – tendências hidrológicas; séries temporais; bacias hidrográficas

## INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas constituem unidades territoriais fundamentais para a compreensão da dinâmica dos recursos hídricos, diretamente relacionada ao ciclo hidrológico. Nesse contexto, as ações antrópicas têm provocado, ao longo do tempo, alterações nos regimes hidrológicos e contribuído para as mudanças climáticas, resultando no aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, como estiagens e inundações. Esses fenômenos decorrem tanto da alteração nos padrões de precipitação quanto de fatores locais, como a mudança no uso e cobertura do solo e o próprio manejo e uso da água (ALMEIDA *et al.*, 2020; FISCH *et al.*, 2017; BEDOYA; RAMIREZ, 2023).

Diante desse cenário, torna-se essencial adotar instrumentos eficazes de planejamento e gestão de Recursos Hídricos. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/97, parte do princípio de que a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, sendo a bacia hidrográfica a unidade territorial para sua gestão (BRASIL, 1997). Em consonância com esse fundamento, a mesma lei determina que os Planos de Recursos Hídricos devem ser elaborados com base em cada bacia hidrográfica, de modo a orientar o uso sustentável e integrado da água.

A bacia hidrográfica do Rio das Mortes, ou GD2, localiza-se no centro-sul de Minas Gerais, na porção nordeste da Bacia do Rio Grande e desempenha um papel fundamental na gestão dos recursos hídricos da região. Com uma extensão de cerca de 278 km, o rio de GD2 percorre 42 municípios mineiros, incluindo Barbacena, São João Del Rei, Tiradentes, Prados e Bom Sucesso. A sub-bacia do Rio das Mortes abrange uma área de cerca de 10.533 km<sup>2</sup>, representando 12,7% da porção mineira da Bacia do Rio Grande (IGAM, 2010). A região é caracterizada por uma intensa atividade antrópica, destacando-se a agricultura, a pecuária e o reflorestamento, que ocupam a maior parte do uso do solo. Essas atividades têm contribuído para processos erosivos e assoreamento dos cursos d'água, impactando a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos (SILVA *et al.*, 2021; GUIMARÃES, 2000). Além disso, a presença de pequenas centrais hidrelétricas, como as PCHs Ilhéus e Lavras, evidencia o aproveitamento do potencial hidrelétrico da bacia (IGAM, 2010).

A aplicação estatística permite a verificação da frequência em que as precipitações e vazões ocorreram com dada magnitude, sendo possível estimar as chances teóricas de reincidências dos eventos (SILVA, 2014). Dessa forma, análises de tendência permitem a partir das séries históricas, compreender o comportamento das variáveis e, assim, prever valores futuros, com dado nível de confiança, para as variáveis dessas séries modeladas, como a precipitação e vazão (HANN; KEMBER, 2011). Nesse sentido, o teste de Mann-Kendall é comumente aplicado para estudos

hidrológicos, no qual por ser um não-paramétrico permite que os dados não estejam normalmente distribuídos, mas possui eficiência próxima aos testes paramétricos (SILVA *et al.*, 2015).

Assim sendo, o presente estudo objetiva realizar a análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação da Sub-bacia hidrográfica do Rio das Mortes, Minas Gerais, e verificar possíveis associações com as mudanças de uso e cobertura do solo na região ao longo dos anos.

## METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado na sub-bacia do Rio das Mortes, localizada na porção sudeste da bacia hidrográfica do Rio Grande, com área aproximada de 10 mil km<sup>2</sup>. Devido à grande extensão do território, foi selecionada uma faixa da sub-bacia para o estudo com base na distribuição territorial das estações hidrometeorológicas, bem como a disponibilidade de séries históricas representativas, além da análise preliminar do uso e ocupação do solo, visando as áreas de influência dos pontos fluviométricos com maior potencial investigativo (Figura 1).

