

Received:
April 16, 2024

Accepted:
April 28, 2025

Published:
April 30, 2025

Assessing the impact of Land Use, Land Cover, and Precipitation on Water Quality in the Funil Stream, Ouro Preto – MG, Brazil

Tasmine Miranda Ramos¹ , Rodrigo Esteves Ribeiro¹ , Francisco César Dalmo¹ ,
Luan Brioschi Giovanelli¹ 

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, Brasil.

Email address

tasmine.miranda@ufvjm.edu.br (Tasmine Ramos) – Corresponding author.

rodrigo.ribeiro@ufvjm.edu.br (Rodrigo Ribeiro)

francisco.dalmo@ufvjm.edu.br (Francisco Dalmo)

luan.giovanelli@ufvjm.edu.br (Luan Giovanelli)

Abstract

With population growth, the demand for water resources increases, intensifying environmental pressures. Among these, inadequate land management practices can significantly affect the integrity of aquatic ecosystems. This study investigates the effects of precipitation patterns and anthropogenic changes in the landscape on water conditions in a watershed located in Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. Data on water parameters were collected from the Minas Gerais Water Management Institute (IGAM), precipitation records from the National Institute of Meteorology (INMET), and land cover data from the United States Geological Survey (USGS), analyzed using ArcGIS 10.5/ArcMap®. The results indicate variations in water characteristics associated with increased surface runoff and the mobilization of geological materials, including heavy metals. These changes appear to be linked to soil exposure over time, as observed in remote sensing analyses. Additionally, the presence of mining activities in the area may be a contributing factor to water quality degradation.

Keywords: Environmental impact, Geoprocessing, Remote sensing, Surface runoff.

1. Introdução

Os recursos naturais são definidos como os elementos que se originam sem a intervenção humana e que são utilizados para satisfazer as necessidades antrópicas, podendo estes serem renováveis ou não renováveis, com componentes provindos de recursos minerais, biológicos, ambientais, fauna e flora, entre outros (Lacerda, 2015). Ainda segundo o autor, a gestão de recursos naturais trata de ações que possuem a finalidade de regular o uso e assim proteger os recursos naturais, e a necessidade de gerenciamento cresce à medida que a demanda e competição por esses recursos aumenta.

O crescimento populacional, bem como os avanços das atividades industriais, agropecuárias e de mineração, em conjunto com o aumento da demanda por recursos naturais, são os responsáveis pela ampliação de impactos ambientais negativos,

principalmente em corpos hídricos. Dentre eles, destaca-se as alterações acarretadas pelo uso e ocupação do solo, sendo um dos fatores que mais podem influenciar na qualidade das águas.

De acordo com (Calda, Silva e Santos, 2019), o solo consiste em um recurso natural de fundamental importância para entendimento dos processos que ocorrem em uma bacia hidrográfica. A erosão deste ocorre de forma cíclica e natural, contribuindo para modelagem da paisagem. Porém, esse processo vem sendo acelerado, devido à pressão antrópica com seu uso intensivo.

A fim de monitorar o uso e ocupação do solo, são utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para mapeamento deste, com a finalidade de se obter informações por meio de ferramentas que otimizam tempo de coleta e de tratamento dos dados.

A avaliação da qualidade de água é realizada por meio da análise de parâmetros físicos, químicos,

biológicos e organolépticos, de acordo com os limites exigidos para cada classe de rio, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005). O Índice de Qualidade da Água (IQA), é utilizado como principal índice de qualidade da água (ANA, 2025).

A precipitação pode influenciar na qualidade de um corpo d'água, já que esta pode desencadear processos erosivos, de acordo com o uso e ocupação do solo e outros fatores, alterando turbidez, cor e até mesmo a presença de matéria orgânica (Fritzsens et al., 2003).

Diante do exposto, o presente trabalho busca levantar a influência do uso e ocupação do solo em conjunto com a precipitação, na qualidade da água do Ribeirão Funil, localizado no município de Ouro Preto/MG.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Ouro Preto, que se encontra nas coordenadas aproximadas: Latitude 20°23'08" S e Longitude 43°30'20" W; localiza-se na Serra do Espinhaço, região do Quadrilátero Ferrífero, porção centro-sudeste do Estado de Minas Gerais, com uma população de 76.069 habitantes, de acordo com o censo de 2022 do IBGE (IBGE, 2022). Faz divisa com os municípios de Mariana, Itabirito, Santa Bárbara, Piranga, Catas Altas da Noruega, Itaverá, Ouro Branco, Congonhas, Belo Vale e Moeda.

Na Figura 1 é dado destaque para a localização da microbacia do Ribeirão Funil, que possui nascente na região do Distrito de Rodrigo Silva e foz no Rio das Velhas, sendo um importante afluente deste, formado por vários córregos; e do local de análise, no qual foram coletadas as amostras para determinação dos parâmetros associados à qualidade da água. A microbacia abrange um total de 4 distritos do município de Ouro Preto, sendo eles o Distrito de Ouro Preto (distrito sede), Cachoeira do Campo, Rodrigo Silva e Glaúra, com menor parcela de predominância neste último.

O local de análise encontra-se próximo ao ponto de captação da Estação de Tratamento de Água (ETA) Funil, localizado no distrito de Cachoeira do Campo, com coordenadas: Latitude 20°22'12"S e Longitude 43°37'48"W. A estação trata cerca de 60 litros de água potável por segundo,

que abastece cerca de 85% da população desse Distrito, além de atender os bairros de Santo Antônio do Leite e Glaúra e os subdistritos de Maracujá e Coelhos (Saneouro, 2021). Essa estação pertencera a extinta autarquia Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto (SEMAE-OP), e atualmente está sob administração da Ouro Preto Serviços de Saneamento (Saneouro) (Ouro Preto, 2020).

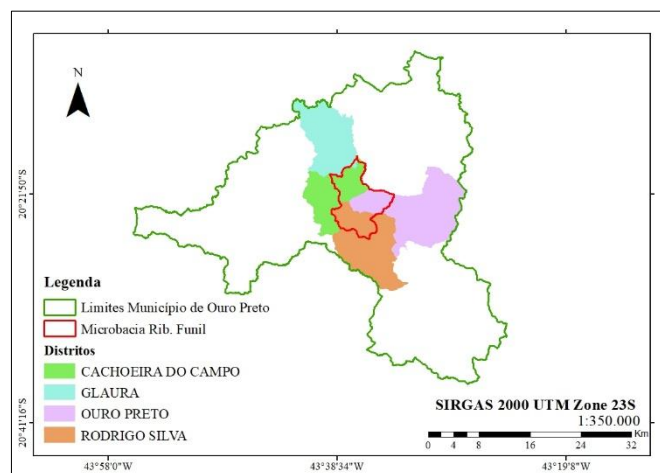


Figura 1 - Localização da bacia do Ribeirão Funil e local de análise

2.2. Parâmetros para avaliação da qualidade da Água

Os resultados das análises de qualidade da água do Ribeirão Funil estão disponibilizados no endereço eletrônico do IGAM, com dados de análises realizadas nos meses de janeiro, abril, julho e outubro, sendo uma análise para cada mês. Foram levantados os valores dos seguintes parâmetros: Oxigênio Dissolvido, temperatura da água, pH, Demanda Bioquímica da Água, Coliformes Totais, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Turbidez e Sólidos Totais, necessários para cálculo do IQA.

Foram também analisados os valores de metais pesados, com destaque para o Ferro e o Manganês. Dias e Gonçalves (2024), Rosário, Salvador e Barros (2021) e Valentini et al. (2021), também utilizaram a metodologia do IQA para determinar a qualidade da água em diferentes cursos d'água.

2.3 Dados de precipitação

Para análise dos dados pluviométricos deve ser realizado o levantamento de estações pluviométricas próximas à área de estudo. No

entanto, após consulta aos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), verificou-se que existia apenas uma estação meteorológica na área, que foi desativada em janeiro de 1993.

Posterior a isso, só existem dados a partir de dezembro de 2013, em todo o município de Ouro Preto, com estações de responsabilidade do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), que possuem falhas no ano de 2015, no segundo semestre de 2017, nos anos de 2018 e 2019 e no primeiro semestre do ano de 2020. Sendo assim, a estação mais próxima escolhida, e que possui dados nos anos de análise, é a do município de Ouro Branco, de responsabilidade do INMET, e que se encontra a 17 km do local de estudo.

Tendo em vista que as análises de qualidade da água foram realizadas a cada três meses, aproximadamente, utilizou-se os valores acumulados de precipitação entre as datas de realização destas análises, a fim de determinar a relação entre a precipitação e os valores dos parâmetros associados a qualidade da água e o IQA. Desta forma, dividiu-se o período em trimestres, sendo o Trimestre 1 com precipitações acumuladas entre outubro e janeiro; o Trimestre 2 com acúmulo entre janeiro e abril; o Trimestre 3, correspondente ao acúmulo entre abril e julho; e o Trimestre 4 com acúmulo de precipitação entre julho e outubro

2.4 Tratamento de dados do sensoriamento remoto

Para a elaboração dos mapas temáticos da região de estudo, utilizou-se o software ArcGis 10.5/ArcMap®, e imagens de satélites referentes aos anos de 2012, 2014, 2016, 2018 e 2020, disponibilizadas pela U.S. Geological Survey (USGS), em seu endereço eletrônico. No ArcGis, criou-se um mosaico com os arquivos da região escolhida (Mosaico to New Raster), e determinou-se o modelo digital de elevação e, a partir dele, o mapa de declividade da região. Em seguida, converteu-se a base de dados de WGS1984 para SIRGAS 2000 UTM Zone 23S. Para regularizar as imperfeições nos dados, utilizou-se a função Fill. Com o modelo corrigido, determinou-se a direção (Flow Direction) e a acumulação de fluxo de água (Flow Accumulation). Posterior a isso, realizou-se o cálculo do fluxo de água de montante para jusante (Flow Length) e agrupou-se os conjuntos de cursos d'água (Stream Order). A partir dos dados gerados,

estabeleceu-se uma condição (Con) sobre o último arquivo gerado, de 1000 células de contribuição, a fim de determinar a drenagem que mais se assemelhasse com a disponibilizada pelo IBGE. A partir disso, podemos obter o arquivo em formato raster (matricial) da drenagem local (Raster to Polyline).

Diante desses dados, identificou-se a foz do rio, criou-se um ponto para indicá-la e alinhou-se os pontos de fluidez com o valor mais alto do fluxo acumulado, já definido anteriormente (Snap Pour Point). Diante desses dados, realizou-se a delimitação da bacia (Watershed) e transformou-se os dados de raster para um polígono (Raster to Polygon), para obtenção do arquivo shapefile da bacia de estudo.