Os dados hidrológicos utilizados são disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) no portal HidroWeb, no qual duas estações pluviométricas e uma fluviométrica que apresentam série histórica de pelo menos 40 anos, contidas num raio de 25 km na sub-bacia do Rio das Mortes, foram selecionadas para análise (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados das estações utilizadas

Tipo	Nome	Código	Série Histórica	Latitude (°)	Longitude (°)
Pluviométrica	Usina São João Del Rei	2144020	1961/2024	-21,0556	-44,2089
Pluviométrica	Resende Costa	2044038	1975/2024	-20,9236	-44,2383
Fluviométrica	Usina São João Del Rei	61115000	1935/2023	-21,0525	-44,2111

Na manipulação dos dados das estações pluviométricas, foi realizado o preenchimento de faltas e a retirada de anos hidrológicos quando tal processo não era possível, além do método de Dupla Massa, capaz de analisar a consistência dos valores, desenvolvido pela Geological Survey (USA), conforme descrito em Bertoni e Tucci (2001). Já para as estações fluviométricas, as vazões máximas, médias e mínimas de sete dias foram obtidas através do software SISCAH 1.0, considerando o ano hidrológico de outubro a setembro, uma vez que a região de estudo está situada no sudeste brasileiro.

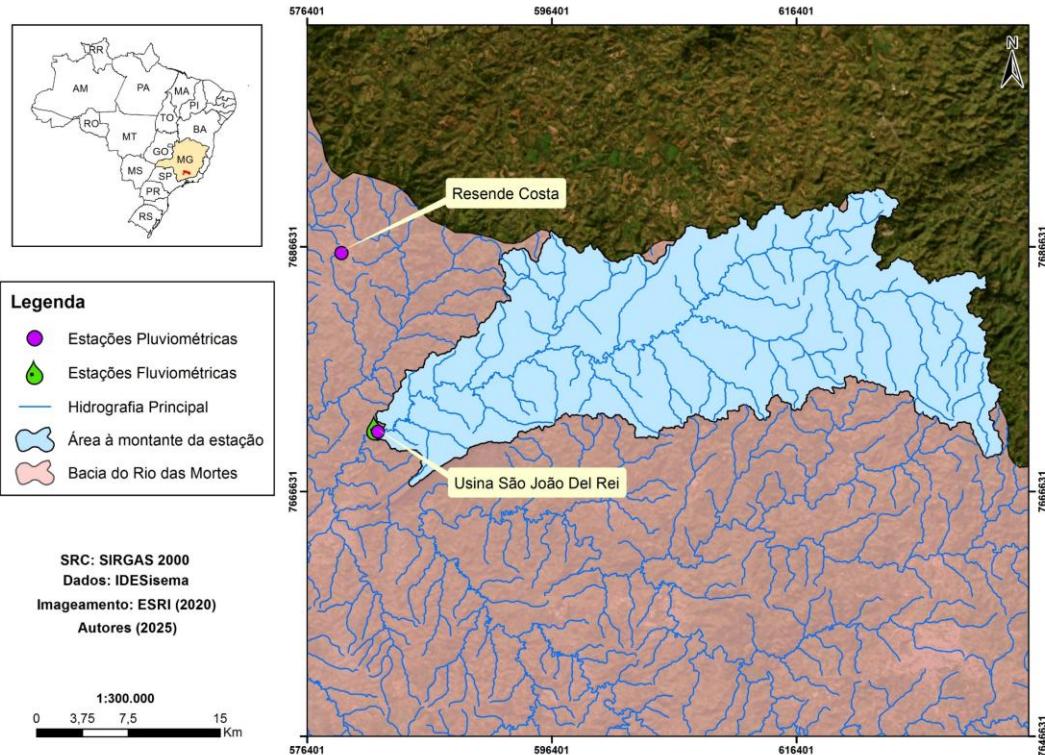
Para a verificação da tendência de ambas as estações, foi realizado o Teste de Mann-Kendall no software Minitab 18, com um nível de significância de 5%.

O período de análise das séries de vazão compreendeu os anos de 1940 a 2021, com base nos dados consistidos disponíveis. Para as séries de precipitação, adotou-se o intervalo comum de registros entre as estações, correspondente ao período de 1975 a 2023. A análise do uso e ocupação do solo teve como marco inicial o ano de 1985, a partir do qual foi disponibilizada a primeira coleção de dados do projeto MapBiomas.

O mapeamento do uso do solo foi organizado em quatro categorias principais: (i) **Área vegetada**, incluindo formação florestal, formação savânica, mangue, floresta alagável, restinga arbórea, campo alagado, área pantanosa, formação campestre, apicum, afloramento rochoso e restinga herbácea; (ii) **Agropecuária**, abrangendo pastagem, lavouras temporárias, lavouras perenes e

silvicultura; (iii) Área não vegetada, composta por áreas urbanizadas, mineração e areais; e (iv) Corpos d'água, referentes a rios, lagos e reservatórios.

Figura 1 – Localização da área de estudo



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados brutos das duas estações pluviométricas analisadas apresentaram consistência e homogeneidade, conforme indicado pelos resultados do teste de Dupla Massa, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 0,99 em ambos os casos.

A avaliação de tendências nas séries temporais fluviométricas e pluviométricas foi realizada por meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall. De acordo com a metodologia, considera-se a existência de tendência significativa quando a hipótese nula (ausência de tendência) é rejeitada, ou seja, quando o valor de  $p$  é inferior a 0,05.

Na estação fluviométrica Usina São João Del Rei (código 61115000), foi identificada tendência decrescente nas vazões mínimas ao longo do período analisado (Figura 2). Em contrapartida, as vazões médias e máximas não apresentaram variações estatisticamente significativas, indicando relativa estabilidade nessas séries.

Quanto às estações pluviométricas, a estação de Resende Costa (código 2044038) apresentou tendência significativa de redução dos volumes de precipitação ao longo dos anos (Figura 3). Já a estação Usina São João Del Rei (código 2144020) não demonstrou tendência estatística relevante, mantendo-se estável conforme os critérios do teste aplicado (Figura 4).

Os resultados consolidados do teste de Mann-Kendall para todas as séries analisadas encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do teste de Mann-Kendall

Nome	Código	Parâmetro	p-valor
Usina São João Del Rei	2144020	Chuva	0,381
Resende Costa	2044038	Chuva	0,009
Usina São João Del Rei	61115000	Vazão mínima	0,010
		Vazão média	0,317
		Vazão máxima	0,363

Figura 2 – Dados das vazões mínimas da estação 61115000 com presença de tendência decrescente

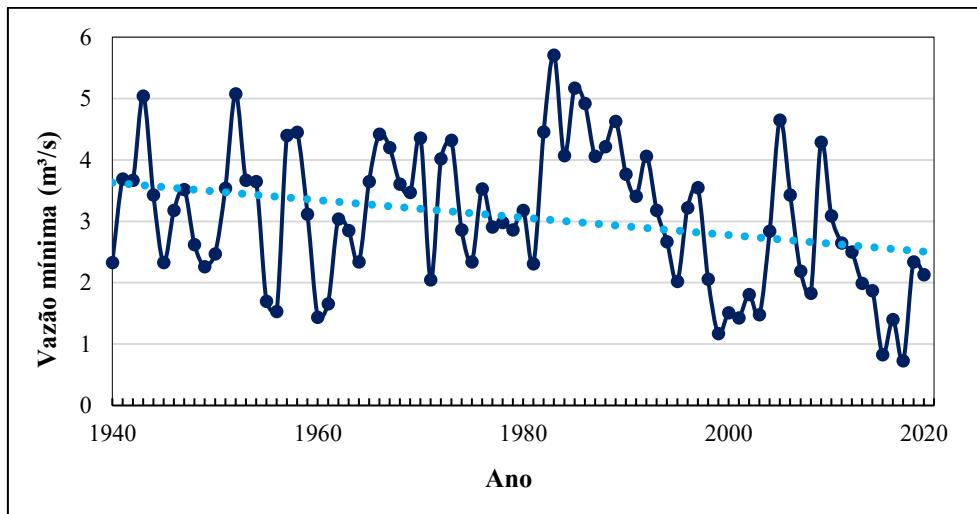


Figura 3 – Dados das precipitações anuais da estação 2044038 com presença de tendência decrescente