O recorte da área do MDE da bacia foi realizado utilizando-se a função Clip sob o arquivo shape da bacia do Ribeirão Funil. Utilizando-se a ferramenta Slope, foi possível elaborar o mapa de declividade; já o mapa de ordenamento de rios foi elaborado por meio da função Stream Order. O mapa de solos foi elaborado a partir dos dados de solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (Amaral et al., 2004). O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado a partir das imagens do USGS do satélite LandSat 7 para o ano de 2012 e Landsat 8 para os anos de 2014, 2016, 2018 e 2020. Buscou-se adquirir as melhores imagens para representar os períodos secos e chuvosos.

Para as imagens do Landsat 7 houve a necessidade de realizar um mosaico de cada banda de duas imagens com datas próximas, a fim de minimizar o erro que as imagens desse satélite continham. Posterior a isso, a partir da ferramenta Fix Landsat 7 Scanline Errors, existente na caixa de Ferramentas Landsat ToolBox disponibilizada no endereço eletrônico do ArcGis, pôde-se então reparar as falhas com menor impacto às imagens e combinar as bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 associadas as cores vermelho, verde e azul (Composite Bands). Aumentou-se a nitidez da imagem com a banda 8 (Create Pan Sharpened (Lambert e Brower, 1998) Raster Dataset) para uma resolução espacial de 15 metros. Essa técnica de fusão de imagens para melhorar a resolução espacial é descrita também em Feng et al. (2024), Gao et al. (2023), Zhou et al. (2022), Wu et al. (2021), e Javan et al. (2021).

A partir do resultado desse processo e da determinação dos diferentes tipos de uso e ocupação, realizou-se uma classificação

supervisionada da área de estudo. Os procedimentos realizados para as imagens do Landsat 8 resumem-se na combinação das bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 e melhora de nitidez, para se obter resolução espacial de 15 metros e posteriormente, a classificação supervisionada sobre a área. As imagens de satélite foram escolhidas de acordo com os períodos secos e chuvosos dos anos analisados. Utilizou-se as imagens com o mínimo de intervenções (presença de nuvens) possível, com data mais próxima possível do final dos períodos de análise.

3. Resultados e discussão

3.1 A Bacia do Ribeirão Funil

Conforme verificou-se após a confecção do MDEHC (Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado – Figura 2) da área de estudo, a bacia do Ribeirão Funil possui uma área de aproximadamente 60,89 km² e 56,28 km de perímetro, e altitudes máxima e mínima de 1575 m, e 959 m, respectivamente.

A área abrangente de cada classe de declividade é exibida na Tabela 1. A bacia possui um relevo Forte Ondulado predominante, conforme a classificação da EMBRAPA (EMBRAPA, 1979). Logo, o risco de a área sofrer processos erosivos é significativo.

Os tipos de solo presentes na bacia são Cambissolos, Latossolos e Neossolos, com predominância do Neossolo Litólico - solo relativamente novo e suscetível a erosão. O solo do Tipo Latossolo vermelho-amarelo se concentra nas regiões de maior declividade, enquanto o Cambissolo Háplico se concentra em regiões de declividade mais baixas.

De acordo com Amaral et al. (2004), Cambissolos são geralmente solos mais cascalhentos, com horizontes de pouca profundidade. Os Latossolos consistem em solos mais profundos e desenvolvidos, geralmente bem drenados. Os Neossolos possuem horizontes bem rasos, geralmente com cascalho ou até mesmo rochosos (Amaral et al., 2004).

Levando-se em consideração o sentido do escoamento existente na bacia até o ponto de análise, realizou-se a delimitação área de drenagem a montante desse ponto (Figura 3). Desta forma, o uso e ocupação do solo foram determinados para a área de drenagem.

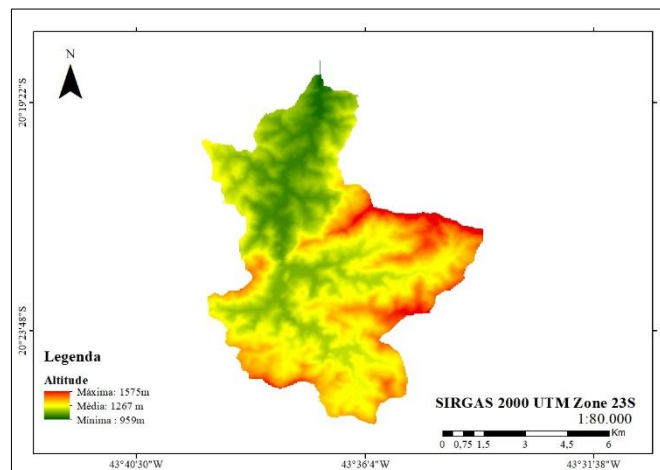


Figura 2 - Modelo digital de elevação hidrograficamente condicionado da bacia do Ribeirão Funil.

Tabela 1 - Porcentagem de área para cada classe de declividade da Bacia do Ribeirão Funil.

Tipo de Relevo	Área (km ²)	Área (%)
Relevo Plano	1,56	3
Relevo Suave Ondulado	2,61	4
Relevo Ondulado	15,83	26
Relevo Forte Ondulado	34,22	56
Relevo Montanhoso	6,22	10
Relevo Escarpado	0,44	1
Área Total	60,89	100

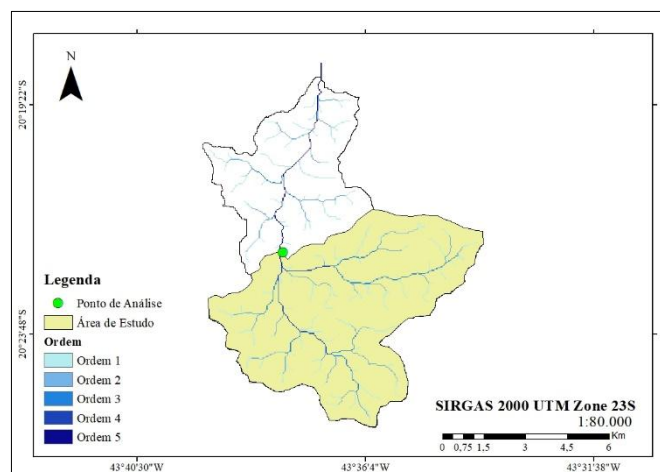


Figura 3 - Drenagem da bacia do Ribeirão Funil e Área de Drenagem a montante do ponto de análise.