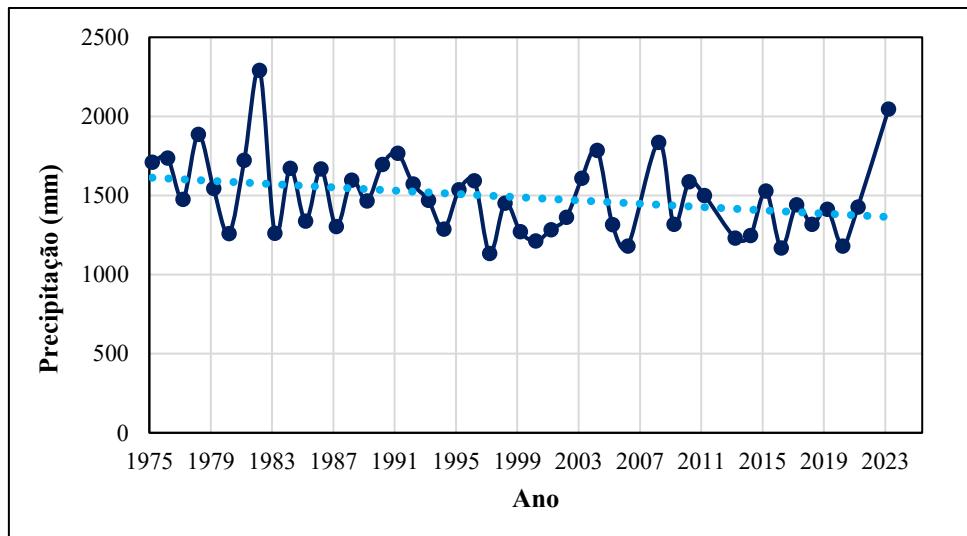
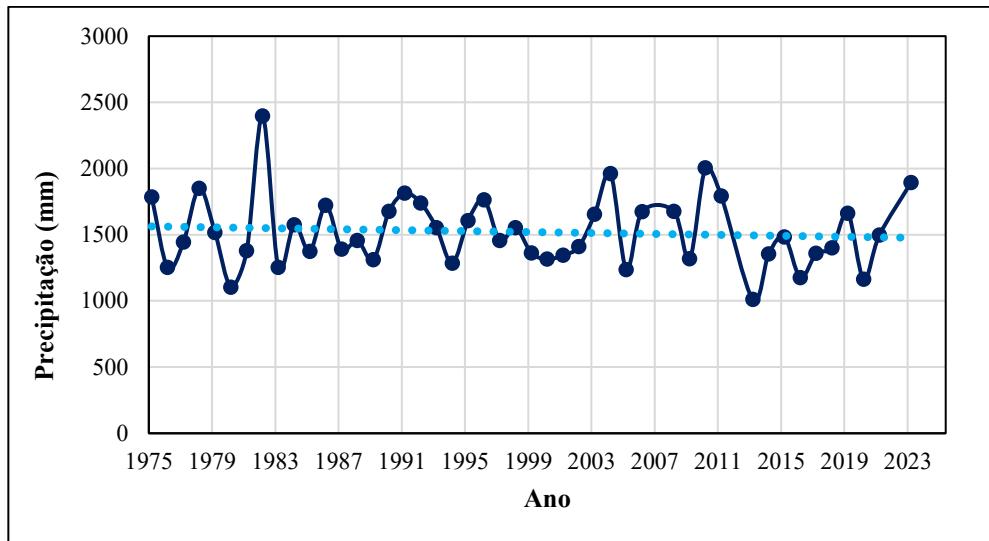


Figura 4 – Dados das precipitações anuais da estação 2144020 com ausência de tendência



No que se refere ao uso e ocupação do solo na área de estudo, foram identificadas mudanças significativas entre os anos de 1985 e 2023, conforme apresentado na Tabela 3 e na Figura 5. Ao longo dos 38 anos analisados, observou-se uma redução de 48,17 km<sup>2</sup> (8,64%) nas áreas destinadas às atividades agropecuárias, concomitantemente a um aumento de 39,75 km<sup>2</sup> (30,48%) nas áreas vegetadas e de 0,09 km<sup>2</sup> (9,03%) nos corpos d'água.

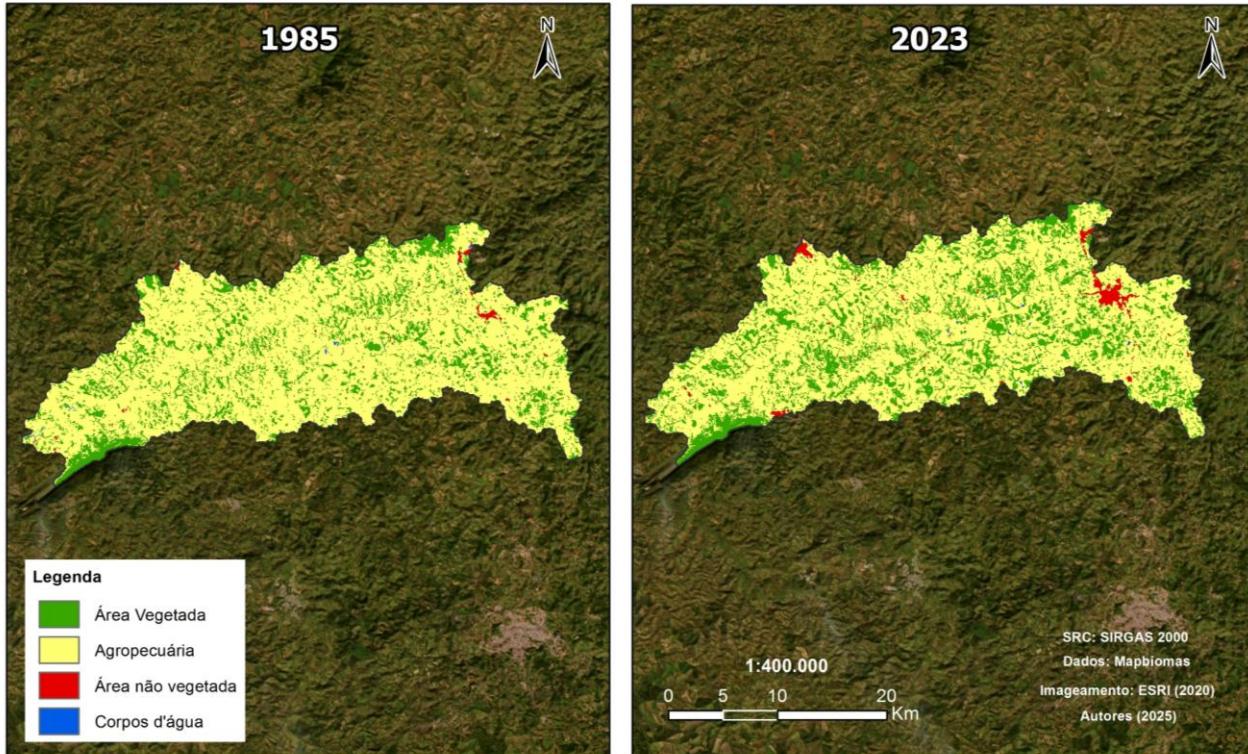
Essa dinâmica pode ser explicada pela mudança no perfil econômico predominante da região: aproximadamente dois terços dos municípios inseridos na área de estudo migraram sua principal atividade econômica da agropecuária para o setor de serviços (PDRH, 2014). Esse processo favoreceu o abandono de áreas anteriormente utilizadas para pastagens ou cultivo, possibilitando a regeneração da vegetação nativa em determinadas zonas e, consequentemente, contribuindo para a conservação de corpos hídricos.