3.2 Dados de precipitação

Os dados de precipitação anual obtidos na estação localizada no município de Ouro Branco durante o período do estudo são apresentados na Figura 4. Observa-se que o período seco se concentra entre os meses de abril a setembro, e o período úmido de outubro ao mês de março.

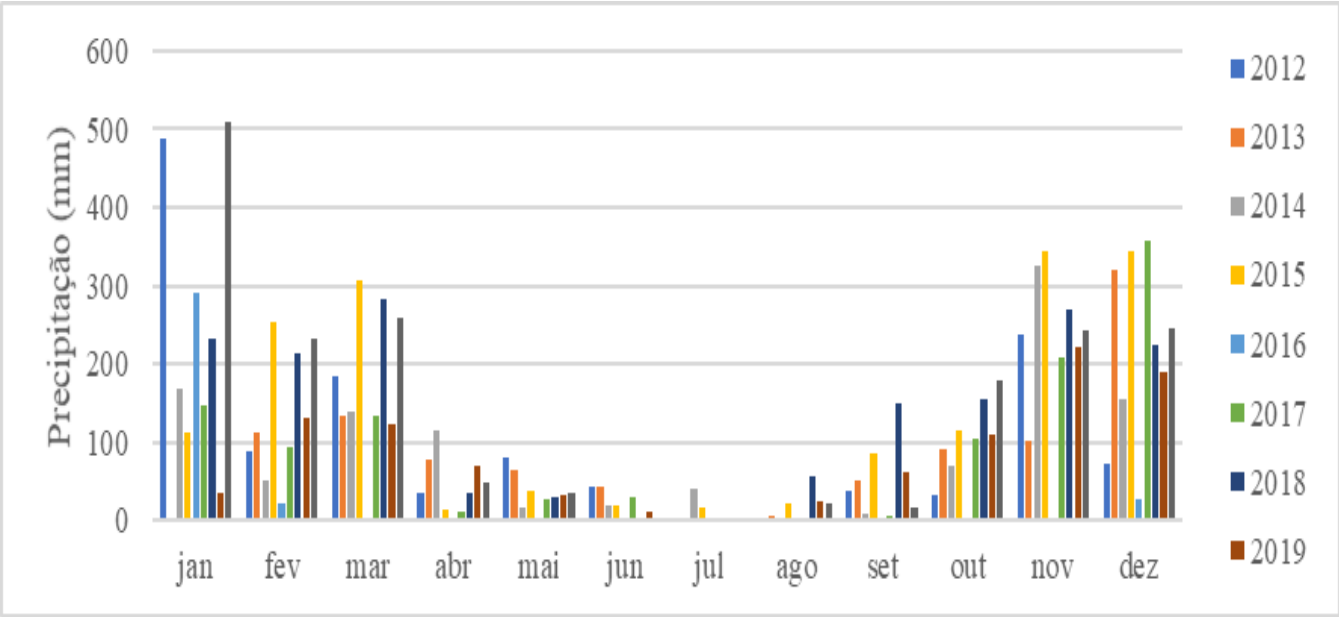


Figura 4 - Precipitação da estação Ouro Branco, MG.

3.3 Parâmetros de Qualidade da Água

As relações entre o acúmulo de precipitação entre as datas de realização das análises e cada um dos parâmetros analisados no presente estudo são exibidos nas Figuras 5 e 6.

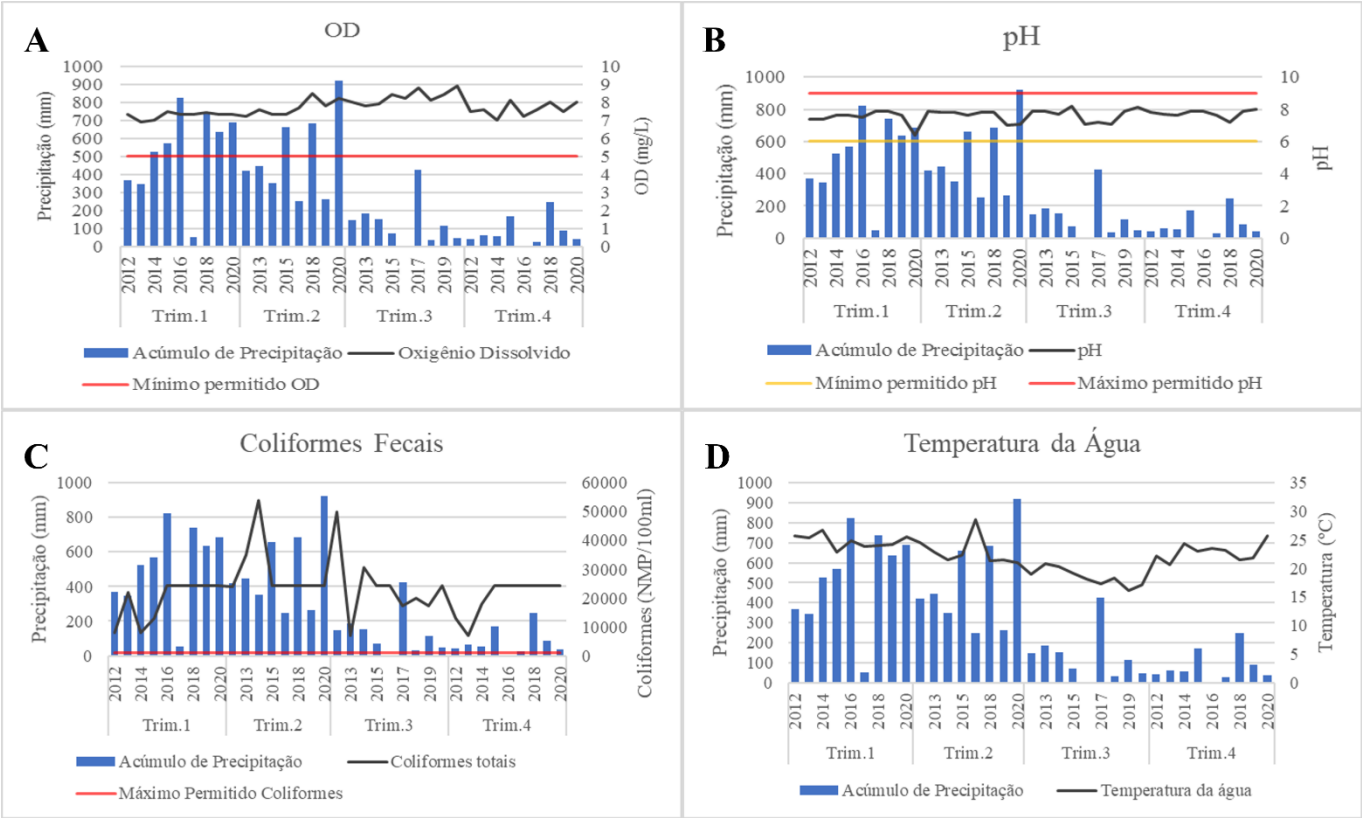


Figura 5 - Relação entre o oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH e temperatura da água com o total precipitado.

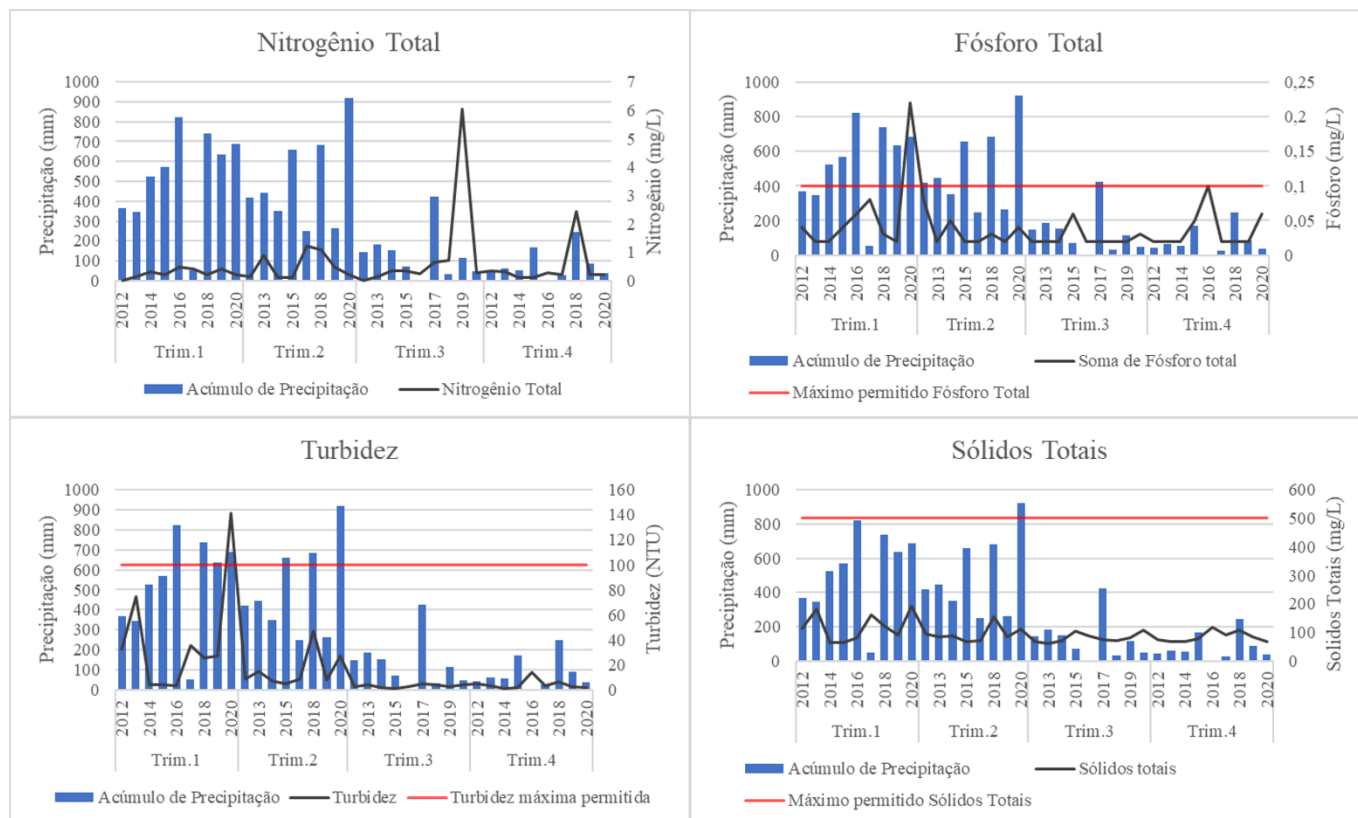


Figura 6 - Relação entre nitrogênio total, fósforo total, turbidez e sólidos totais e o total precipitado.

De posse da Figura 5A, observa-se que os valores de Oxigênio Dissolvido variaram de 6,9 mgL^{-1} a 8,9 mgL^{-1} . Os valores mais altos se concentraram durante o Trimestre 3, com baixas precipitações e período mais frio, enquanto os menores valores se encontram entre os Trimestres 4 e 1. Valores baixos para o Trimestre 1 podem retratar o aumento de compostos orgânicos e nutrientes, acarretando maior demanda de oxigênio.

O que também interfere na concentração de oxigênio é a temperatura, já que a sua concentração tende a diminuir à medida que a temperatura aumenta (Oliveira e Cunha, 2014). Apesar dessa variação, os valores se mantiveram acima do valor mínimo permitido estabelecido pelo CONAMA, (2005). Segundo Soares, Cruz e Silva (2019), os níveis de OD dependem da fotossíntese, respiração e decomposição da matéria orgânica.

A temperatura da água está diretamente ligada com o clima, altitude, presença de mata ciliar, contribuição subterrânea e efluentes (Soares, Cruz e Silva, 2019). Para os dados de temperatura da água, nota-se uma queda na temperatura até o Trimestre 3, caracterizado por temperaturas mais baixas. A temperatura mais alta registrada foi para o ano de 2016, sendo de 28,6°C, e a menor foi para o ano de 2019, de 16,1°C (Figura 5B)

De acordo com a Figura 5C, a presença de coliformes fecais se mantiveram entre 7000 NPM/100ml e 54000 NPM/100ml, valores acima do permitido estabelecido pelo CONAMA (2005). O aumento do número de coliformes fecais se dá principalmente pelo lançamento de esgotos nos corpos hídricos. Foram observados os maiores valores nos Trimestres 2 e 3.

Os valores de pH (Figura 5D) variaram entre 6,4 e 8,2, sem ultrapassar os limites estabelecidos pelo CONAMA (2005). Em maior parte do período de análise, o pH retrata a água do ribeirão levemente alcalina. Já os níveis de nitrogênio se mantiveram mais baixos durante o Trimestre 1, mais chuvoso, e com leve aumento no trimestre posterior, caracterizado por precipitações médias, e queda nos Trimestres seguintes, com valores de precipitação baixos, com exceção de dois eventos nos anos de 2018 e 2019 para os Trimestres 4 e 3 respectivamente.

Os parâmetros de Fósforo, Turbidez e Sólidos totais apresentam maiores valores para o Trimestre 1, mais chuvoso (Figura 6). Isso pode caracterizar o maior transporte de sedimentos e matéria orgânica por conta dos maiores valores de precipitação. Em relação aos valores máximos permitidos estabelecidos pelo CONAMA (2005) para estes

parâmetros, estes estiveram, em sua maioria, dentro dos valores estabelecidos.

Nos dados analisados, não houve variações significativas de Demanda Bioquímica de Oxigênio. Esse cenário retrata uma possível falha nas análises desse parâmetro, já que os valores são idênticos em maior parte dos dados apresentados. Os valores para os índices de Qualidade da Água para o ribeirão são apresentados na Figura 7, em comparação com o acúmulo de precipitação. De acordo com a classificação do IQA para Minas Gerais da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2025), durante grande maioria do período analisado o IQA se manteve com qualidade “Razoável”, se tornando “Ruim” apenas na análise de janeiro do ano de 2020.

Dessa forma, não foi possível relacionar os valores de IQA com a precipitação, devido à baixa variação dos resultados de um trimestre para o outro, durante os anos de análise.

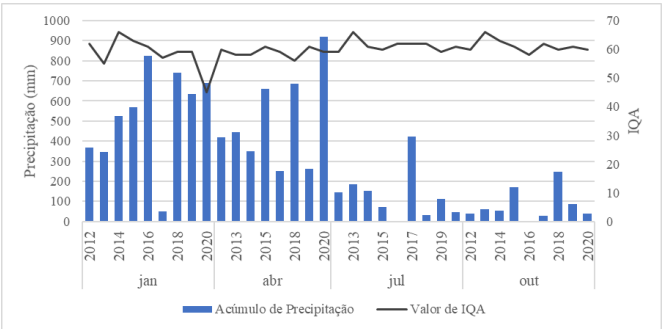


Figura 7 - Comparação entre IQA e precipitação - 2012 a 2020.

Os dados para os metais pesados se mantiveram em sua maioria constantes para as concentrações de Alumínio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio e Selênio. Os valores que tiveram maior variação foram para os componentes Ferro (Figura 8) e Manganês (Figura 9).

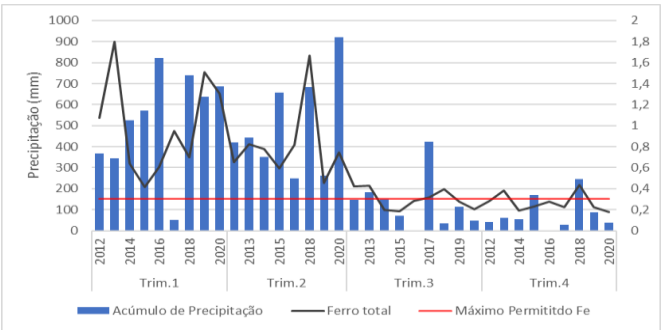


Figura 8 - Variação de ferro total e precipitação - 2012 a 2020.

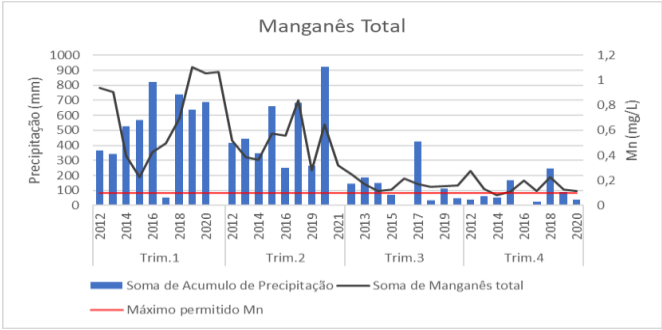


Figura 9 - Variação de manganês e precipitação - 2012 a 2020.

Os elementos ferro e manganês são metais encontrados na natureza. A presença em águas superficiais é comum no Brasil, principalmente devido as características geoquímicas de cada região. São considerados de baixa toxicidade para a saúde pública, desde que não ultrapassem as concentrações máximas permitidas estabelecidas pelo CONAMA (2005) que podem afetar a qualidade da água, além de incrustação em canalizações (Santos et al., 2020).

Segundo o CETESB (2020), o aumento da presença de Ferro e Manganês em águas superficiais está ligado ao carreamento de solos, que aumentam durante as estações chuvosas, principalmente em regiões com pouca mata ciliar. Esse cenário foi observado nos semestres que apresentaram as maiores precipitações, sendo que os valores para ferro total e para manganês ultrapassam, em maior parte do tempo, os limites estabelecidos pelo CONAMA (2005).

As porcentagens de área para cada classe de uso e ocupação do solo para a área de drenagem a montante do ponto de interesse do estudo estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Porcentagem de área para cada classe de uso e ocupação do solo para área de análise da Bacia do Ribeirão Funil.

Ano	Vegetação Densa/ Floresta	Vegetação Baixa/ Pastagem	Solo Exposto	Área Urbana/ Rocha
2012	54 %	9%	32%	5%
2014	41%	15%	32%	12%
2016	41%	20%	32%	7%
2018	41%	13%	39%	7%
2020	43%	8%	44%	5%

A determinação do uso e ocupação do solo é de suma importância, tendo em vista que um dos maiores poluidores de recursos hídricos é o transporte de sedimentos. A partir do processamento dessas informações, é possível pontuar os principais focos da alteração da qualidade da água (Pontes, Marques e Marques, 2012; Menezes et al., 2016; Vieira e Ribeiro, 2021).

É de se esperar que durante o período seco ocorra a diminuição da vegetação mais densa e aumente a vegetação baixa e o solo exposto da região, por conta dos fatores climáticos. Porém, como é apontado na Tabela 2, há uma perca significativa na classe Vegetação Densa/Floresta com o passar dos anos, bem como houve também o aumento considerável de Solo Exposto e Vegetação Baixa/Pastagem durante o período de análise, o que pode retratar os impactos que a bacia vem sofrendo por consequência de ações antrópicas.

A área mais evidente caracterizada como Área Urbana/Rocha Exposta, localizada mais a noroeste dos mapas, trata-se de uma mineradora instalada na região. Nascimento et al. (2019), aponta que as atividades de mineração geram grande quantidade de resíduos, e afirma que, apesar do aumento da concentração de metais e semimetais para as análises de água ter relação com a geologia regional, as atividades mineradoras intensificam a mobilização e disponibilidade de metais na bacia.

4. Conclusão

Com o auxílio das imagens de satélite disponibilizadas pelo USGS, tratadas por meio do software ArcGis 10.5, foi possível determinar a cobertura do solo para todos os anos de análise. Os Índices de Qualidade de Água para o Ribeirão Funil ao longo dos anos de 2012 a 2020, não apresentaram variação significativa, apesar da diminuição da vegetação densa, e o crescimento da classe de solo exposto. Porém, ao se analisar os parâmetros isoladamente, percebe-se uma mudança significativa nas concentrações de Coliformes Termotolerantes, Ferro e Manganês, com maiores valores em períodos de maiores precipitações.

Nesse contexto, a precipitação, em conjunto com a dinâmica do uso e ocupação do solo, são possíveis causas das alterações desses parâmetros. A presença de metais na água do Ribeirão Funil pode estar diretamente ligada à sua exposição para a superfície do solo, seja por influência das atividades da mineradora na região, ou pelo

aumento da exposição dos solos, advinda de ações antrópicas atuantes no local, como a implementação de áreas de pastagem, já que as áreas abrangidas por essa classe cresceram com o passar dos anos. Os altos valores de coliformes podem retratar o lançamento direto de esgotos no corpo d'água, o que deve ser analisado em futuros estudos.

Referências

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, n.d. *Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA)*. Available at: <<https://www.ana.gov.br/portaldpnqa/indicadores-indice-aguas.aspx>> [Accessed 1 April 2025].

Amaral, F.C.S., Santos, H.G., Aglio, M.L.D., Duarte, M.N., Pereira, N.R., Oliveira, R.P. e Carvalho Junior, W., 2004. *Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais*. Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E). Available at: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/965988>> [Accessed 1 April 2025].

Caldas, V.I.S.P., Silva, A.S. e Santos, J.P.C., 2019. *Suscetibilidade à erosão dos solos da bacia hidrográfica lagos-São João, no Estado do Rio de Janeiro-Brasil, a partir do método AHP e análise multicritério*. Revista Brasileira de Geografia Física, 12(4), pp.1415-1430.

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1415-1430>

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2020. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo*. São Paulo. Available at: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>> [Accessed 2 April 2025].

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2005. *Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005* - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Available at: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450> [Accessed 2 April 2025].

Dias, D.A.F. and Gonçalves, J.A.C., 2024. *Índice de Qualidade da Água-IQA no médio curso rio*

- Piracicaba (MG) para os anos de 2011 e 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 17(06), pp.4575-4595. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.6.p4575-4595>
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1979. *Súmula da X reunião técnica de levantamento de solos*. In: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, p.27. Rio de Janeiro.
- Feng, X., Wang, J., Zhang, Z. and Chang, X., 2024. *Remote sensing image pan-sharpening via Pixel difference enhance*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104045>
- Fritzsos, E., Hindi, E.C., Mantovani, L.E. e Rizzzi, N.E., 2003. *As alterações da qualidade da água do rio Capivari com o deflúvio: um instrumento de diagnóstico de qualidade ambiental*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 8(4), pp.239-248.
- Gao, H., Li, S., Li, J. and Dian, R., 2023. *Multispectral Image Pan-Sharpning Guided by Component Substitution Model*. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, pp.1-13. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3309863>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. *Censo Demográfico*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Javan, F.D., Samadzadegan, F., Mehravar, S., Toosi, A., Khatami, R., Stein, A., 2021. *A review of image fusion techniques for pan-sharpening of high-resolution satellite imagery*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 171, pp.107-117. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.11.001>
- Laben, C.A. e Brower, B.V. Harris Corp. 1998. *Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening*. U.S. Pat. 6011875A.
- Lacerda, J.M.A.F., 2015. *Gestão de recursos naturais (GRN) e conflitos*. *Revista Política Hoje*, 23(1), pp.25-64. Available at: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/politica hoje/arti cle/view/3753>> [Accessed 2 April 2025].
- Menezes, J.P.C., Bittencourt, R.P., Farias, M.D.S., Bello, I.P., Fia, R. e Oliveira, L.F.C.D., 2016. *Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21(3), pp.519-534. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>
- Nascimento, L.P.D., Reis, D.A., Roeser, H.M.P. e Santiago, A.D.F., 2019. *Relação entre o uso e ocupação do solo e qualidade de água numa bacia hidrográfica impactada por rejeitos de mineração de ferro e esgoto doméstico*. *Revista Ambiente & Água*, 14. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2383>
- Oliveira, B.S.S. e Cunha, A.C., 2014. *Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá*. *Revista Ambiente & Água*, 9, pp.261-275. <https://doi.org/10.4136/ambiagua.1287>
- Ouro Preto. Gilson Martins., 2020. *Serviços de água e esgoto de Ouro Preto passam a ser operados pela SaneOuro*. Prefeitura Municipal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, pp.1-1. <https://ouropreto.mg.gov.br/noticia/1468>
- Pontes, P.P., Marques, A.R. e Marques, G. F., 2012. *Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na micro-bacia do Córrego Banguelo-Contagem*. *Revista Ambiente & Água*, 7, pp.183-194. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.962>
- Rosário, G.F.M., Salvador, N.N.B. e Barros, D.R., 2021. *Variação da qualidade das águas em um rio na região Sudeste do Brasil no longo prazo (1978-2018) segundo os índices IQA e IVA*. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(7), pp.475–486. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.007.0041>
- SANEOURO., 2022. *Abastecimento de Água: ETA Funil*. In: *Água e Esgoto*. Vila Itacolomi. Available at: <<http://www.saneouro.com.br/abastecimento-de-agua/>> [Accessed 2 April 2025].
- Santos, G.P., Lopes, K.S.R., Schuh, A.J., De Lima, J.E.A. e Holz, J.P., 2020. *Análises de ferro e manganês na água tratada de Porto Alegre/RS*. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9, pp.218-233. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020218-233>

Soares, R.D.B., Da Cruz, R.W.L. e Da Silva, C.E., 2019. *A influência da precipitação na variabilidade da qualidade da água do rio Parnaíba*. Brazilian Journal of Development, 5(9), pp.16645-16674. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n9-204>

Valentini, M.H.K., Santos, G.B., Franz, H.S. e Vieira, B.M., 2021. *Avaliação da qualidade da Lagoa Mirim por meio de métodos estatísticos e índice de violação*. Revista Ambientale, 13(1), pp.28–37. <https://doi.org/10.48180/ambientale.v13i1.264>

Vieira, I.C.B. e Ribeiro, E.A.W., 2021. *Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água no rio Itajaí-Açu, Santa Catarina*. Revista De Geografia, 38(2), pp.396–420. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2021.248822>

Wu, L., Yin, Y., Jiang, X., Cheng, T.C.E., 2021. *Pan-sharpening based on multi-objective decision for multi-band remote sensing images*. Pattern Recognition, 118. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2021.108022>

Zhou, M., Huang, J., Li, C., Yu, H., Yan, K., Zheng, N. and Zhao, F., 2022. *Adaptively Learning Low-high Frequency Information Integration for Pan-sharpening*. MM '22: Proceedings of the 30th ACM International Conference on Multimedia, pp.3375-3384. <https://doi.org/10.1145/3503161.3547924>