Por outro lado, a classe de áreas não vegetadas apresentou aumento expressivo de 7,34 km<sup>2</sup> (236,72%), impulsionado pela expansão urbana, motivada principalmente pela criação de postos de trabalho nos setores industrial e mineral, o que tornou a zona urbana mais atrativa para a população.

Tabela 3 – Relação de área em porcentagem e forma de uso e ocupação do solo na área à montante da estação fluviométrica Usina São João Del Rei

Tipo de uso	Área em 1985	Área em 2023	Variação	
	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%
Área vegetada	130,42	170,17	39,75	30,48
Agropecuária	511,40	464,22	-47,18	-8,64
Corpos d'água	0,95	1,04	0,09	9,03
Área não vegetada	3,10	10,44	7,34	236,72

Figura 5 – Alterações no uso e ocupação do solo na área à montante da estação fluviométrica Usina São João Del Rei



Os dados referentes à área a montante da estação indicam que a ampliação da oferta de empregos por empresas terceirizadas ligadas aos setores industrial e mineral provocou um processo de êxodo rural em determinadas localidades, ao mesmo tempo em que atraiu novos moradores para os centros urbanos. Essa transição, contudo, não eliminou a relevância da atividade agropecuária, que permanece predominante, ocupando 71,87% da área total. O que se observa é uma reconfiguração econômica, em que a agropecuária passou a coexistir com novos setores produtivos, especialmente o de serviços.

Essas transformações estruturais contribuem para compreender os possíveis fatores associados à redução das vazões dos corpos hídricos no período analisado. Com a manutenção da atividade agropecuária e o crescimento expressivo do setor de serviços, houve uma intensificação da urbanização e, consequentemente, do consumo de água, impulsionado pelo aumento populacional e pelas demandas industriais.

Essas alterações impactam diretamente a dinâmica hidrológica regional, especialmente sobre as vazões mínimas, cuja redução pode estar relacionada ao aumento da demanda hídrica e à diminuição da recarga subterrânea. A impermeabilização do solo nas áreas urbanas e a remoção da vegetação nativa para a implantação de cultivos e pastagens reduzem a capacidade de infiltração da água no solo, comprometendo a reposição dos aquíferos e a sustentação das vazões de base dos cursos d'água.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise da série fluviométrica, utilizando o teste de Mann-Kendall, indicou tendência estatisticamente significativa de redução nas vazões mínimas na estação Usina São João Del Rei, enquanto as vazões médias e máximas permaneceram estatisticamente estáveis ao longo do período analisado. No que se refere às séries pluviométricas, foi identificada uma tendência de redução dos volumes precipitados na estação de Resende Costa, ao passo que a estação Usina São João Del Rei não apresentou variações significativas com o passar dos anos. Embora a estação Resende Costa esteja localizada fora da bacia de contribuição da estação fluviométrica em questão, os dados sugerem que a redução das vazões mínimas pode estar parcialmente associada à diminuição da precipitação observada regionalmente.

Entre os anos de 1985 e 2023, a área de influência direta da estação Usina São João Del Rei passou por alterações significativas no uso e ocupação do solo. Embora as classes agropecuária e vegetação natural permaneçam majoritárias, representando cerca de 98% da área total, houve um crescimento expressivo nas áreas não vegetadas — especialmente aquelas associadas à urbanização e à mineração — com um aumento aproximado de 267% no período. Essas transformações refletem a intensificação das atividades econômicas na região, impulsionadas principalmente pela expansão do setor de serviços e pelas demandas geradas pelo aumento populacional.

A tendência de redução das vazões mínimas identificada pode, portanto, estar associada majoritariamente às mudanças no uso e ocupação do solo, destacando-se a persistência da agropecuária e o avanço da urbanização e da atividade minerária. O aumento da demanda hídrica por parte dessas atividades contribui para a intensificação dos impactos sobre o ciclo hidrológico, afetando negativamente processos como a infiltração da água no solo, o escoamento superficial e a recarga dos aquíferos. Tais alterações tornam o sistema hídrico mais vulnerável a eventos extremos, como estiagens prolongadas, e ressaltam a importância da adoção de práticas de gestão integrada que equilibrem a conservação dos recursos naturais com o desenvolvimento socioeconômico da região.

Como desdobramento futuro deste estudo, recomenda-se a ampliação da análise de tendências hidrológicas e pluviométricas, com a incorporação de dados provenientes de outras estações localizadas ao longo da bacia do rio Carandaí. Essa abordagem permitirá uma avaliação mais abrangente das interações entre o uso e ocupação do solo e as variações nos regimes de precipitação e vazão, fornecendo subsídios técnicos mais robustos para a formulação de políticas públicas voltadas à sustentabilidade hídrica regional.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional pelo apoio institucional ao Projeto “Proposição de carteira de projetos de intervenção vislumbrando o aumento da recarga das vazões afluentes, ampliação da flexibilização operativa dos reservatórios e melhoria da navegabilidade nas bacias dos rios São Francisco, Parnaíba, Paranaíba e Grande”, cuja colaboração foi fundamental para o desenvolvimento das análises apresentadas neste estudo. Agradecemos também à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) pela valiosa contribuição técnica, acadêmica e institucional ao longo de todas as etapas da pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, G. G. L.; PAIVA, A. L. R.; OLIVEIRA, L. M. M.; LEONARDO, H. R. A. L. Análise de índices climáticos para avaliação do efeito de mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 01, p. 01-17, 2020.
- BEDOYA, M. A.; RAMÍREZ, B. H. The effects of climate and forest cover variability on the hydrological regulation of an eastern Andean Cusiana river sub-basin. *Ecohydrology and Hydrobiology*, v. 23, n. 4, p. 569–587, 2023.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. “Precipitação”. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2<sup>a</sup> ed., Porto Alegre: Editora da Universidade, 2001. p.177-241.
- BRASIL. Lei nº9433/1997, de 8de janeiro de 1997. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF. 08 jan.1997. Seção III. 1997.
- FISCH, G.; SANTOS, T. A.; SILVA, R. C. Water security in the Vale do Paraiba's basin: future scenarios. *Ambiente & Água*, v. 12, n. 6, p. 881-887, 2017.
- GUIMARÃES, Márcia Maria. MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOMÉTRICO DA BACIA DO RIO DAS MORTES-MG. Disponível em: [https://scholar.google.com/scholar?hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5&q=MONITORAMENTO+HIDROSEDIMENTOM%C3%89TRICO+DA+BACIA+DO+RIO+DAS+MORTES+%E2%80%93+MG&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=MONITORAMENTO+HIDROSEDIMENTOM%C3%89TRICO+DA+BACIA+DO+RIO+DAS+MORTES+%E2%80%93+MG&btnG=). Acesso em: 1 jun. 2025.
- HAN, M. K.. J. P. J. Data Mining: Concepts and Techniques. [S.I.]: Morgan Kaufmann, 2011.
- MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. Plano Diretor de Recursos Hídricos: Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes – Unidade de Planejamento e Gestão GD2: Proposta de Enquadramento. Belo Horizonte: IGAM, 2010. Disponível em: <http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/jspui/handle/123456789/3183>. Acesso em: 1 jun. 2025.
- PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS (PDRH) GD2. **Bacia Hidrográfica do Rio Grande**. PDRH, 2014. Disponível em: <http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 04 jun. 2025.
- SILVA, Jaíza Ribeiro Mota e; RODRIGUES, Jéssica Assaid Martins; OLIVEIRA, Luiz Fernando Coutinho de; VIOLA, Marcelo Ribeiro. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio das Mortes (MG). *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 119–132, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n1e007659. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/7659>. Acesso em: 1 jun. 2025.
- SILVA, R. M. da; SANTOS, C. A. G.; MOREIRA, M.; CORTE-REAL, J.; SILVA, V. C. L.; MEDEIROS, I. C. Rainfall and river flow trends using Mann–Kendall and Sen’s slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. *Natural Hazards*, v. 77, n. 2, p. 1205–1221, 2015
- SILVA, Thomas Fernandes da. Análise estatística e tendência das precipitações no município de Caruaru. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso.