

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-graduação em Geografia**

Felipe Gabriel Silva Alves

**OS DESAFIOS DA COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE USOS DA TERRA E A  
SEGURANÇA HÍDRICA NA REGIÃO DE BELO HORIZONTE – MG: pressões e  
implicações ambientais na bacia do manancial Serra Azul**

Belo Horizonte  
2023

Felipe Gabriel Silva Alves

**OS DESAFIOS DA COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE USOS DA TERRA E A  
SEGURANÇA HÍDRICA NA REGIÃO DE BELO HORIZONTE – MG: pressões e  
implicações ambientais na bacia do manancial Serra Azul**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Linha de pesquisa: Geografia Física e Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães Júnior

A474d  
2023

Alves, Felipe Gabriel Silva.

Os desafios da compatibilização entre usos da terra e a segurança hídrica na região de Belo Horizonte - MG [manuscrito] : pressões e implicações ambientais na bacia do manancial Serra Azul / Felipe Gabriel Silva Alves. – 2023.

152 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientador: Antônio Pereira Magalhães Júnior.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, 2023.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Linha de pesquisa: Geografia Física e Recursos Hídricos.

Bibliografia: f. 133-150.

Inclui apêndice.

1. Recursos hídricos – Desenvolvimento – Belo Horizonte (MG) – Teses. 2. Solo – Uso – Belo Horizonte (MG) – Teses. 3. Serra Azul, Reservatório (MG) – Teses. 4. Áreas de conservação de recursos naturais – Teses. I. Magalhães Júnior, Antônio Pereira. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Geografia. III. Título.

CDU: 556.5:631.47(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

### FOLHA DE APROVAÇÃO

**"OS DESAFIOS DA COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE USOS DA TERRA E A SEGURANÇA HÍDRICA NA REGIÃO DE BELO HORIZONTE - MG: Pressões e implicações ambientais na bacia do manancial Serra Azul"**

**FELIPE GABRIEL SILVA ALVES**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia 05 de julho de 2023, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, constituída pelos seguintes professores:

**Antônio Pereira Magalhães Júnior**

IGC/UFMG

**Frederico Wagner de Azevedo Lopes**

IGC/UFMG

**Rodrigo Silva Lemos**

Instituto Guaicuy

Belo Horizonte, 05 de julho de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Frederico Wagner de Azevedo Lopes, Professor do Magistério Superior**, em 06/07/2023, às 13:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Antonio Pereira Magalhaes Junior, Professor do Magistério Superior**, em 06/07/2023, às 14:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Silva Lemos, Usuário Externo**, em 09/07/2023, às 10:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2406101** e o código CRC **C88832D8**.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, mesmo que à distância em tempos de pandemia.

À minha família, pelo apoio, mesmo que indireto. Em especial à minha mãe, Regina, à minha irmã, Flávia, e ao meu pai, Ailton, que me deram o alicerce necessário para que eu pudesse chegar aonde cheguei, mesmo sob grandes dificuldades financeiras e de instrução.

Agradeço também a Nataly Vermeuler pelo imenso apoio emocional, companheirismo e carinho, que em diversas vezes e por longos tempos segurou a emoção para não chorar comigo sobre as dificuldades que a vida nos impôs.

Ao Professor Dr. Antônio Magalhães que, além de me orientar na realização deste trabalho, também é meu mentor desde a graduação, sendo responsável em grande parte pela minha formação e experiência acadêmica. Ademais, se tornou um grande amigo ao longo dos tempos, pois entremeados à orientação sempre foi um ombro amigo no qual eu podia dividir minhas frustrações, responsabilidades acadêmicas e pessoais.

Aos colegas da Universidade Federal de Minas Gerais que vivenciaram esta experiência comigo.

Ao Grupo de Pesquisa RIVUS por me proporcionar diversas discussões sobre a construção deste trabalho.

Por fim, agradeço à CAPES pela concessão da bolsa, mesmo que em tempos políticos / econômicos difíceis. Embora tenha havido percalços no caminho, sem a bolsa este trabalho seria impossível de ser concluído.

## RESUMO

A Organização das Nações Unidas (ONU) definiu em 2013 o conceito de segurança hídrica como “a capacidade de uma população garantir acesso sustentável à água em quantidade e qualidade adequadas para sobrevivência, bem-estar humano, desenvolvimento socioeconômico, proteção contra poluição e desastres relacionados à água, e preservação de ecossistemas em um ambiente de paz e estabilidade política”. No Brasil, esse conceito foi adotado em 2019 pela Agência Nacional das Águas (ANA) para integrar o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), que considera as dimensões humana, ecossistêmica, econômica e resiliência como balizadoras de análise. Para avaliar a segurança hídrica em território nacional, o PNSH utiliza o Índice de Segurança Hídrica (ISH), que considera indicadores e variáveis estatísticas de cada dimensão. No entanto, a gestão das águas no país precisa levar em conta as particularidades de cada região, como é o caso da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), que possui um sistema integrado de abastecimento sustentado por subsistemas nas bacias dos rios das Velhas e Paraopeba. A captação de água para esse sistema é de interesse público e requer uma gestão eficiente e sustentável para garantir a segurança hídrica da RMBH. No entanto, a pressão das atividades humanas sobre os reservatórios de abastecimento público pode comprometer o fornecimento de água, além de afetar outras atividades econômicas e ecossistemas. Nesse contexto, o estudo se concentra na bacia do reservatório Serra Azul, responsável por cerca de 16% do abastecimento da RMBH, com o objetivo de investigar as conexões entre o uso da terra e a qualidade ambiental desse manancial em relação à segurança hídrica. Foram utilizados métodos de levantamento do uso e da ocupação da terra, coletas e análises laboratoriais de água, além de atividades de campo. Os resultados indicam impactos das atividades humanas na qualidade das águas superficiais do manancial e a ineficiência das áreas de conservação na proteção hídrica. Também são feitas reflexões sobre a evolução das pressões nos mananciais da RMBH, identificando quatro etapas ao longo da vida útil dos reservatórios.

**Palavras-chave:** segurança hídrica; uso e ocupação da terra; plano nacional de segurança hídrica; reservatório serra azul; área de proteção ambiental; área de proteção especial.

## ABSTRACT

In 2013, the United Nations (UN) defined the concept of water security as “the ability of a population to ensure sustainable access to water in adequate quantity and quality for survival, human well-being, socioeconomic development, protection against pollution and related disasters to water, and preservation of ecosystems in an environment of peace and political stability”. In Brazil, this concept was adopted in 2019 by the National Water Agency (ANA) to integrate the National Water Security Plan (PNSH), which considers the human, ecosystem, economic and resilience dimensions as benchmarks for analysis. To assess water security in the national territory, the PNSH uses the Water Security Index (ISH), which considers indicators and statistical variables for each dimension. However, water management in the country needs to take into account the particularities of each region, as is the case of the Metropolitan Region of Belo Horizonte (RMBH), which has an integrated supply system supported by subsystems in the basins of the Velhas and Paraopeba. The abstraction of water for this system is of public interest and requires efficient and sustainable management to guarantee the water security of the RMBH. However, the pressure of human activities on public supply reservoirs can compromise the water supply, in addition to affecting other economic activities and ecosystems. In this context, the study focuses on the Serra Azul reservoir basin, responsible for about 16% of RMBH's supply, with the objective of investigating the connections between land use and the environmental quality of this source in relation to water security. Land use and occupation survey methods, water collection and laboratory analysis, as well as field activities were used. The results indicate impacts of human activities on the quality of surface water from the source and the inefficiency of conservation areas in water protection. Reflections are also made on the evolution of pressures in the water sources of the RMBH, identifying four stages along the useful life of the reservoirs.

**Keywords:** water security; land use and occupation; national water security plan; serra azul reservoir; environmental protection area; special protection area.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	8
2 CONTEXTUALIZAÇÃO INTRODUTÓRIA: A ÁGUA COMO BEM AMBIENTAL E HUMANITÁRIO .....	13
3 SEGURANÇA HÍDRICA .....	18
3.1 Índice de Segurança Hídrica (ISH) .....	25
4 PRESSÕES ASSOCIADAS AO USO DA TERRA EM SISTEMAS HÍDRICOS .....	29
4.1 Agricultura .....	29
4.1.1 Irrigação .....	29
4.1.2 Uso de agrotóxicos .....	33
4.2 Mineração .....	36
4.2.1 Mudança na paisagem .....	37
4.2.2 Consumo e contaminação de recursos hídricos .....	39
4.2.3 Impactos sociais .....	42
4.3 Indústria .....	45
4.4 Pecuária .....	48
4.5 Impactos urbanos .....	51
5 MECANISMOS DE CONTROLE E PROTEÇÃO DE MANANCIASIS NO BRASIL .....	54
5.2 Comitês de bacia hidrográfica .....	56
5.3 Unidades de conservação e outras áreas de proteção .....	60
6 ASPECTOS HISTÓRICOS DA GESTÃO DE BACIAS E MANANCIASIS DA RMBH .....	67
7 O ESTUDO DE CASO DO RESERVATÓRIO SERRA AZUL .....	71
7.1 Geologia e mineração .....	73
8 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	77
8.1 Levantamento de dados primários e evolução do uso da terra .....	77
8.2 Coletas de amostras de água em campo e análise laboratorial .....	79
8.3 Análise estatística por meio do coeficiente de correlação de Pearson .....	82
8.4 Cálculo do Índice de Segurança Hídrica para o estudo de caso Serra Azul .....	83
8.4.1 Dimensão humana .....	84
8.4.2 Dimensão econômica .....	84
8.4.3 Dimensão ecossistêmica .....	86
8.4.4 Dimensão de resiliência .....	87
9 CONTRADIÇÕES ENTRE A PROTEÇÃO DO MANANCIAL SERRA AZUL E A DINÂMICA DOS USOS DA TERRA .....	88
10 DINÂMICA EVOLUTIVA DO USO E DA OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA DO RESERVATÓRIO DE SERRA AZUL .....	95

10.1 Estudos preliminares.....	95
10.1.1 Resultados e processos da evolução do uso e da ocupação da terra na Bacia do Reservatório Serra Azul .....	97
10.1.2 Uso e ocupação da terra na APA Igarapé.....	102
11 REFLEXOS DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA QUALIDADE DA ÁGUA.....	104
11.1 A relação entre os usos antrópicos e a qualidade da água .....	106
11.2 Resultados por sub-bacias do reservatório.....	108
11.2.1 Sub-bacia do Córrego Curralinho (ponto de coleta 2) .....	108
11.2.2 Sub-bacia do Córrego Potreiro (ponto de coleta 1) .....	110
11.2.3 Sub-bacia do Córrego Estiva (pontos de coleta 3 e 4) .....	113
11.2.4 Sub-bacia do Ribeirão do Diogo (pontos de coleta 7 e 8) .....	115
11.2.5 Sub-bacia do Córrego Jacu (pontos de coleta 5 e 6) .....	118
11.2.6 Sub-bacia do Córrego Garimpo (ponto 12) .....	120
11.2.7 Bacia do Ribeirão Serra Azul (pontos 9, 10 e 11) .....	122
12 DESAFIOS DA SEGURANÇA HÍDRICA NOS PROCESSOS DE GESTÃO .....	126
13 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	131
REFERÊNCIAS.....	133
APÊNDICE A – Síntese dos resultados nas bacias e sub-bacias do reservatório Serra Azul.....	151

## 1 INTRODUÇÃO

Com a degradação dos recursos hídricos e os impactos climáticos extremos atingindo níveis alarmantes no planeta, os processos de gestão dos recursos hídricos vêm ganhando importantes tópicos em políticas e agendas internacionais nos últimos anos (UNESCO *et al.*, 2021; WWAP, 2017; ONU, 2013N; WWW, 2022; CANTELLE *et al.*, 2018). A compatibilização de demandas sociais e econômicas, juntamente com a preservação das funções ecossistêmicas dos corpos-d'água, são desafios históricos da humanidade e denotam a jornada de descobertas da ciência juntamente com os órgãos gestores na conservação dos recursos naturais (VICTORINO, 2003). Concomitantemente, a água como um direito universal e fundamental para o desenvolvimento da humanidade tem estimativa de crescimento da demanda em 40% até 2030 (UNESCO, 2012), o que amplia o panorama frente ao cenário de desafios vividos nos últimos anos e que certamente irá influenciar na dinâmica de uso e na operacionalidade do recurso no planeta.

Frente aos eventos hidrológicos extremos das últimas décadas, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE (2015) salienta que é preciso gerenciar os riscos associados à água desde o seu armazenamento até as situações de seu excesso, abordando temas como inundação, poluição e resiliência dos sistemas hídricos. Pensando nisso, a Organização das Nações Unidas – ONU, no fórum mundial da água em 2013, inseriu o termo “segurança hídrica” como um conceito que carece de entendimento mútuo para que as ações de gestão sejam contempladas com enfoque multidisciplinar e abrangendo todo o ciclo hidrológico (MELO e JOHNSON, 2017).

Apesar de o tema da segurança hídrica vir sendo discutido desde a década de 1990, é a partir do referido fórum que o conceito foi cristalizado e integrado a políticas públicas em diversos países (MELO e JOHNSON, 2017). Assim, o termo se propõe a englobar aspectos físicos e químicos da água para corroborar com sua disponibilidade em qualidade e quantidade no sistema ambiental. Para isso é necessário que haja disponibilidade de água em quantidade e qualidade tornando possível subsidiar seus usos múltiplos associados, além de acesso ao recurso por meio de estruturas de saneamento, a proteção dos sistemas aquáticos e o planejamento frente a desastres de princípios hidráulicos e hidrológicos (ANA, 2013).

Contudo, a presença da vulnerabilidade hídrica<sup>1</sup> na sociedade, seja ela de ordem ambiental ou antrópica, se mostra como um desafio para alcançar os objetivos pressupostos. A dinâmica espaço-temporal dos usos da água pode estar diretamente relacionada com os usos da terra e as relações entre eles podem significar o declínio ou o extermínio do outro, criando uma relação de dependência entre os processos que, em grande parte dos casos, são negligenciados pela ilusão de abundância dos recursos hídricos (NASCIMENTO, 2019).

Os índices pluviométricos no Brasil sustentam essa afirmativa de abundância em nível nacional. Segundo Rebouças *et al.* (2006) o país possui entre 1.000 e 3.000 mm de chuva a cada ano, além de possuir uma extensa descarga média nas águas superficiais de 182.000 m<sup>3</sup>/s. Além disso, as grandes reservas dos aquíferos subterrâneos conferem ao país um quadro singular no panorama de abundância de água mundial, principalmente em detrimento de países em regiões de clima desérticos ou temperados (BARROS, 2008). Entretanto, apesar da enorme reserva de água doce, o país convive com regiões de seca extrema e desastres associados à água, com causas relacionadas, também, a atividades humanas.

Corroborando esse cenário, o aumento da demanda por alimentos e produtos industrializados faz com que as pressões acerca dos recursos hídricos ganhem força, já que a agricultura irrigada, a indústria e a mineração representam os maiores setores usuários de água no mundo, além de causarem impactos intrínsecos às suas atividades tanto no aspecto quantitativo quanto no qualitativo (ALVES, 2019a).

Esse crescimento na demanda hídrica é diretamente proporcional ao crescimento populacional vivido no país no século XX. Em 1900 a população brasileira era equivalente a 17.438.434 de pessoas, enquanto em 2022 já ultrapassou a marca de 215 milhões, mais de 12 vezes maior que o registrado no início do século (IBGE, 2022). Concomitantemente, as áreas de cultivo no Brasil também sofreram significativas expansões, tanto em espaço produtivo quanto em escala de produção, já que com o advento do mundo globalizado e tecnológico, os produtos agrícolas brasileiros ganharam destaque no mercado internacional pela grande capacidade de produção em períodos curtos (IPEA, 2021).

Em meio a isto, por vezes se instauram panoramas de escassez hídrica, como de 2013 a 2015, quando a Região Sudeste, principalmente as cidades de Belo Horizonte e São Paulo, sofreram desabastecimento por falta de água para consumo humano, nos reservatórios que abastecem as

---

<sup>1</sup> Vulnerabilidade hídrica é quando as condições socioambientais, sejam elas climáticas, geológicas, geomorfológicas ou humanas, não corroboram a manutenção dos sistemas hídricos em quantidade e qualidade.

duas metrópoles (MARINI, 2018). Também em função da redução dos índices pluviométricos, em relação à média esperada para o período, o ano de 2021 foi marcado, nos estados do Sudeste e do Centro-Oeste, pela necessidade de reativação de usinas termelétricas em função do baixo nível dos reservatórios das hidroelétricas que abasteciam as regiões (ABRAPCH, 2021). Deve-se lembrar que os casos de escassez hídrica no país ocorrem, tradicionalmente, na região de vigência do clima semiárido, incluindo o Sertão nordestino, mas as causas são, majoritariamente, associadas a uma falta de aderência entre as demandas e os índices pluviométricos relativamente baixos. Pensando nisso, o Governo Federal concluiu em 2019 a transposição do Rio São Francisco, iniciada em 2007, na qual o intuito é aumentar a disponibilidade hídrica (vazões) nos rios Paraíba, Apodi e Jaguaribe por meio de canais artificiais, viabilizando usos múltiplos da água no Sertão nordestino (BRASIL, 2006).

Neste contexto, em 20 de agosto de 2019 a Agência Nacional das Águas (ANA) concluiu o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) com o objetivo de avaliar e definir critérios para o desenvolvimento do país com o uso sustentável dos recursos hídricos balizado no conceito de segurança hídrica (ANA, 2019c). De acordo com a ONU em 2013, a segurança hídrica deve ser de entendimento mútuo para que as ações de gestão sejam com enfoque multidisciplinar e compatível em todo o ciclo hidrológico, permitindo, assim, a perpetuidade da água para todos os usuários, sejam eles do setor econômico, urbano, ambiental ou de segurança (WALBERT, 2013).

Assim, o PNSH propõe que existam quatro dimensões como prerrogativa de análise até 2035: a) a dimensão humana com garantias de água para abastecimento humano; b) a dimensão ecossistêmica com a quantidade e a qualidade de água adequada para usos múltiplos; c) a dimensão econômica com garantias de água para usos múltiplos em diversos setores da economia e, por fim, d) a dimensão da resiliência com a capacidade de recuperação do ecossistema envolvido frente a eventos e usos específicos, incluindo a segurança de barragens de rejeitos de mineração (ANA, 2019c).

Para a aplicação do conceito na prática, foi criado pelo PNSH o Índice de Segurança Hídrica (ISH), que contempla as quatro dimensões como variáveis a serem analisadas com o intuito de compor um índice global para o Brasil, de forma representativa e com relevância em escala nacional. Dessa forma, as variáveis servem como indicativos de usos da terra que afetam o quadro de segurança hídrica nacional e que ainda devem ser aprimoradas para escalas menores e de grande relevância para a evolução do tema.



Nesse contexto, a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) apresenta diversos elementos que podem afetar o quadro de segurança hídrica. Entre elas, a atividade de extração mineral é intrínseca à própria formação da cidade e do estado e, portanto, sua história se confunde com o desenvolvimento do setor. Analogamente, os riscos associados à mineração para a qualidade das águas na RMBH são bastante presentes na vida cotidiana da população (LIMA, 2021). Em 2019, com o rompimento da barragem B1 de Brumadinho, o rejeito carregado de metais pesados foi carregado pela vertente do Córrego Ferro-Carvão e atingiu a calha principal do Rio Paraopeba, um grande afluente do Rio São Francisco, interrompendo a captação de água para abastecimento público que era realizada no seio do sistema integrado da RMBH (ALVES, 2019a; QUIERATI, 2019).

A captação era feita por uma adutora que captava água na calha principal do Rio Paraopeba e era direcionada para o reservatório de Rio Manso, o maior manancial da RMBH. Essa medida foi tomada em resposta aos eventos históricos de estiagem que comprometiam a função de abastecimento do reservatório, mantendo níveis hídricos de segurança para o contínuo atendimento das demandas. A obra consistia em adutoras de 6,5 km de extensão que ligavam o rio ao reservatório, com capacidade de transporte de 4 mil litros de água bruta por segundo. Os custos de sua instalação custaram aos cofres públicos mais de 124 milhões de reais, aportados pelo governo estadual, tendo ficado a sua administração a cargo da COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA, 2015).

Assim, vários autores debatem a eficiência na gestão de recursos hídricos do estado, já que esta não contempla as dimensões pregadas pelo PNSH (MELO e JOHNSSON, 2017; SILVA *et al.*, 2019; SANTOS, 2016). Neto (2016) questiona a ineficiência da gestão de recursos hídricos em áreas de mananciais na RMBH, as quais não possuem mecanismos de gestão eficientes que compatibilizem os usos da terra e da água nas áreas de captação. Alves *et al.* (2019b) lembram que as tipologias de áreas de conservação denominadas de Áreas de Proteção Especial (APE) trazem um quadro de incerteza e lacunas que comprometem o cumprimento de suas funções enquanto área de proteção de mananciais na RMBH. Além disso, Magalhães Jr. *et al.* (2016) afirmam que as APEs, com suas fragilidades normativas e de instrumentos de gestão, podem gerar o resultado oposto em relação às funções da proteção de mananciais, levando à reflexão sobre a necessidade de concepção de uma nova tipologia de unidade de proteção no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) que garanta minimamente a proteção de mananciais frente a pressões urbanas e econômicas na RMBH.

O manancial Serra Azul é o segundo maior reservatório de captação de água para abastecimento público na RMBH. Localiza-se na bacia do Rio Paraopeba, mais especificamente na bacia do Ribeirão Serra Azul e conta com uma área de contribuição de 262 km<sup>2</sup> entre os municípios de Mateus Leme, Juatuba, Itaúna e Igarapé, sob a APE Serra Azul que equivale à toda a área de contribuição do reservatório (MAGALHÃES JR. *et al.*, 2016; MELO, 2017).

As principais classes de uso da terra, associadas à APE Serra Azul e a bacia de contribuição do reservatório referem-se à extração mineral, a atividades agrícolas e pecuária, bem como ao adensamento urbano. Neste trabalho, será investigada a dinâmica do uso da terra na bacia de contribuição do reservatório Serra Azul entre os anos 2000 e 2020, por meio de imagens de satélite, além da análise da qualidade da água atual dos afluentes em diferentes regimes pluviométricos. Essas variáveis serão analisadas conjuntamente e à luz da literatura sobre a segurança hídrica da RMBH em termos da proteção de mananciais de captação de água.

Assim, foram delimitadas áreas de influência na qualidade da água e os principais processos que influenciam a qualidade dos recursos hídricos da bacia em relação ao uso da terra. Foi realizada a investigação das possíveis tensões e incompatibilidades entre os usos da terra e a manutenção da qualidade ambiental do manancial Serra Azul, à luz das variáveis ambientais, legais e político-administrativas envolvidas no panorama de interações da proteção do manancial. Para isso, foi utilizado o conceito de segurança hídrica como pilar de análise, bem como as dimensões humana, econômica, resiliência e ecossistêmica firmadas pelo PNSH, propondo o aprimoramento do ISH como instrumento de aplicação das variáveis que permeiam o conceito.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho é investigar as conexões entre os usos da terra e a qualidade ambiental do manancial Serra Azul, explicitando os focos de pressão e os desafios de proteção em termos político-administrativos, legais e socioambientais. Assim, espera-se, com objetivos específicos, reconstituir a dinâmica espaço-temporal dos usos da terra na bacia do manancial, identificando as principais atividades envolvidas, além de sistematizar e analisar o quadro legal e administrativo envolvido na sua gestão.

Dessa forma, será possível analisar o caso do manancial Serra Azul à luz do panorama nacional e estadual de proteção de mananciais e, portanto, levantar cenários e perspectivas de evolução da qualidade ambiental dos mananciais em face da dinâmica dos usos da terra.

## 2 CONTEXTUALIZAÇÃO INTRODUTÓRIA: A ÁGUA COMO BEM AMBIENTAL E HUMANITÁRIO

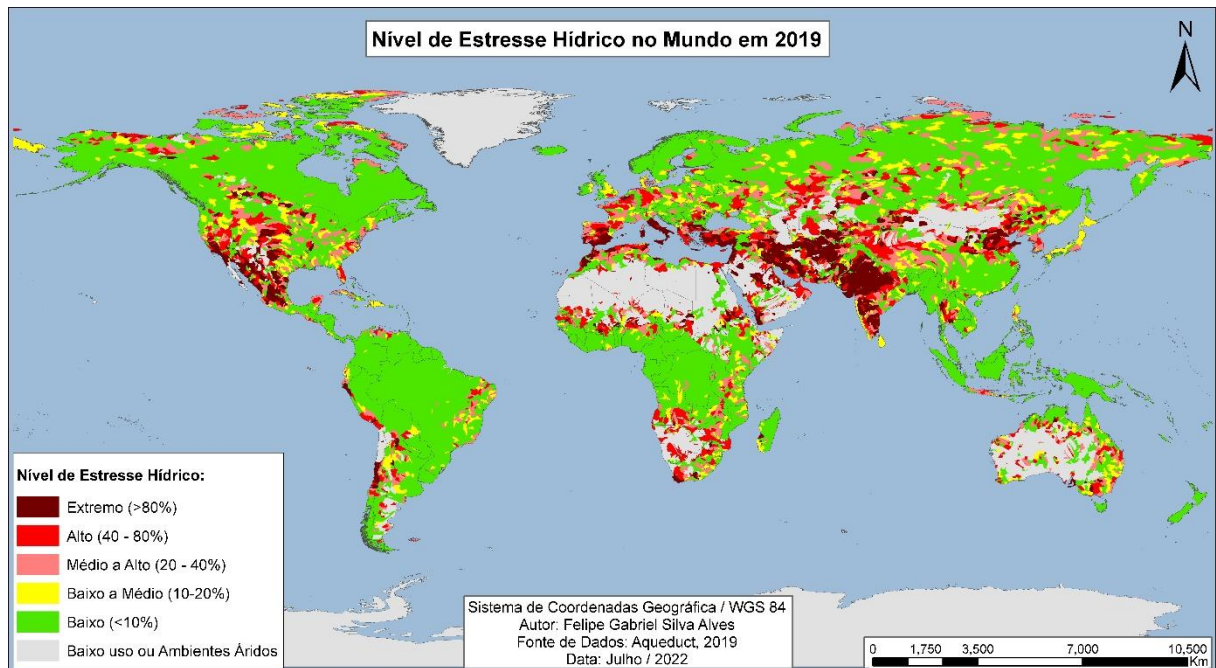
Desde os tempos antigos a relação entre homem e água possui caráter determinante para a evolução da espécie. Os significados da água para cada civilização variaram entre finalidade e disponibilidade, contudo seu cerne sempre foi relacionado à origem da vida, da purificação e da regenerescência em mitos e religiões. Chevalier e Gheerbrant (1988) definem a metáfora das águas como uma massa homogênea que representa a infinidade dos possíveis, contendo o todo virtual, o informal, o germe dos germes, toda a esperança de desenvolvimento, além de todas as ameaças de reabsorção que delas surgiram.

Do ponto de vista das geociências, a água representa um recurso natural abundante no planeta, que tem caráter essencial para a sobrevivência das diferentes formas de vida, da dinâmica geológica-geomorfológica do modelado terrestre, do comportamento climático, além da condição do desenvolvimento econômico e cultural da sociedade. Assim sendo, sua fórmula química bipolar é encontrada em três diferentes estados físicos (sólido, líquido e gasoso) e, como tal, condiciona usos e finalidades desde sua origem até o seu ciclo final.

Apesar de constituir cerca de 70% da superfície terrestre, por volta de 97,5% da água do planeta está na forma salgada em oceanos e mares, o que a torna inviável para diversos usos. Dos 2,5% de água doce restantes, 68,9% está em geleiras e calotas polares, 29,9% no meio subterrâneo, 0,3% em rios e lagos e 0,9% em outros locais, como pântanos e solos saturados (BATISTA, 2022). É necessário destacar que a distribuição desse recurso não é feita uniformemente pelo mundo; em ambientes desérticos ou semiáridos pode-se chegar a até 10 m<sup>3</sup> de água *per capita* por ano, sendo que só no Brasil o consumo médio de água por habitante é de 109,5 m<sup>3</sup> por ano (TUCCI, 2003).

Em 28 de julho de 2010 a ONU, por meio da resolução A/RES/64/292 (ONU, 2010), declarou a água como um direito humano essencial para a manutenção da vida e de todos os direitos humanos. Contudo, a distribuição e as alterações climáticas são alguns dos desafios que o mundo deve enfrentar para o cumprimento do objetivo 6 da agenda 2030, que promete alcançar o acesso universal e equitativo de água potável e segura para todos os seres humanos, além de melhorar a qualidade da água, mitigando a poluição e o despejo de produtos químicos e materiais danosos, reduzindo à metade as águas residuais não tratadas, bem como aumentando a restauração dos cursos-d'água em nível global.

Em 2019, o World Resources Institute (WRI) fez uma pesquisa que tinha por finalidade verificar os países em situação de estresse hídrico<sup>2</sup> no mundo, fazendo com que a dinâmica entre os usos da água e sua disponibilidade em quantidade e qualidade fossem evidentes. Países com grande disponibilidade hídrica em quantidade, como Índia, México, Rússia e China, têm a gestão dos recursos hídricos como o maior desafio das suas principais cidades no tocante ao estresse hídrico (figura 1).



**Figura 1 – Países com estresse hídrico.**

**Fonte: Aqueduct, 2019.**

A Índia ocupa a 13<sup>a</sup> posição no *ranking* de países com maior estresse hídrico da pesquisa, com mais de três vezes o contingente populacional somado dos primeiros 17 países da lista. Além disso, foi a primeira vez que se identificou um estresse em ambiente superficial e subsuperficial dos sistemas hídricos, sendo que no norte do país os níveis freáticos recuaram oito centímetros por ano entre 1990 e 2014, ao ponto de prejudicar a segurança alimentar da população. Frente a isto, o governo indiano criou o ministério Jal Shakti, voltado à gestão dos recursos hídricos em termos de prioridade nacional, incluindo um programa de abastecimento de água potável e de saneamento, que antes era feito junto ao ministério de infraestrutura do país. Além disso, medidas como métodos de irrigação menos danosos aos sistemas hídricos, conservação e restauração de lagos, várzeas, áreas de recarga subterrânea e coleta e armazenamento de chuvas

<sup>2</sup> Quando os usos dos recursos hídricos do país superam 80% da disponibilidade de água potável do território.

estão sendo implantados em todo o país com prioridade máxima para tentar aumentar a disponibilidade de água em qualidade e quantidade para os devidos usos (PONTES, 2020).

Em situação similar, o México também sofre com problemas de gestão dos recursos hídricos. Apesar de não ter o fator contingente populacional tão exacerbado quanto a Índia, o país, que possui cerca de 129 milhões de habitantes, apresenta grande desigualdade hídrica no seu território; no norte e no centro do país há déficit quantitativo de água, enquanto na porção sudeste e sul há excesso. Contudo, o destaque vai para os usos inadequados dos recursos hídricos e a falta de planejamento como principais vilões da situação, já que o uso desenfreado do nível freático para indústrias cervejeiras e a ocupação das zonas de recarga prejudicam a sustentabilidade do lençol freático frente aos usos ao longo dos anos.

Além disso, o México possui 67% do território constituído de regiões áridas e semiáridas, e com as mudanças climáticas e a utilização de modelos arcaicos de produção agrícola se torna determinante o panorama de problemas vivido na última década, que faz do país o segundo com o maior grau de estresse hídrico das américas, atrás somente do Chile, que tem situações litológicas e de temperatura singulares relacionadas ao tema (GODOY, 2021).

Em 2022, o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) divulgou o relatório nomeado de “Impacts, Adaptation and Vulnerability” com o objetivo de alertar o mundo sobre as mudanças climáticas e os seus efeitos para a manutenção da vida humana. Segundo o relatório, bilhões de pessoas já estão sendo afetadas pelas mudanças climáticas em todo o mundo, principalmente as que se encontram em situações de vulnerabilidade. Além disso, o relatório afirma que as previsões feitas por cientistas estão sendo antecipadas e todas as projeções feitas anteriormente revelam o futuro com desafios importantes para a perpetuidade humana.

Em consonância a isto, em 2021 as mudanças de regimes pluviométricos e de temperatura ao redor do globo afetaram milhares de pessoas em todo o mundo em eventos nunca registrados anteriormente (WILKS, 2021). Na Alemanha, as chuvas torrenciais ocorridas no primeiro semestre deixaram no primeiro momento 165 mortos e mais de 1.000 pessoas desaparecidas em todo o país, além de um prejuízo econômico superior a 40 bilhões de dólares. Grande parte disso foi resultado dos novos regimes pluviométricos vividos pela região na Europa. Assim, Wilks (2021) afirma que a probabilidade de chuvas intensas hoje é nove vezes maior do que no final do século XX.

Em 2021, os desastres naturais deram prejuízo de mais de 280 bilhões de dólares em todo o mundo. Contudo, os efeitos do calor também afetam de forma agressiva todo o contexto de desafios climáticos no mundo; no Canadá, os termômetros registraram temperaturas superiores a 49 °C, assim como nos Estados Unidos, na América Latina e no leste europeu, as temperaturas elevadas causaram grande prejuízo aos habitantes e aos processos de sustentação da sociedade desses lugares, como agricultura e pecuária (METSUL, 2022). Isso corrobora com o panorama emergencial de aumento médio da temperatura mundial, que em 2020 foi 1,2 °C acima da temperatura estabelecida como base na era pré-industrial, sendo que se a evolução se mantiver no patamar atual, há grandes chances de o mundo alcançar a média de 1,5 °C de aumento desde a medição base já em 2024, ferindo o acordo primordial da agenda 2030 que promete tentar manter preferencialmente o aumento em 1,5 °C, e em último caso em 2,0 °C (ESCOBAR, 2021).

Outros desafios impostos pelas mudanças climáticas referem-se às ocorrências de incêndios florestais ao redor do globo. Em lugares onde historicamente há queimadas, o número de ocorrências aumenta a cada ano, assim como em lugares onde não há grandes ocorrências históricas o panorama passa a ser frequente, como em pântanos, turfas e no ártico, com o descongelamento do *permafrost* (RAMIREZ, 2022).

No Brasil, esses efeitos não são diferentes, as temperaturas caíram a níveis alarmantes ao longo do inverno. Em Santa Catarina, foram registrados três dias de neve perene, com algumas cidades chegando a marcar -7,5 °C de temperatura. Além disso, em São Paulo foram registradas mortes causadas pela onda de frio que acometeu as regiões Sul e Sudeste do país, prejudicando plantações e o regime hidrológico em todo o território (HOCKMÜLLER, 2022).

Concomitantemente, no estado de Minas Gerais 138 cidades decretaram estado de emergência em função das fortes chuvas que acometeram todo o estado no segundo semestre. Em Belo Horizonte, no mês de outubro, o acumulado médio mensal foi de 208,0 mm, a maior média desde 2010 para o mês; até o final do ano, o estado presenciaria um dos maiores índices pluviométricos da história. No interior do estado, na cidade de Pedra Azul, na região do Vale do Jequitinhonha, região costumeiramente seca, foram registrados 612,2 mm somente do período de 01/12/2021 a 27/12/2021, a média mensal histórica da cidade é de 187,2 mm e a anual é de 853,7 mm, ou seja, somente no período analisado, as medições representaram 71,7% do esperado para o ano (NONATO, 2021; DALAGNOL *et al.*, 2021).

Historicamente, um dos grandes responsáveis por trazer umidade ao território nacional é o fenômeno meteorológico causado pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que

estaciona uma faixa de nuvens na parte central do país durante quatro dias em média, provocando chuvas e queda de temperatura vindas do sul do oceano atlântico. Contudo, apenas em dezembro de 2021 foram três ocorrências de ZCAS no território nacional, o que fez com que os índices pluviométricos ultrapassassem em muito as médias históricas. Além disso, outro grande fator determinante para a permanência das ZCAS no território foi o aumento da temperatura do oceano atlântico cerca de 0,5 °C acima da média da temperatura na costa da Região Nordeste do Brasil, levando águas mais quentes e modificando a dinâmica de convergência em todo o território (NONATO, 2021).

Por outro lado, em períodos em que há fortes oscilações nos índices pluviométricos se instaura um quadro de tensões relativas à disponibilidade de água, frequentemente referido como quadro de “crise hídrica” pela mídia e por outros setores da sociedade. Nesses casos em que o aparato gestor não apresenta processos adequados de planejamento, há uma profusão de danos e problemas para os usos da terra e para atividades econômicas. Entre 2013 e 2016, a Região Sudeste do Brasil sofreu com um forte período de estiagem que foi associado a um quadro de “crise hídrica” nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Segundo Magalhães (2017), a estiagem afetou a oferta de alimentos para a população e para animais, o fornecimento de energia elétrica proveniente das usinas hidrelétricas, o abastecimento público e a economia do país (NETO *et al.*, 2016).

A partir daí se intensificaram as tratativas para estabelecer um panorama de segurança hídrica no Brasil, mas nos anos 2020 e 2021 a Região Sudeste foi novamente acometida por uma forte estiagem que afetou o fornecimento de energia hidrelétrica para a região. Nesse contexto, os questionamentos envolvendo a fragilidade do planejamento e a proteção de áreas de mananciais e recarga hídrica ganharam ainda mais força, principalmente no que permeia os usos múltiplos da terra e da água nas bacias de contribuição, e que, portanto, afetam os atributos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos (MATOS *et al.*, 2017; ALVES *et al.*, 2019b).

### 3 SEGURANÇA HÍDRICA

A gestão das águas ocupa hoje uma posição de destaque nos compromissos internacionais ao redor do mundo. A necessidade e a percepção de que o recurso é finito e sua falta pode acarretar sérias consequências para a manutenção da vida, do meio ambiente e as atividades econômicas e sociais, permeia recorrentemente debates científicos que servem de baliza para as ações dos líderes mundiais. Além da crescente perspectiva de demanda até 2030, as mudanças climáticas estabeleceram uma nova maneira de pensar a gestão dos recursos hídricos, em função das incertezas e dos eventos hidrológicos extremos vividos pelo mundo nos últimos anos (UNESCO, 2012; IPCC, 2007).

Dessa forma, pesquisadores e gestores vêm buscando meios de aprimorar o sistema de gestão dos recursos hídricos visando atender as demandas crescentes de um recurso limitado, de forma sustentável. É nesse contexto que nasce o conceito de segurança hídrica, como forma de traduzir para a sociedade o resultado da gestão das águas em benefício dos usos múltiplos associados às suas demandas, além de proteger o funcionamento do ecossistema e mitigar os efeitos negativos das mudanças climáticas em detrimento dos eventos hidrológicos extremos (MELO e JOHNSON, 2017).

Bakker, em 2012, realizou um trabalho de levantamento do uso do termo *water security* (segurança hídrica) na literatura internacional desde o ano de 1990 e obteve resultados que determinaram a evolução conceitual do termo. Em trabalhos interdisciplinares, foi encontrado o termo associado a política de recursos hídricos, agricultura, consumo humano, saúde, indústria, energia, transporte, meio ambiente e desastres naturais.

Falkenmark e Lundquist (1998) destacaram que a relação entre a escassez hídrica e os avanços tecnológicos, de gestão e demográficos estão intimamente ligados e são dependentes entre si, tal qual os avanços tecnológicos e de gestão dão suporte por meio da produção racional, enquanto a demografia pressiona a demanda, pensando que a escassez pode ocorrer pelo aumento da demanda em quantidade, mas também pela falta de disponibilidade do recurso em qualidade. Já em 2000, na Conferência Mundial da Água em Haia, na Holanda, a Global Water Partnership (GWP) definiu que os recursos hídricos devem ser prioritariamente assegurados à manutenção da vida humana, com acesso suficiente, a um custo acessível para higiene, saúde e vida produtiva, de forma coexistente com a preservação pragmática do ambiente. Assim, o



conceito em epígrafe vem evoluindo na prerrogativa de assegurar, prioritariamente, os recursos hídricos para a manutenção da vida humana.

Gray e Sodoff (2007) apresentaram uma definição para segurança hídrica voltada para os usos múltiplos dos recursos, bem como os riscos associados ao seu excesso para as pessoas. Assim, a segurança hídrica para os autores significa a disponibilidade de água em quantidade e qualidade aceitável para saúde, subsistência, ecossistema, produção, riscos antrópicos, ambientes e economias. Posteriormente, em 2012, este mesmo conceito foi utilizado pela GWP no encontro internacional Rio + 20, ocorrido na cidade do Rio de Janeiro – Brasil (BRASIL, 2012).

Contudo, em meio a críticas e sugestões a respeito da relação entre disponibilidade e demanda com a gestão de riscos, em 2013 a OCDE propõe que os riscos associados à segurança hídrica sejam enquadrados em quatro tipos: escassez quantitativa de água; escassez qualitativa por deterioração e contaminação dos sistemas hídricos; inundações causadas por excesso de água; riscos à sustentabilidade de sistemas hídricos e ambientais. Dessa forma, a definição inclui também o conceito de sustentabilidade ambiental emergente neste momento.

Por fim, a ONU, em 2013, no dia mundial da água, propõe seu conceito de segurança hídrica na agenda de debates do Conselho de Segurança:

A capacidade de uma população de salvaguardar o acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade para garantir meios de sobrevivência, o bem-estar humano, o desenvolvimento socioeconômico; para assegurar proteção contra poluição e desastres relacionados à água, e para preservação de ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política (ONU, 2013).

Dessa forma, a água passa a ser gerida de maneira justa, eficiente e transparente para as necessidades básicas humanas, bem como na gestão de conflitos associados. Contudo, Melo (2017) ressalta que apesar do grande alcance do conceito proposto pela ONU, o Conselho Mundial da Água e os órgãos mundiais associados ao tema impõem soluções pragmáticas posteriormente, a fim de estabelecer prioridades antropocêntricas que possam primariamente atender as necessidades humanas e de produção, deixando as necessidades ambientais e dos ecossistemas aquáticos em segundo plano (tabela 1).

Autor	Conceito de Segurança Hídrica
ONU, 2013	A capacidade de uma população de salvaguardar o acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade para garantir meios de sobrevivência, o bem-estar humano, o desenvolvimento socioeconômico; para assegurar proteção contra poluição e

	desastres relacionados à água, e para preservação de ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política
OCDE, 2013	Segurança hídrica é gerir riscos associados à água, incluindo riscos de armazenamento de água, excesso, poluição e riscos de enfraquecer ou debilitar a resiliência dos sistemas de água doce.
Global Water Partnership – GWP, 2014	A essência da segurança hídrica é que o interesse pelo recurso base está acompanhado do interesse ao serviço que explora ou utiliza o recurso base, como o uso humano, a agricultura, atividades econômicas e proteção ambiental. Ambos os aspectos qualidade e quantidade de água devem ser considerados, uma vez que a qualidade afeta o valor da água e o impacto ao meio ambiente. Segurança hídrica significa aproveitar o potencial da água e combater os efeitos destrutivos dela, ou seja, os danos causados por inundações, secas, deslizamentos de terra, erosão, poluição e doenças transmitidas pela água.
OCDE e GWP, 2015	O objetivo da segurança hídrica é aproveitar as oportunidades e gerenciar os riscos associados à água e, ao fazê-lo, promover o crescimento sustentável e maior bem-estar.
World Water Council, 2013	Consiste, inicialmente, na garantia de necessidades essenciais do dia a dia, como saúde e alimento: água para produzir produtos alimentícios e melhorar rendimentos agrícolas; água limpa e segura para ajudar a reduzir doenças transmitidas pela água que continuam a ser uma das principais causas de morte. Segurança hídrica, em seguida, consiste na garantia de segurança econômica e social para produção de bens e serviços necessários ao desenvolvimento e ao aumento da qualidade de vida. Segurança hídrica também abrange a segurança ecológica para retornar a natureza o papel essencial da água para preservação da biodiversidade e manutenção de ecossistemas.
WaterAid, 2012	O acesso confiável à água em quantidade suficiente e de qualidade para as necessidades básicas humanas, em pequena escala, garantia dos meios de subsistência e os serviços dos ecossistemas locais, juntamente a uma adequada gestão dos riscos inerentes aos desastres relacionados com a água.
Grey e Sadoff, 2012	A disponibilidade de água em quantidade e qualidade para saúde, meios de subsistência, ecossistemas e para a produção aceitável, juntamente com um nível admissível de riscos relacionados com a água para pessoas, ambientes e economias.
Lautze e Manthrilake, 2012	Componentes do conceito de segurança hídrica: necessidades básicas, produção agrícola, ambiente, gestão de risco, segurança nacional e independência.
Bakker, 2012	Segurança hídrica inclui um enfoque conceitual sobre vulnerabilidade, risco e resiliência; ênfase em ameaças, choques e pontos de ruptura; e enfoque na gestão adaptativa dada à previsibilidade limitada dos sistemas hidrológicos. Notavelmente, a investigação sobre segurança hídrica também enfatiza um desafio político: alcançar metas econômicas e objetivos de desenvolvimento sustentável.
Mason e Calow, 2012	Segurança hídrica significa ter água suficiente, em quantidade e qualidade, para as necessidades humanas (saúde, subsistência e atividades econômicas produtivas) e ecossistemas, combinado com a capacidade de acessá-la e usá-la, resolvendo os <i>tradeoffs</i> , e gerindo riscos relacionados à água, incluindo enchente, seca e poluição.
Cook e Bakker, 2011	Segurança hídrica emerge para atender a necessidade de “uma visão clara ou direção sobre um desejado <i>status</i> final de uma bacia hidrográfica” (Mitchell, 2006), ou seja, segurança hídrica fornece um quadro que se desprende de uma visão que é normativamente orientada

	por metas. Segurança hídrica foca a atenção em objetivos, metas. Assim, o conceito de segurança que estabeleça metas implica em monitoramento e cumprimento dos objetivos.
Brasil, 2015	Condição que visa garantir quantidade e qualidade aceitável de água para abastecimento, alimentação, preservação de ecossistemas e demais usos, associados a um nível aceitável de riscos relacionados com a água para pessoas, economias e meio ambiente (ANA) ou garantia de disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade.

**Tabela 1 – Resumo dos principais conceitos de segurança hídrica.**  
**Fonte: Adaptada de MELO e JOHNSON, 2017.**

No Brasil, o termo “segurança hídrica” ganhou evidência somente em 2019 com a criação do PNSH, antes disso, as diretrizes relacionadas ao tema eram balizadas na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997). O PNRH teve como princípio a criação de um sistema nacional de gerenciamento para os recursos hídricos em âmbito nacional, com seis fundamentos a serem respeitados: I – água como um bem de domínio público; II – a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; III – em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; IV – a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; V – a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; VI – a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

A PNRH foi o primeiro avanço sistemático na gestão de recursos hídricos de forma descentralizada no país e trouxe experiências e aplicações internacionais na tentativa de aperfeiçoar os princípios em razão das condições objetivas do Brasil. Houve avanços em relação à criação de alguns Comitês de Bacias Hidrográficas – CBHs, bem como a cobrança pelo uso da água e a conjuntura da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), que pela primeira vez era associada com os recursos hídricos de fato.

Contudo, embora no arcabouço legislativo a PNRH seja um grande avanço, aspectos pragmáticos fizeram com que a sua execução não fosse bem-sucedida em todo o território. A divulgação é um importante entrave da lei, já que não teve o alcance ideal para a conscientização da população sobre a importância e a oferta de água para a manutenção da vida, além disso, seus efeitos práticos demonstraram que o viés de gestão ficou relacionado principalmente à manutenção quantitativa dos recursos hídricos e deixou o aspecto qualitativo em segundo plano, o que acarretou diversos problemas com grandes bacias hidrográficas poluídas e contaminadas por resíduos industriais, minerários e até domésticos.

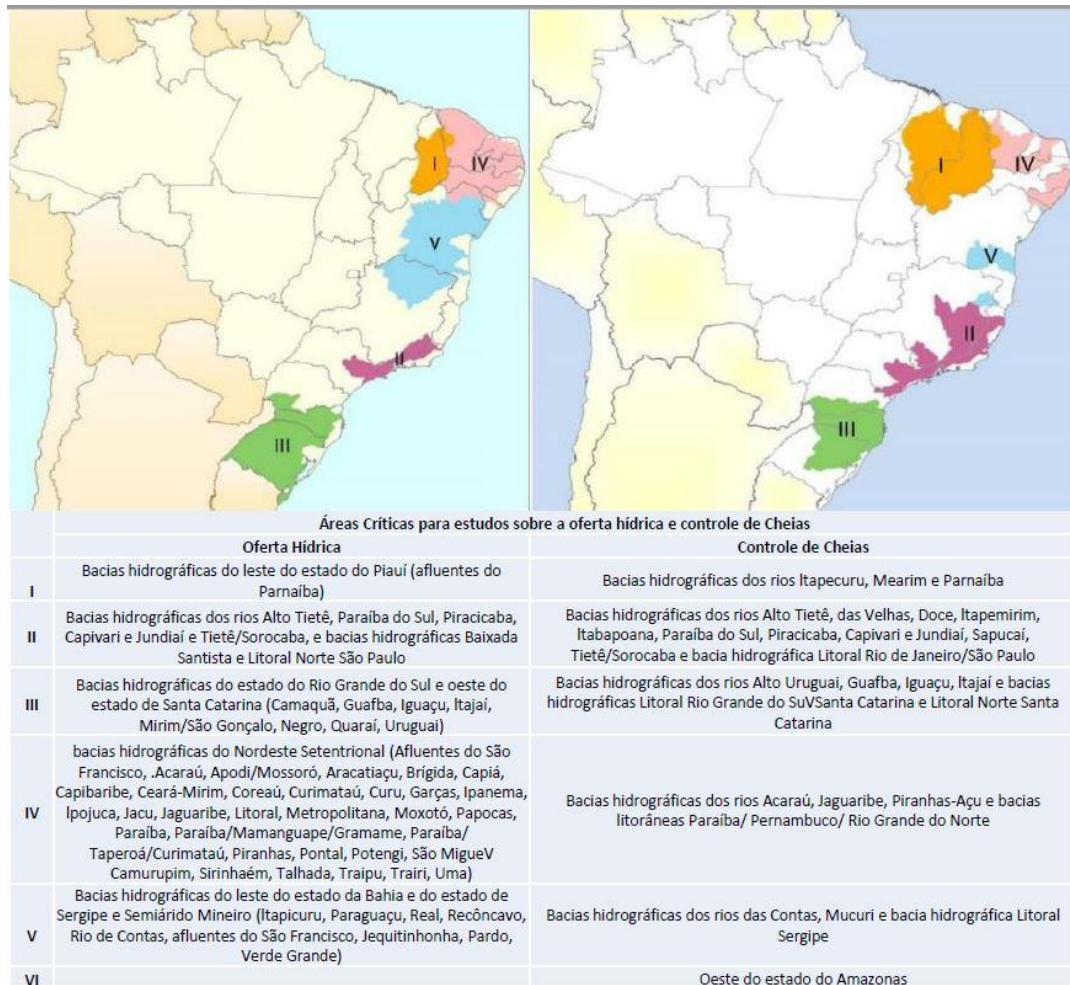
Dessa forma, viu-se a importância da relação entre os usos da terra e da água emergir, a ampliação dos usos de agrotóxicos e pesticidas nas grandes plantações no Brasil revelou o quanto os usos da terra podem interferir na qualidade da água. Além disso, efluentes químicos industriais contribuíram em larga escala para o panorama de escassez relativa nos grandes centros urbanos. A escassez relativa é quando existe água em quantidade suficiente para os usos múltiplos demandados a ela, mas que a qualidade não atende aos critérios necessários (TIEPO *et al.*, 2017).

Em resultado disso, em 2012 o governo, por meio da ANA, anunciou o projeto de criação do PNSH com o objetivo de definir as principais ações estruturantes e estratégicas na gestão dos recursos hídricos, visando garantir a oferta de água para o abastecimento humano, para os usos múltiplos das atividades produtivas e reduzir os riscos associados aos eventos críticos (CASTRO, 2021). Dessa forma, percebe-se uma consonância conceitual com as definições de segurança hídrica existentes até o momento, já que abrange critérios múltiplos desde a conservação, usos humanos e econômicos até a gestão dos riscos associados a eventos críticos, que não fica tão claro quanto a quais formas de eventos críticos se refere.

Em 2013, com o plano já em elaboração, foi publicado pela ANA o termo de referência que objetivava:

[...] elaborar o Plano Nacional de Segurança Hídrica – Critérios, Seleção e Detalhamento de Intervenções Estratégicas com a definição das principais intervenções estruturantes do país (Barragens, Sistemas Adutores, Canais e Eixos de Integração), de natureza estratégica e relevância regional, necessárias para: a) garantir a oferta de água para o abastecimento humano e para o uso em atividades produtivas e b) reduzir os riscos associados a eventos críticos (secas e cheias) (ANA, 2013, p. 10).

Em função disso, o termo também define diversos objetivos específicos com o intuito de realizar uma série de estudos relacionados a gestão de recursos hídricos e a segurança hídrica no Brasil. A princípio, a abrangência territorial estabelecida foi em território nacional, contudo, em função dos eventos climáticos e antrópicos críticos vividos no período, os esforços foram direcionados em regiões prioritárias, onde eram necessários estudos mais complexos e de maior aprofundamento (figura 2).



**Figura 2 – Áreas prioritárias para estudos iniciais sobre a oferta hídrica. Áreas com maior ocorrência de secas (esquerda) e Áreas prioritárias para análise de controle de cheias (direita). Fonte: Adaptada de ANA, 2013.**

Além disso, no termo ficam estabelecidas metas de planejamento para identificação de demandas efetivas até 2020 e para avaliação e alcance das intervenções até 2035, sendo que se deve revisar os objetivos a cada quatro anos em detrimento do Plano Plurianual (PPA) adotado anteriormente e ainda subsidiar as decisões deste. Contudo, no termo não fica estabelecida a função dos usuários, dos CBHs e de outras instituições no processo decisório para definir os critérios de avaliação, a menção é feita apenas às unidades da federação que ficam responsáveis pelos processos de identificação de análises e intervenções existentes e futuras na incorporação das ações, diretrizes e recomendações metodológicas para mitigar o risco de não apropriação das medidas (CASTRO, 2021).

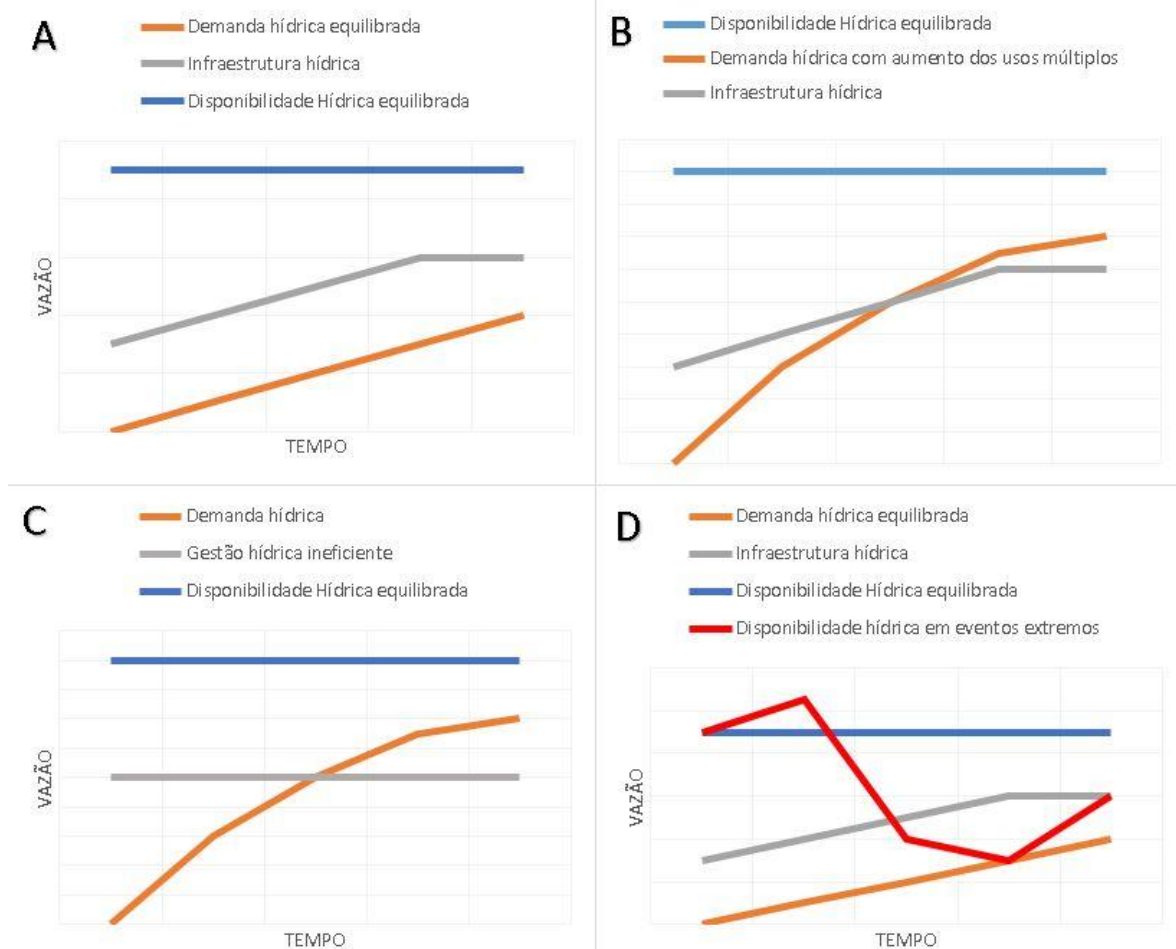
Em abril de 2019, a ANA publicou, no dia mundial da água, a primeira versão do PNSH, que tinha como base o conceito de segurança hídrica utilizado pela ONU em 2013. No Plano, a ANA detalha quatro dimensões da segurança hídrica no Brasil (figura 3) e a importância de

planejamento, dimensionamento e infraestrutura para atender ao equilíbrio entre oferta e demanda dos recursos hídricos no país.



**Figura 3 – Dimensões da Segurança Hídrica no Brasil.**  
Fonte: ANA, 2019.

Essas quatro dimensões levam em consideração aspectos como o balanço hídrico, os usos múltiplos da produção, o consumo humano e a resiliência ambiental. Cabe destacar que a relação entre eles é intrínseca e as alterações em cadeia obedecem a um limiar móvel dependente, ou seja, em caso de aumento de usos múltiplos da produção, criam-se pressões em detrimento do balanço hídrico e da resiliência ambiental, por exemplo, em desastres causados pela mineração. Dessa forma, se faz necessário pensar na segurança hídrica em nível de planejamento do uso da terra de forma definitiva, já que as interações entre os usos podem significar a perda do equilíbrio em detrimento do outro (figura 4).



**Figura 4 – Interação Hipotética das quatro dimensões a partir de situações práticas. Modelo em equilíbrio (A); Aumento da demanda de usos múltiplos (B); Gestão hídrica ineficiente (C); Disponibilidade hídrica em eventos extremos (D).**

Fonte: Adaptada de ANA, 2019.

### 3.1 Índice de Segurança Hídrica (ISH)

Embora o conceito de segurança hídrica utilizado no PNSH seja abrangente, o desafio da sua aplicação é intrínseco à sua complexidade. O conceito contempla tanto variáveis quantitativas como qualitativas, dessa forma, ele é bastante útil na transmissão de informações a respeito do direito e da posição do usuário dos recursos hídricos, além da escassez relativa de água e a relação entre usos da terra e da água. Contudo, existe uma complexidade de informações quantitativas, e o conceito por si só não representa a dinâmica do espaço em que está inserido, assim, a oferta hídrica ou escassez absoluta, além dos fenômenos extremos e seus riscos associados, carecem de um instrumento que torne possível a aplicação do conceito.

Assim, com o objetivo de operacionalizar o conceito por meio de um efeito prático e aplicável nos diferentes contextos do país, foi criado o (ISH). Esse índice está presente no PNSH e

consiste na análise sintética das dimensões (Humana, Econômica, Ecológica, e de Resiliência) previstas no plano, através de cálculos matemáticos que utilizam indicadores, variáveis ou atributos relativizados. Conforme a ANA (2019c),

[...] as quatro dimensões de Segurança Hídrica (Humana, Econômica, Ecológica e de Resiliência) foram consideradas e combinadas para formar o Índice de Segurança Hídrica. \* Cada dimensão é composta de um ou mais indicadores, capazes de quantificar aspectos pertinentes a ela. \* Cada indicador é formado por uma combinação de variáveis ou atributos mensuráveis. \* Os indicadores têm seus valores classificados em cinco faixas de gradação, normalizadas com a atribuição dos números naturais de 1 a 5, em ordem decrescente do nível de segurança hídrica. A exceção é o indicador de segurança das barragens de rejeito de mineração, que varia de 1 a 3. No processo de composição do ISH, em cada dimensão foram atribuídos pesos aos respectivos indicadores para cálculo da média ponderada e normalização do índice. As classes e os pesos foram atribuídos segundo a visão de especialistas e testes de aderência à realidade, tendo por base o papel que cada um dos aspectos considerados desempenha na representação da segurança hídrica (ANA, 2019c).

Sendo assim, a relação entre os usos da terra e da água são, em tese, discriminados pelo ISH de forma concreta. Quanto maiores forem os indicadores de risco, maior será seu efeito dentro do índice, dessa forma, nas regiões onde os resultados de segurança hídrica forem elevados, a aplicação do ISH corrobora para uma maior disponibilidade de recursos hídricos na forma natural em relação às pressões causadas pela demanda de todas as outras dimensões. Cabe ressaltar que os reservatórios possuem posição de destaque na aplicação do índice, pois estes têm maior influência da dimensão de resiliência em relação aos eventos climáticos extremos, já que, entre outras, tem a função de regularizar, armazenar e distribuir a vazão nesses casos, elevando assim a segurança hídrica da região (ANA, 2019b).

Entretanto, deve-se destacar que mesmo com a influência positiva dos reservatórios em relação à segurança hídrica, eventos extremos como a crise hídrica que atingiu a Região Sudeste do país entre 2013 e 2015 denotam que ainda existem vários fatores que devem ser levados em consideração para se alcançar a segurança hídrica nos grandes centros urbanos. Exemplo disso é a RMBH que possui três reservatórios relativamente extensos e vários outros de menor escala, e ainda assim houve vários cortes no fornecimento de água para o consumo humano, bem como atividades econômicas ao longo da região metropolitana no período, afetando severamente as dimensões humana, de resiliência e econômicas preconizadas pelo PNSH.

Simultaneamente, já no PNSH, a aplicação do ISH em território nacional revelou perspectivas interessantes acerca de Belo Horizonte. Conforme apresentado no parágrafo anterior, a RMBH sofreu severas consequências em detrimento da crise hídrica na década passada, corroborando isso, o ISH calculado para o período de 2017 a 2035 indica que a RMBH está inserida no contexto de segurança hídrica média, mesmo tendo grandes reservatórios e uma oferta hídrica





Dessa forma, fica claro que tanto o conceito de segurança hídrica quanto a aplicação do ISH têm como prerrogativa a dinâmica de ocupação do uso da terra e da água como referencial para análise. Os vários estágios escalares indicam a qual interação deve-se atentar a fim de interpretar o espaço por meio do conceito apresentado, e, se possível, prever os riscos reais que podem afligir os recursos hídricos em âmbito nacional.

## 4 PRESSÕES ASSOCIADAS AO USO DA TERRA EM SISTEMAS HÍDRICOS

### 4.1 Agricultura

O Brasil, nos últimos 40 anos, caminhou a passos largos na produção de alimentos, saindo da condição de importador para um importante provedor de alimentos para o mundo, o país coleciona conquistas tecnológicas e econômicas acerca da agropecuária no mercado mundial. Contudo, existem grandes desafios na produção de alimentos nesta escala, principalmente na manutenção da qualidade do solo e dos sistemas hídricos aos quais está inserido, que de forma direta e/ou indireta impacta na segurança hídrica do país.

#### 4.1.1 Irrigação

Ainda há grande concentração de riqueza em pequena parcela de propriedades rurais, sendo que destes, há milhões de hectares com solos, pastagens e rios degradados pelo uso inadequado de técnicas e metodologias para a transformação desses ambientes em áreas produtivas. Entre elas, a irrigação ocupa lugar de destaque, já que ela usa 70% do montante de água doce do mundo, caracterizando-se como o maior uso da água do planeta (SANTOS *et al.*, 2018). Contudo, apesar da necessidade do método para a produção alimentar que sustente o extenso crescimento populacional, existem técnicas que coexistem com o panorama de sustentabilidade do uso dos recursos hídricos mais indicadas na produção em larga escala, como o gotejamento.

Segundo Rotondand e Melo (2022), existem três principais tipos de sistemas de irrigação no mundo: por superfície, aspersão e localizada. O primeiro, o sistema de irrigação por superfície, compreende os sistemas nos quais há condução de água pelo sistema de distribuição instalado na superfície, como irrigação por sulco e irrigação por inundação, ou seja, no primeiro caso é aberto um canal paralelo às fileiras e que tem por finalidade o escoamento superficial da água que, em determinados momentos, infiltra lateralmente e nutre o plantio. Já o segundo tem por finalidade a inundação da área de cultivo, que por sua vez terá tempo de permanência submersa maior, sendo o mais comum aplicar em culturas que necessitam de saturação do solo, como arroz, algodão, feijão, cebola, milho, aveia, entre outros (figura 6).



**Figura 6 – Sistemas de irrigação por superfície: Inundação (esquerda) e Sulcos (direita).**  
**Fonte: SANTORO, 2021.**

Já o sistema de irrigação por aspersão é o sistema que distribui água em forma de gotas em suspensão no solo, algo assimilado com o fenômeno das chuvas. Existem três subdivisões derivadas desse sistema, a primeira é o Sistema Convencional ou Permanente, no qual se instalam aspersores em linha para cobrir uma área maior de abrangência e irrigar toda a superfície do cultivo. Já o segundo é nomeado de Sistema Autopropelido de Irrigação, no qual um aspersor móvel é instalado e este percorre um caminho preferencial sobre todo o cultivo, assim tem uma boa abrangência e necessita-se de menor mão de obra. Por fim, o Sistema de Pivô Central mantém a tubulação elevada entre 2,70 m até 3,70 m e faz um giro total ao longo de um eixo central que lança gotas de água em uma área circular de 40 ha a 140 ha (figura 7).



**Figura 7 – Sistemas de irrigação por pivô central (esquerda) e aspersão convencional (direita).**  
**Fonte: SANTORO, 2021.**

O terceiro sistema é o de irrigação por Gotejamento ou Localizado (figura 8). Esse sistema é composto por uma rede de tubulações que penetram o solo na região radicular do plantio ou é postado em uma pequena distância do solo e mantém pequenas vazões com alta frequência, de modo a manter o solo sempre úmido e com boa nutrição para o desenvolvimento do plantio. Esse é o sistema mais indicado na maioria dos casos, já que consome menor quantidade de água

em relação aos outros, mantém em bom estado a propriedade do solo e não favorece a infiltração de produtos químicos em nível freático.



**Figura 8 – Exemplo de irrigação por gotejamento.**  
Fonte: Adaptada de SANTORO, 2021.

Segundo Rebouças *et al.* (2006), em geral as razões para se implementar sistemas de irrigação no cultivo de uma propriedade é reflexo da potencialização de produção em níveis sazonais, quantitativos e qualitativos. Isso tem implicações sociais diretas, já que, em tese, com a otimização e o aumento da produção de alimentos, há também a criação de novos empregos e maior disponibilidade de alimentos para o consumidor final, além da diversificação econômica de cada país. Contudo, não é o que acontece na prática, já que, hoje, cada vez mais, tem-se a produção de alimentos pautada em equipamentos e mão de obra mecanizadas sem interferência humana, além de produtos inadequados para consumo devido à grande quantidade de uso de agrotóxicos em todo o seu ciclo.

Além disso, há impactos ambientais extremamente relevantes com a aplicação desses sistemas sobre as reservas hídricas, erosão do solo, assoreamento em corpos-d'água e falta de controle no uso de fertilizantes e biocidas. Assim, efeitos como a salinização dos solos se tornam mais frequentes, já que há adição de materiais orgânicos e minerais que são exóticos ao ambiente durante a irrigação, que por sua vez penetram no solo e, assim, o torna hipertrófico, causando sérias consequências para a estrutura e o uso deste, além de carrear matéria orgânica para os rios, o que compromete profundamente a saúde deles.

Além disso, todos esses processos modificam a dinâmica vegetal, já que envolvem a retirada de mata nativa e secundária, além da consequente indução da monocultura, que modifica a população local de insetos e por consequência intensifica o uso de inseticidas que posteriormente podem ser carregados para o solo e para as águas (BERNARDO, 2008). Esse último evento tende a acontecer por escoamento superficial e subsuperficial, assim, a água

escoa superficialmente pela vertente, transportando agroquímicos e partículas de solo desagregadas até o fundo de vale; e pela percolação subsuperficial que transporta os materiais verticalmente, podendo atingir os níveis freáticos, e, por consequência, os lagos do sistema. Segundo Rebouças (2006), essa prática está mais associada à irrigação por superfície, contudo, também pode ser encontrada na prática dos outros sistemas mencionados.

Vale ressaltar que a retirada de vegetação induz um maior efeito sobre os sistemas, já que em ambientes com solo exposto a taxa de erosão tende a ser maior. Um desses fatores que corroboram para a retirada do material é o escoamento livre em superfície, pois sem o controle da vegetação, a água tende a ganhar maior velocidade e, conseqüentemente, maior capacidade de retirada de material, causando a erosão por sulcos ou laminar. Além disso, outro fator importante fica a cargo do efeito *splash*, que é a retirada abrupta do solo proveniente do impacto direto das gotas de chuva com alta energia cinética que desagrega o solo e, portanto, o torna mais suscetível a transporte por escoamento (BERTONI *et al.*, 1990; RUBIRA, 2016).

Já o consumo exacerbado dos recursos hídricos, além de ter impactos diretos na produção pela falta de água, promove a disputa pelo uso da água na região. Assim, diversos setores da sociedade a jusante do curso-d'água sofrem com escassez, por exemplo, os usos para consumo humano, animal, fauna silvestre, e diversos setores da economia. Em casos de impactos na qualidade da água, há contaminação do solo e propagação de doenças na população a jusante, como Bernardo (2008) afirma sobre a esquistossomose, verminoses diversas e a proliferação de vetores dessas doenças.

Os usos inadequados dos recursos hídricos em torno do mundo causados pela irrigação já estão cristalizados e com impactos extremamente nocivos à qualidade do meio ambiente. Brito *et al.* (2010) demonstra que o Mar de Aral, localizado entre as fronteiras do Cazaquistão e o Uzbequistão, teve seu espelho-d'água reduzido em 42% em 28 anos, passando de 68 mil km<sup>2</sup> para 29 mil km<sup>2</sup>, e seu volume foi reduzido de 1.000 km<sup>3</sup> para 220 km<sup>3</sup>, uma redução de 22% no volume total. Além disso, a concentração da salinidade da água subiu 22% no período, o que é consequência de um grande projeto de irrigação a montante do lago instalado e operado de forma inadequada para a produção de algodão e arroz, que juntos utilizaram até 90% da vazão natural dos cursos-d'água a montante do lago.

Assim, apesar da necessidade cada vez maior de produção de alimentos, é necessário que o setor agrícola, no uso da irrigação, tenha cautela e responsabilidade com o ambiente, já que



seus efeitos podem ser determinantes entre um panorama de escassez hídrica, seja ela absoluta ou relativa.

#### **4.1.2 Uso de agrotóxicos**

Os agrotóxicos surgiram efetivamente durante a Segunda Guerra Mundial e, desde então, são usados como uma importante ferramenta na produção de alimentos em larga escala no mundo. Sua finalidade é, em conjunto com outras ferramentas tecnológicas, controlar a proliferação de pragas sobre o plantio e, assim, evitar perdas em todo o processo produtivo até a chegada do alimento no consumidor final. A lei nº 7.802/89 define os agrotóxicos como:

[...] produtos químicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da fauna ou da flora, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos; [...] [bem como] substâncias e produtos empregados, como desfolhantes, dessecantes, estimulantes e inibidores de crescimento (BRASIL, 1989).

O Brasil é o maior consumidor desse recurso no mundo desde 2009 e utiliza diversos tipos de agrotóxicos que, inclusive, já foram banidos em diversos países no mundo. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), em 2013, afirmou que 63% dos alimentos no Brasil continham a presença de produtos químicos oriundos de defensores agrícolas, como: Fungicidas; Herbicidas; Inseticidas; Acaricidas e Rodenticidas.

Além dos prejuízos ambientais do uso dessa ferramenta, na ingestão humana os danos são diversos e preocupantes, já que, segundo a Environmental Protection Agency (EPA) em 2019, por ano, são registradas cerca de 70 mil intoxicações que evoluem para mortes associadas aos usos desses produtos. Além disso, pessoas que trabalham diretamente com o uso desses produtos estão mais suscetíveis à contaminação, já que grande parte deles são nocivos à inalação humana, além de haver contaminação por contato, com efeitos agudos de irritação na pele, ardência, desidratação, alergias, ardências nas partes com mucosas do corpo humano (nariz e boca), tosse, coriza, dores localizadas na região torácica, dificuldade de respirar, irritação da garganta, dores nas regiões abdominais, náuseas, vômitos e diarreia. Já nas perspectivas de efeitos crônicos, estão associados insônia, esquecimento, aborto, impotência sexual, depressão, problemas respiratórios graves, alteração no funcionamento do fígado e dos rins, anomalias na produção de hormônio da tireoide, dos ovários e da próstata, esterilidade

humana, malformação e problemas no desenvolvimento intelectual e físico de crianças, além de câncer.

Já para o meio ambiente, existem várias formas de ocorrência da contaminação por agrotóxicos que, em grande parte dos casos, vão resultar na contaminação humana. Assim, com o uso e a ocupação da terra desordenadamente, o espaço passa a sentir com maior latência os efeitos desses produtos, já que isso implica a supressão de vegetação nativa e secundária, além da desagregação ou impermeabilização dos solos na bacia hidrográfica (ANVISA, 2020). Portanto, com a supressão da vegetação, o panorama é de favorecimento da erosão e de carreamento dos produtos agroquímicos para o fundo de vale por meio do escoamento superficial com alta velocidade, além disso, a impermeabilização do solo impede que as águas das chuvas infiltrem no solo e prejudica a recarga no nível freático. Já o efeito do revolvimento do solo é associado ao carreamento de sedimentos ao fundo de vale, sendo que, por efeito *splash*, laminar ou por sulcos, provocam a erosão desse ambiente contaminado pelos produtos em epígrafe.

Esses efeitos podem ser diminuídos se forem aplicadas técnicas agrícolas adequadas para a proteção ambiental, como terraceamento, curvas de nível, plantio direto e rotação de culturas. Essas técnicas reduzem a compactação do solo, bem como o escoamento superficial, já que diminui a declividade e adiciona obstáculos no fluxo de água, assim, por consequência, combate a ocorrência de erosão, que, por sua vez, carrega os sedimentos contaminados ao fundo do vale. Dessa forma, Silva *et al.* (2011) afirma que o manejo adequado do solo e de culturas, bem como o gerenciamento dos recursos hídricos, é a melhor alternativa frente ao controle de poluição por pesticidas no campo, promovendo um uso mais sustentável do sistema produtivo, além de não prejudicar os sistemas hídricos e, por consequência, a saúde humana.

Assim, a possibilidade de contaminação ambiental por agrotóxicos está relacionada diretamente com as propriedades físico-químicas desses compostos, sendo que quanto maior é a sua hidrossolubilidade, maior a tendência de carreamento para cursos-d'água e águas subterrâneas. Por outro lado, fenômenos como a sorção de granulometrias do solo ajudam na prevenção de percolação desses produtos pelo subsolo, tal qual exemplifica Goss (1992), a persistência do produto e o coeficiente de adsorção da matéria orgânica (Koc) determinam a forma como esses produtos interagem com as propriedades do solo. Assim, a persistência média desses produtos é medida pelas suas meia-vidas, ou seja, o tempo necessário para que sua concentração no meio ambiente seja reduzida pela metade.



Contudo, esses produtos adsorvidos por partículas de argila principalmente, na preparação do solo para plantio, são revolvidos e carregados para os cursos-d'água, podendo permanecer em suspensão e/ou decantados no fundo do curso-d'água. Em meio a isso, podem ser absorvidos por organismos aquáticos para serem destoxificados ou acumulados (SILVA e SANTOS, 2007). Assim, a depender de características físico-químicas do produto, como matéria orgânica, argila e pH, o comportamento aquático será diferente. Em casos de pesticidas orgânicos hidrofóbicos, por exemplo, tem-se a solubilidade baixa e tende a depositar no fundo da calha do rio, o que pode causar crescimento de algas e outros microrganismos que vão alterar quimicamente o ambiente aquoso.

Nos cursos-d'água, os agrotóxicos são transportados por diferentes distâncias e maneiras de acordo com a geomorfologia do canal, dependendo da competência do curso-d'água, da sazonalidade, da rugosidade, do controle estrutural no talvegue, além de ações antrópicas e biológicas naturais do rio, o composto pode partir desde uma fonte pontual de contaminação, bem como de fontes difusas de contaminação, o que significa que a periodicidade desse evento pode ser abrupta ou recorrente.

Assim, o comportamento de aplicação do mecanismo de transporte dos agroquímicos em cursos-d'água obedece a um modelo sazonal que depende do tempo de aplicação dos produtos nos vegetais e do mecanismo de transporte até os cursos-d'água. Frequentemente, após a aplicação, os produtos são transportados até o curso-d'água na mesma estação, variando entre dias e semanas de efeitos. Kuivila e Hladik (2008) afirmam que a tendência é de maior concentração dos produtos durante as primeiras chuvas da estação e depois o panorama fica contínuo durante todo o período chuvoso, ou seja, há um acúmulo de sedimentos contaminados ao longo do período seco e em eventos chuvosos todo esse acumulado é carregado para o curso-d'água.

Outro evento semelhante é o caso das Wetlands, ou Áreas Úmidas, que retêm sedimentos colúviais no sopé das vertentes e em eventos chuvosos mais fortes onde o rio cobre essas tipologias, ela fornece esses sedimentos contaminados para o curso-d'água de base, assim se comportando como uma reserva de sedimentos contaminados que analogamente está ligada ao sistema hídrico regional.

Como referência da qualidade do recurso hídrico em âmbito estadual, a Deliberação Normativa Conjunta do COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008, se propõe a classificar os corpos- d'água de maneira a determinar os valores e parâmetros necessários para sua avaliação,

bem como seus usos associados e diretrizes ambientais para seu enquadramento. Assim, todos os cursos-d'água que obedecem aos parâmetros pressupostos na deliberação normativa são classificados entre cursos-d'água com classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4, em que a classe especial tem os melhores resultados analíticos e a classe 4 os piores resultados.

Nesse sentido, os usos dos recursos hídricos devem obedecer ao enquadramento proposto pela deliberação normativa. Contudo, na maioria dos casos, para se utilizar água para irrigação, captam-se águas que têm melhor qualidade, mas no fechamento do sistema, ou seja, na devolução dessa água ao curso-d'água após o uso, esta é transportada pela vertente e carrega sedimentos que rebaixam sua classe de uso, e, portanto, é danoso ao curso-d'água ao qual ela foi retirada, assim evidenciando um panorama de crise hídrica relativa, ou seja, quando existe água em quantidade, mas não em qualidade para os usos múltiplos devidos.

## **4.2 Mineração**

Após o declínio da economia baseada na produção de açúcar no até então Brasil Colônia do século XVII, a metrópole portuguesa, motivada pelas recentes descobertas dos seus vizinhos espanhóis no continente americano, viu na mineração a saída para as mazelas que o império português passava e, assim, alavancar sua economia aos patamares mais altos do mundo naquele tempo (SILVA, 1995; ALVES, 2019b). Desde então, a mineração brasileira ocupa lugar de destaque na economia mundial, tal qual em 2013 culminou no Plano Nacional da Mineração 2030 (PNM-2030), projetando o crescimento de 5,2% ao ano no setor até o ano de 2030 enquanto o mundo projetava apenas 3,8%. Isto impulsionou ainda mais a economia extrativista, na qual entre os princípios de operação estava a ampliação de pesquisas minerais no Brasil, ou seja, realizar mapeamento de prospecção em escala 1:100.000 em âmbito nacional para servir de inventariado potencial para a produção mineral no país.

Entre 2018 e 2019, de acordo com a United States Geological Survey (USGS), o Brasil ocupou o segundo lugar na produção e exportação de minério de ferro mundial (tabela 2), mesmo sofrendo impacto na produção mineral em função do rompimento da barragem de Brumadinho no dia 25 de janeiro de 2019.

<b>Ranking de produção mineral em 2018 e 2019</b>						
	<b>Produção mineral</b>		<b>Mineral ferrífero</b>		<b>Reservas</b>	
	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>Mineral bruto</b>	<b>Teor de ferro</b>
<b>EUA</b>	495.000	48.000	32.300	31.000	3.000	1.000
<b>Austrália</b>	900.000	930.000	557.000	580.000	48.000	23.000
<b>Brasil</b>	460.000	480.000	250.000	360.000	29.000	15.000
<b>Canadá</b>	52.400	54.000	31.000	33.000	6.000	2.300
<b>Chile</b>	14.000	14.000	8.940	9.000	-	-
<b>China</b>	335.000	350.000	209.000	220.000	20.000	6.900
<b>Índia</b>	205.000	210.000	126.000	130.000	5.500	3.400
<b>Irã</b>	36.400	38.000	23.900	25.000	2.700	1.500
<b>Cazaquistão</b>	41.900	43.000	11.700	12.000	2.500	0.900
<b>México</b>	22.300	23.000	14.000	14.000	-	-
<b>Peru</b>	14.200	15.000	9.530	10.000	-	-
<b>Rússia</b>	96.100	99.000	59.700	59.000	25.000	14.000
<b>África do Sul</b>	74.300	77.000	47.200	49.000	1.100	0.690
<b>Suécia</b>	35.800	37.000	22.200	23.000	1.300	0.600
<b>Ucrânia</b>	60.300	62.000	37.700	39.000	6.500	2.300
<b>Outros</b>	62.500	62.000	35.800	35.000	18.000	9.500
<b>Total Mundo</b>	<b>2.905.200</b>	<b>2.542.000</b>	<b>1475.970</b>	<b>1629.000</b>	<b>168.600</b>	<b>81.090</b>

Tabela 2 – Produção mineral de Ferro do mundo entre 2018 e 2019.  
Fonte: Adaptada de USGS, 2020.

#### **4.2.1 Mudança na paisagem**

Tradicionalmente, a Geografia diferencia os conceitos de paisagem como objeto de estudo em duas vertentes, a paisagem natural e social que, muitas vezes se confunde com a geografia dita física e a geografia humana no ambiente acadêmico. Contudo, Bertrand (1971) afirma que a paisagem não se refere à simples e pura adição de elementos geográficos desconexos que não mantêm relação entre si, em vez disso, é uma porção do espaço que aborda elementos físicos, biológicos e antrópicos indissociáveis que reagem dialeticamente entre si e, portanto, estabelece a constante evolutiva dessa porção.

Dessa forma, a partir do século XV e consequente pré-disposição renascentista, a paisagem passa a ser interpretada como um meio de o homem se distanciar da natureza e concomitantemente fazer uso das suas transformações baseadas em técnicas de apropriação mecanizada e tecnicista (MENDONÇA e VENTURI, 1998; SCHIER, 2003). É nesse momento que a paisagem toma forma não somente de uma porção espacial referenciada no papel, mas

como uma porção espacial passível de transformação e adequada principalmente aos anseios antrópicos.

Nesse sentido, a mineração vem como um dos principais objetos transformadores da paisagem no contexto atual, tanto físico quanto humano. A principal forma de extração mineral no Brasil é feita pela extração a céu aberto, que consiste na abertura de uma cava a partir de uma jazida mineral, geralmente em morfologias serranas, que após todo o processo toma uma dinâmica exótica em toda a paisagem.

Para a instalação dessas minas, geralmente retira-se a camada vegetal da porção escolhida, bem como toda a cobertura pedológica que erroneamente é denominada de estéril em função do baixo teor de minério, e, por fim, é acumulado em pilhas que não são reaproveitadas em outros seguimentos. Esse equívoco favorece ainda mais os impactos negativos na paisagem regional, já que os componentes desses solos retirados poderiam ser aproveitados por outros seguimentos da sociedade, como na construção civil, na fabricação de vidros e nos setores agrícolas.

A partir daí, começa-se a realizar a exploração do recurso mineral com a perfuração e a infusão de explosivos que desagregam o material rochoso e permite a ação de caminhões e escavadeiras mecânicas na retirada e no transporte do material até as unidades de beneficiamento. Assim, o material é retirado deixando a cava exposta em um ou mais buracos de grandes dimensões que podem acarretar diversos problemas, como desmoronamento de talude e exposição do nível freático (figura 9).



**Figura 9 – Antiga cava da mina de Águas Claras (Vale) – Serra do Curral, Belo Horizonte.  
Fonte: Autoria Própria.**

Além das alterações advindas da cava da mina, as barragens de rejeito também provocam alterações importantes na paisagem, pois essas tipologias costumam ser instaladas e operacionalizadas em vertentes e taludes que bordejam serras e importantes zonas de cabeceiras de cursos-d'água, já que as morfologias dessas áreas formam bolsas de contenção, caso seu fluxo seja barrado. Desse modo, a área na qual foi instalado o barramento passa a ter uma configuração por vezes de alteamentos semelhantes a grandes paredes de terra que, além de descaracterizar o modelado geomorfológico e hídrico, influencia no panorama de segurança sensível a jusante da vertente, tanto por parte ambiental, como humana, tal qual visto nos desastres ambientais e humanos associados a rompimento de barragens de mineração na última década, principalmente no estado de Minas Gerais.

Se não bastasse a situação social associada a barragens de rejeitos, em situações em que a mina se concentra próximo a áreas urbanas, por vezes oriundas de trabalhadores da própria mina, as transformações também ocorrem em ambientes construídos. Essas áreas costumam ser desmobilizadas para a moradia da população para a ampliação da área da mina, e seus moradores são realocados em outras áreas que, na maioria das vezes, é escolhida pela própria mineradora (RODRIGUES, 2011; BARBOSA e GARCÍA, 2012).

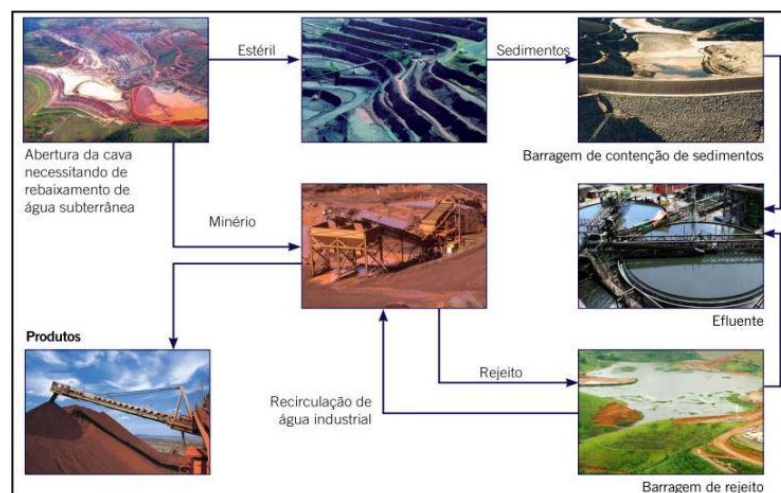
Nesse contexto, a principal forma de garantir a mitigação desses impactos é o processo de fechamento de mina, que tem como princípio o encerramento das atividades minerárias no local, de maneira que garanta a sua destinação segura para a reutilização social e física deste em prol da sociedade. Esse processo é feito no ato do licenciamento ambiental do empreendimento, conforme recomendado pelo Ministério de Minas e Energia do Brasil e existem casos de sucesso em território nacional, contudo há também diversos fracassos no ciclo que denotam fragilidades no arcabouço legislativo e de fiscalização acerca do tema.

#### **4.2.2 Consumo e contaminação de recursos hídricos**

Os recursos hídricos e a mineração são agentes indissociáveis quando se pensa na dinâmica de uso e ocupação da terra. O efeito do avanço de cada classe pode significar importantes alterações na paisagem e seus efeitos podem ser catastróficos quando se comparado o custo e o benefício de cada. Dessa forma, a viabilidade técnica e econômica de uma lavra é condicionada ao contexto hidrológico do local que será implantado o empreendimento, assim, as interações entre água e mineração perpassa por todos os níveis de operação, tratamento, beneficiamento do minério, fechamento e pós-fechamento de mina (BICHUETI *et al.*, 2014).

Assim, a relação dos recursos hídricos e os impactos da mineração ocorrem em pelo menos três níveis principais. O primeiro é relativo aos problemas estruturais intrínsecos à operação de lavra, o segundo fica a cargo dos usos da água para a produção mineral e o terceiro se resume no risco de contaminação da água, ou seja, o primeiro e o segundo denotam problemas quantitativos, enquanto o terceiro corrobora o panorama qualitativo do recurso hídrico (MILANEZ, 2017; BUCHIETI *et al.*, 2014; ALVES, 2019b).

Embora a taxa de recirculação muitas vezes expostas sejam altas (cerca de 90%), a água como insumo fundamental para a extração mineral revela que o consumo específico do recurso pode variar entre 1,1 m<sup>3</sup>/s e 4 m<sup>3</sup>/s (VALE, 2016; MRN, 2015). Contudo, as alterações hidrogeomorfológicas promovidas pela atividade minerária como o rebaixamento de nível freático no processo de abertura de cava em minas a céu aberto mudam todo o panorama de exfiltração de água no ambiente e, conseqüentemente, altera os níveis de vazão nos cursos- d'água regionais (IBRAM, 2012) – figura 10.



**Figura 10 – Ciclo de operação de minas a céu aberto.**  
**Fonte: IBRAM, 2012.**

Além do rebaixamento do nível freático, a falta de recarga destes está intrinsecamente associada à abertura da cava, que, especialmente em áreas de ocorrência de cangas ferruginosas, reduz a porosidade do substrato e, portanto, também a infiltração de água nesses ambientes. Cabe ressaltar que ao mesmo tempo em que há uma importância ecológica em torno das áreas de canga, estas são focos do seguimento minerário em função da riqueza do material ferruginoso e geralmente está localizada em platôs ligados como elementos fundamentais a recargas de aquíferos, gerando assim uma dicotomia padrão entre a manutenção dos sistemas hídricos e a exploração mineral da unidade localizada.

Ademais, impactos dos recursos hídricos na prática logística do uso de minerodutos vêm se tornando cada vez mais costumeiros na produção minerária brasileira. Grandes empresas como Samarco, Anglo American e Vale constroem extensos minerodutos para escoamento de minério que partem das minas de extração em direção aos portos com destino a outros países. Em 2014, a Anglo American construiu um mineroduto de 529 km de extensão que liga a sua mina Sapo-Ferrugem, no município de Conceição do Mato Dentro, em Minas Gerais, ao porto de Açú, em São João da Barra no Rio de Janeiro, e, assim, utiliza água para transporte do produto. Segundo a própria empresa em documentos do processo de licenciamento, o mineroduto é capaz de transportar cerca de 1.850 m<sup>3</sup>/h de polpa contendo 70% de minerais de ferro e 30% de água (555 m<sup>3</sup>/h) (SIMÕES, 2021).

Em 2018, na cidade de Santo Antônio do Grama, em Minas Gerais, houve dois rompimentos na estrutura do mineroduto, que, além de despejar 477 toneladas de polpa de minério no entorno, contaminou o ribeirão Santo Antônio com mais de 470 toneladas e provocou a interrupção do abastecimento público da cidade, bem como os usos múltiplos da água para irrigação e pesca (MELO *et al.*, 2021).

Além disso, foram identificados severos impactos em meio físico e antrópico posteriormente, como: assoreamento e contaminação de cursos-d'água por metal pesado, mudança na composição química e estrutural do solo provocadas pela projeção do vazamento, que posteriormente será carregado ao curso-d'água de referência, e mudança no padrão de vida dos moradores, já que estes não confiavam mais na idoneidade da distribuição e no uso dos recursos hídricos da região.

Assim, os impactos da mineração na manutenção da qualidade e da quantidade dos recursos hídricos são desafios complexos e de diferentes opiniões. Estes podem se dar pelo panorama de consumo elevado, bem como mudanças de regimes hidrológicos e poluição hídrica oriundas do processo ou em casos de tragédias, como rompimento de barragens e minerodutos. Dessa forma, o prejuízo extrapola os limites das minas, comprometendo integralmente bacias hidrográficas e a atividade antrópica, muitas vezes de forma definitiva como nos rompimentos das barragens de Mariana, em 2015, e Brumadinho, em 2019.

### **4.2.3 Impactos sociais**

Na dinâmica de coexistência do processo produtivo em uma sociedade, costumeiramente as tipologias se divergem em usos, e uma tem relação íntima com a manutenção da outra. O contexto social envolvendo a mineração não é diferente, a Fiocruz, em (2010), conseguiu listar 113 casos envolvendo o setor minerário e a população em conflitos por injustiça ambiental no território nacional. Em Minas Gerais, em 2013, o grupo de Estudos em Temáticas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais (Gesta/UFMG) levantou 65 casos de conflitos apenas no estado mineiro, que vão desde a remoção compulsória de comunidades a rompimentos de barragens que levaram a centenas de óbitos e danos ambientais irreversíveis.

O projeto Minas-Rio da Anglo American é citado em diversos trabalhos acadêmicos como um exemplo de injustiça ambiental, além dos problemas relacionados ao rompimento da estrutura em 2018, em fase de licenciamento o projeto já vinha com problemas graves de injustiça social, já que o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) apresentado pela empresa não previa a remoção de parte dos moradores na cidade de Conceição do Mato Dentro – MG na construção do mineroduto que liga a mina ao porto Açú, no Rio de Janeiro. Os moradores que permaneceram na comunidade por não estarem contemplados no EIA relataram problemas estruturais nas moradias devido à atividade da mineradora (explosões, tráfego de caminhões pesados, poeira, ruídos, etc.) e interrupções no abastecimento de água da comunidade (Movimento pelas Serras e Águas de Minas *et al.*, 2012).

Além dos impactos diretos da área de extração, existem problemas relacionados à rede de serviços da atividade mineraria. Em 2013, a plataforma DHesca referenciou problemas de poluição sonora e de trepidações causadas pela constante circulação de trens no corredor de exportação da Estrada de Ferro Carajás. As ondas sonoras produzidas pelas buzinas das locomotivas corroboravam com a falta de bem-estar social, visto que geralmente o trânsito era feito à noite e na parte da manhã, além disso, construções da cidade sofriam com rachaduras e trincas na estrutura em função da passagem dos trens (MILANEZ, 2017; GESTA, 2021).

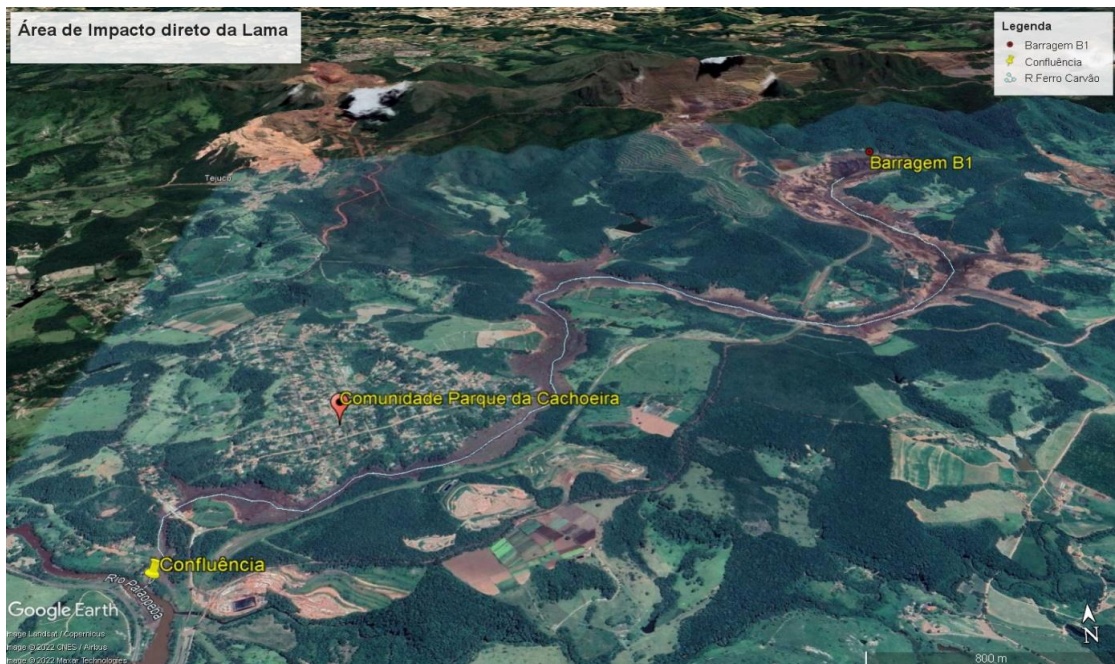
Já em casos mais graves, como os rompimentos de barragens, os prejuízos são estratosféricos e extrapolam as tipologias ambientais e humanas. Costumeiramente, esses acontecimentos são resultados de um apanhado envolvendo falta de controle e gestão por parte do órgão ambiental, bem como o controle de gastos e o descaso no monitoramento das estruturas de contenção, além



de riscos à vida humana e responsabilidade criminal por parte dos empreendedores (ALVES, 2019a; GESTA, 2021; DUARTE, 2015).

Em 2015, no dia 05 de novembro, rompeu-se o talude do barramento de Fundão da mineradora Samarco, que despejou cerca de 34 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos de minério de ferro na bacia do Rio Gualaxo do Norte, causando 19 mortes e impactos hidrogeomorfológicos jamais vistos em território nacional (DIAS, 2018). Considerado o maior desastre industrial brasileiro com consequências ambientais, a população brasileira tomou conhecimento dos perigos humanos acerca da construção de barramentos para contenção de rejeitos minerários por meio do soterramento do vilarejo de Bento Rodrigues, que ficava nas margens do Ribeirão Santarém a jusante do antigo barramento e viviam cerca de 600 pessoas em mais de 200 imóveis há mais de 300 anos (SILVA e FAULHABER, 2020). Vale ressaltar que esse episódio não foi o primeiro do gênero em território brasileiro e mineiro, já que no século XXI houve doze rompimentos de barragens no Brasil, sendo oito deles em Minas Gerais e seis no quadrilátero ferrífero, o que evidencia anos de exploração mineral mal-estruturada que visa somente ao lucro em detrimento da segurança e do bem-estar social (ALVES, 2019a; REIS *et al.*, 2020).

A partir daí, esperava-se que as autoridades do assunto tomassem a prevenção de novos casos de rompimento de barramentos para alcançar a segurança de barragens em território nacional. Contudo, no dia 25 de janeiro de 2019 a barragem B1 da mina Córrego do Feijão (VALE) se rompeu e atingiu todo o vale do Córrego Ferro-Carvão até chegar ao Rio Paraopeba, um dos principais rios da RMBH responsável por cerca de 60% do abastecimento de toda a região metropolitana (figura 11). Foram 12,7 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos provenientes do processo minerário de ferro lançados na vertente em formato de onda encaixada no vale, o que resultou em 262 mortes e centenas de feridos, divididos entre animais e humanos (LIMA, 2021; ALVES, 2019a; QUIERATI, 2019).



**Figura 11– Espreadimento da lama no rompimento da barragem B1 (Vale) em Brumadinho – MG.**  
 Fonte: Image@2022 Maxar Technologies / Airbus extraída do Google Earth.

Dessa forma, o panorama de medo relacionado à construção de barramentos se configura em mais uma tipologia de impacto na população, já que esta vive com medo constante causado pela insegurança nas empresas mineradoras. Segundo Soares e Passos (2021), várias cidades mineiras vivem com o sentimento de medo, já que possuem situações semelhantes às das últimas ocorrências de rompimento de barragens de rejeitos e, assim, podem sofrer as mesmas consequências citadas anteriormente.

Ademais, prejuízos como interrupções no abastecimento público de água e de transporte denotam os impactos causados pelo segmento na população, que embora possa não ter sido atingida diretamente pela lama, tem seu cotidiano afetado em função do caos e dos danos causados pelos rompimentos. A comunidade Parque da Cachoeira, em Brumadinho – MG, teve parte de seu perímetro atingido diretamente pela lama e a outra parte foi atingida de forma indireta, principalmente com a interrupção no fornecimento de água da comunidade.

O sistema era composto por três poços profundos que juntos bombeavam o fluxo da água até uma caixa-d'água central e, que por sua vez, distribuía o recurso para o bairro. Contudo, com a ocorrência do rompimento, dois poços foram atingidos por materiais oriundos do processo mineral e em grande parte por metais pesados, dessa forma, restou apenas um poço para abastecer toda a comunidade e, como esperado, este não se mostrou suficiente para suprir as necessidades da população. Além disso, a água concedida pela Vale S/A em amparo aos moradores gerava diversos problemas logísticos, já que era distribuída em pontos estratégicos

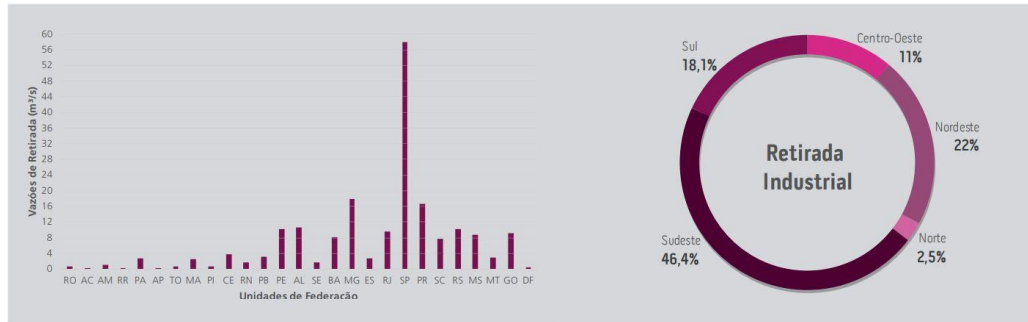
do bairro e os moradores tinham que buscar as garrafas em longas distâncias e em relevos ondulados, o que causa um desgaste físico durante a busca de um recurso essencial (ALVES, 2019b; DAMASCENO, 2019).

Portanto, é fato que os problemas relacionados à mineração em detrimento do uso da terra são complexos e de ordem interdisciplinares. Os atores envolvidos costumeiramente competem por espaço em um constante embate legislativo, econômico e político, a fim de alcançar um equilíbrio apropriado para a coexistência na paisagem. Contudo, em grande parte das vezes, os atores da extração mineral saem vantajosos desse embate, seja por vias legais e de acordos financeiros com as classes do entorno, seja por ocorrências desastrosas como o rompimento de barragens e de adutoras de mineroduto, que apesar de haver um prejuízo econômico para as mineradoras, os prejuízos ambientais e sociais costumam ser irreversíveis e sem responsabilidade criminal.

### **4.3 Indústria**

Com o advento da revolução industrial e a constante demanda pela evolução tecnológica no mundo, o setor industrial ocupa lugar de destaque na sociedade moderna e em seus anseios produtivos. Aliado a isso, os crescimentos populacionais, bem como a necessidade de produção de alimentos, formam os três principais motivos pelo constante aumento no uso dos recursos hídricos na sociedade moderna (COSTA e BARROS JR., 2007).

No Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, publicado pela ANA em 2019, é afirmado que 9,1% dos usos da água no Brasil são destinados à indústria de transformação, esse valor equivale a 189,5 m<sup>3</sup>/s de uso dos recursos hídricos para ganhos industriais ao longo do território nacional. No Sudeste, a região mais industrializada do país, principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, a retirada de água equivale a 46,4% da retirada total do setor, ou seja, quase a metade de todo o uso no país é destinado à indústria. Contudo, o que chama a atenção são os valores angariados pela Região Nordeste, conhecida como a região mais seca do país, mas ainda assim apresenta o percentual de 22% do valor total retirado (figura 12).



**Figura 12 – Retirada industrial de recursos hídricos por unidades da federação (direita) e regiões (esquerda).**  
**Fonte: Adaptada de ANA, 2019.**

Ainda no contexto do consumo quantitativo dos recursos hídricos, o manual reitera que os segmentos da indústria de alimentos, bebidas, celulose, papel e derivados, petróleo e biocombustíveis, produtos químicos e metalurgia, juntos somam 90% do consumo de água no setor (tabela 3). Sendo que na Região Sudeste há maior ocorrência de indústrias químicas, siderurgia e automobilística, enquanto na Região Sul, segunda mais industrializada do país, o perfil de produção é mais associado à transformação de produtos primários, como fábricas de alimentos enlatados e de bebidas. Já na Região Nordeste o destaque fica a cargo da indústria de produção têxtil e sucroalcooleiro, enquanto nas Regiões Norte e Centro-Oeste há menor relevância do setor. Contudo, as que mantêm atividade industrial nestas são principalmente derivadas da agroindústria.

CNAE 2.0	Tipologia industrial	Coeficientes Técnicos*	
		Retirada (l/empregado/dia)	Consumo (%)
10	Fabricação de produtos alimentícios	4.600	75,9%
11	Fabricação de bebidas	8.713	24,4%
12	Fabricação de produtos do fumo	811	20,0%
13	Fabricação de produtos têxteis	1.873	22,5%
14	Confeção de artigos do vestuário e acessórios	510	18,5%
15	Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	2.027	15,9%
16	Fabricação de produtos de madeira	344	24,3%
17	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	8.865	16,6%
18	Impressão e reprodução de gravações	173	18,8%
19	Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	18.147	85,0%
20	Fabricação de produtos químicos	1.715	34,4%
21	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	529	20,0%
22	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	248	20,8%
23	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	676	46,5%
24	Metalurgia	3.781	24,3%
25	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	281	46,8%
26	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	182	20,0%
27	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	167	20,0%
28	Fabricação de máquinas e equipamentos	203	18,9%
29	Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	235	29,4%
30	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	1.270	19,8%
31	Fabricação de móveis	98	20,0%
32	Fabricação de produtos diversos	842	20,0%
33	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	162	20,0%

**Tabela 3 – Estimativa de Demanda Hídrica do Setor Industrial Brasileiro por Segmento.**  
**Fonte: Adaptada de ANA, 2019.**

Entretanto, além da grande retirada de água para o segmento, deve-se destacar a devolução do recurso ao sistema que, denominado de efluentes industriais, é contaminado por reagentes químicos e físicos que podem prejudicar toda a dinâmica do sistema hídrico a jusante. Amengol (2017) e Peixoto *et al.* (2013) afirmam que os efluentes industriais são determinados pela variação química presente em sua saída, tal qual geralmente parâmetros como DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), cor e pH são descaracterizados da condição inicial e, portanto, necessitam de tratamento prévio antes de serem lançados novamente no sistema.

Na indústria têxtil, por exemplo, a relação entre os parâmetros de cor e pH são dificilmente inalterados no processo industrial, além de ser demandado o tratamento químico e biológico da água no fim do processo produtivo referente ao uso de corantes no processo de tinturaria. Vale ressaltar que os impactos são diversos e dependem diretamente do processo que é utilizado para a confecção do tecido, mas em suma, os corantes são constituídos de átomos cromóforos e auxocromos, sendo o primeiro responsável pela coloração do tecido, enquanto o segundo intensifica as cores dos cromóforos. A grande questão entre a relação destes átomos e a água, é a sua grande resistência e difícil remoção no tratamento do efluente, que além de apresentarem baixa biodegradabilidade, são tóxicos e bastante solúveis em água, o que causa muitos problemas relacionados às substâncias surfactantes e aditivas em ambientes naturais hídricos (AMENGOL, 2017; RIBEIRO 2009).

Como forma de mitigar este panorama, a DN COPAM 01/2008 também estabelece critérios para o lançamento de efluentes industriais não apenas físico-químicos, mas também de forma que adeque os padrões ao curso-d'água receptor, a fim de manter a dinâmica pelo qual é enquadrado. Além disso, a resolução nº 430 do CONAMA, em 2011, complementa a resolução nº 357/2005 (Atualizada pela DN COPAM 08/2022) nos critérios de toxicidade por parte dos órgãos ambientais estaduais, que a partir desse momento teria rigor maior na adequação ao curso-d'água receptor ao efluente (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

Além disso, a comunidade científica e as próprias indústrias buscam alternativas para esse problema, que, embora muitas vezes seja negligenciado, tem alternativas como o tratamento desses efluentes e o reuso da água como forma de mitigar os prejuízos ambientais e financeiros causados pelo processo industrial (ALMEIDA, 2016).

No caso da indústria têxtil, os principais métodos de tratamento associados são de ordem físico-química e biológica, que variam de acordo com o grau de toxicidade potencial do método

produtivo utilizado. Assim, exclui-se completamente o nível de tratamento convencional feito em âmbito de captação de mananciais, e deve-se aplicar técnicas de tratamento mais criteriosas e, portanto, mais caras, como os métodos adsorptivos, de biodegradação, oxidantes avançados, consorciados, de ozonização, de fotodegradação, entre outros (FARAH *et al.*, 2007; MENDES *et al.*, 2015; PRIYA *et al.*, 2015; ALMEIDA, 2016).

Já o reuso dos recursos hídricos provenientes do processo industrial têxtil não tem legislação específica e, portanto, cada empresa faz da forma que lhe é mais viável. Contudo, deve-se obedecer a critérios de tratamento, já que o próprio processo produtivo necessita do recurso em qualidade na fabricação e na manutenção estrutural da fábrica, como a prevenção de corrosão de canos e tanques de armazenamentos desses efluentes. Entretanto, apesar do rigor técnico necessário para a implantação, esta pode ser uma saída definitiva para o problema, já que é mais barata do que o tratamento aprofundado e menos danosa do que o lançamento de efluentes diretos nos sistemas hídricos (AMENGOL, 2017).

Dessa forma, o uso dos recursos hídricos por parte da indústria deve ser continuamente monitorado pelos órgãos ambientais a fim de melhorar as estruturas de final de cadeia produtiva e os impactos nos recursos hídricos. Além disso, cabe destacar que esses impactos não acontecem somente em âmbito hídricos direto, ou seja, em lançamento de efluentes, mas também na contaminação do solo, bem como na vegetação e no clima, o que irá conduzir os produtos na dinâmica de carreamento do próprio solo e da vegetação, bem como nos fenômenos de chuvas ácidas em detrimento da variação climática e no lançamento de gases nocivos.

#### **4.4 Pecuária**

O Brasil, na última década, ocupou posições de destaque na pecuária mundial. Em 2013, o país ocupou a segunda colocação no quantitativo bovino e a primeira em quantitativo bovino para fins comerciais, já que a Índia não explora seu contingente bovino nesse aspecto. Além disso, em 2015, o país alcançou os patamares mais altos de rebanho quantitativo do mundo, com cerca de 209 milhões de cabeça de gado, além de ser o segundo maior consumidor, com 38,6 kg por habitante no ano, e o segundo maior exportador, com 1,9 milhões de toneladas (CSR, 2014; CONEXOS, 2021).

Já na produção e no consumo de aves, o Brasil hoje ocupa a terceira colocação no mundo, ficando atrás apenas dos EUA e da China, enquanto no *ranking* de exportação, lidera com

relativa folga em relação aos concorrentes (EMBRAPA, 2022a). Segundo o IBGE, em 2020 o Brasil produziu cerca de 1,5 bilhões de cabeças de galináceos, 85,2% mais do que a produção bovina e 97,2% mais do que a produção suína, entretanto, em relação ao peso, a diferença entre bovinos e galináceos reduzem drasticamente, foram produzidos 13,8 milhões de toneladas de carne de frango e 10,1 milhões de toneladas de carne bovina, enquanto os suínos representaram 4,1 mil toneladas produzidas (USDA, 2022; ABPA, 2020).

Dessa forma, a grande cadeia produtiva pecuarista tem impactos intrínsecos em diversos setores da sociedade, especialmente o ambiental e o econômico. Os extensos rebanhos cobrem cada vez mais porções de terra que vão *a posteriori* apresentar diversas mudanças estruturais, que, objetivadas pela alta rentabilidade financeira e a demanda de produtos do segmento, tende a crescer cada vez mais em níveis alarmantes de produção para o uso da terra.

Contudo, as formas de produção desse setor é que afetam diretamente a manutenção dos recursos hídricos. Abdon (2004) afirma que, para a ocupação do território a fim de instalar um rebanho, costumeiramente, o desmatamento é o pontapé inicial das atividades, já que os animais vão consumir toda a cobertura vegetal rasteira do pasto, além disso, Thomaz e Dias (2009) afirmam que os efeitos de ordem direta e indireta do pastoreio afetam tanto a parte alta da vertente quanto a parte baixa, e assim envolvem processos hidrológicos, ecológicos e geomorfológicos que tendem a resultar em processos específicos, como ravinamento, voçorocamento, contaminação da água por coliformes fecais e compactação do solo.

Quando os animais transitam pelo terreno, o pisoteio gera uma pressão muito grande na parcela pisoteada do solo, já que com o casco pequeno e um peso elevado do animal, a tendência é de maior compactação dos poros. Scholefield e Hall (1986) destacam que um bovino de aproximadamente 530 kg exerce uma força de 2,54 kgf/c sobre o solo, e dependendo da posição do animal esse valor é acrescido, já que a concentração de peso por pata pode mudar, como em morros e rampas.

Em pesquisas realizadas nos EUA, a comparação entre pastagens e terrenos próximos resultaram em 88% mais ocorrência de compactação dos solos que eram derivados do pastoreio em relação aos que não eram. Além disso, a ocorrência de infiltração dos solos foi 90% inferior nos solos compactados e, por consequência, houve maior escoamento superficial em 95% dos casos que, por fim, 81% destes apresentaram maior ocorrência de erosão (EVANS, 1998; BLACKBURN, 1984; THOMAZ e DIAS, 2009).



Além da compactação do solo, outra consequência erosiva do movimento do rebanho é a criação de trilhas pelo gado, assim o solo forma caminhos preferenciais de escoamento superficiais e, como no processo anterior, promove o carreamento de sedimentos em direção ao fundo de vale, ou seja, favorecendo o aumento da carga sedimentar nos cursos-d'água e, por consequência, causando assoreamento, aumento da turbidez e de coliformes fecais, já que as fezes do próprio gado podem ser carregadas em direção à calha do rio (figura 13).

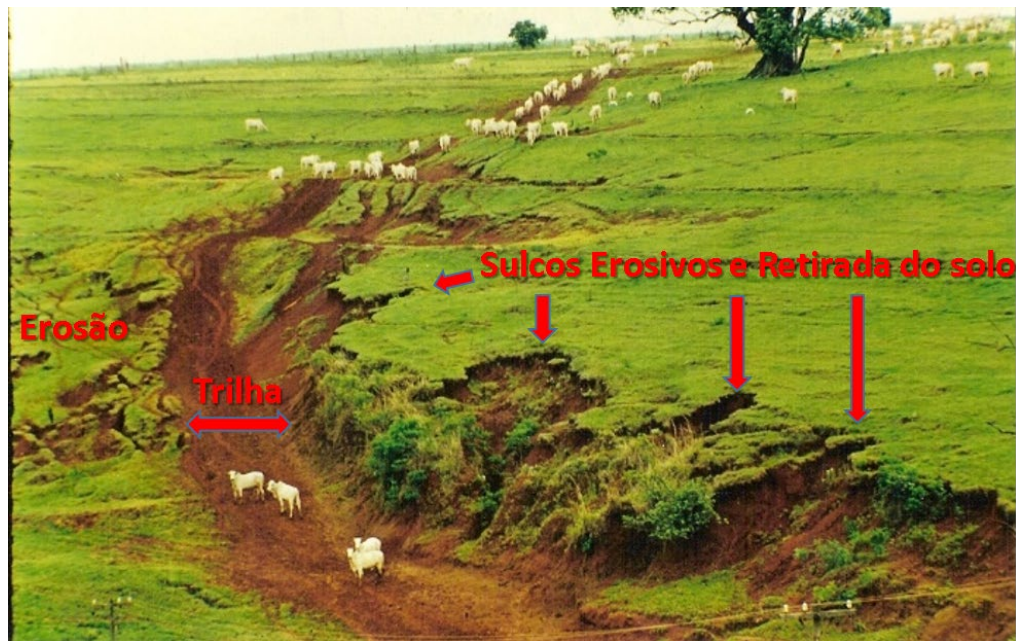


Figura 13 – Impactos erosivos provenientes da pastagem.  
Fonte: Adaptada de PESSOA, 2022.

Dessa forma, os impactos provenientes da pecuária nos recursos hídricos são tomados de forma direta e indireta, tal qual a redução do pisoteio do gado (direta) significa mitigação dos outros agentes indiretos, como redução da infiltração e escoamento superficial, aumento da velocidade de escoamento, exposição do solo, mudança estrutural no topo da vertente e calha dos cursos- d'água, formação de trilhas e ravinas, aumento de sedimentos e matéria orgânica na baixa vertente e na calha do curso-d'água.

Assim, o aumento da produção pecuária no país denota que os impactos inerentes a este uso crescem na mesma medida e, portanto, devem ser controlados objetivando ter uma produção sustentável em nível nacional. Além disso, as empresas do setor podem adotar medidas a fim de proteger o ambiente do entorno e, assim, garantir a perpetuidade na produção, já que esta depende da qualidade ambiental, e para isso deve-se trabalhar em conjunto com os órgãos ambientais competentes.



#### 4.5 Impactos urbanos

A relação entre o ser humano e os recursos hídricos é histórica e tem consequências diretas na perpetuação de ambos. Não obstante, em grandes centros urbanos o consumo e a gestão dos recursos hídricos podem significar o desenvolvimento da cidade, bem como os meios de produção que ela detém. Figueirêdo *et al.* (2010) afirmam que os ambientes aquáticos são extremamente vulneráveis a ações e impactos oriundos das atividades humanas, incluindo o processo de urbanização, o que aumenta o consumo de água para abastecimento público, atividades econômicas e também causa perdas qualitativas e quantitativas, como o lançamento de efluentes e perda de água em estruturas de encanamento inadequados.

Segundo o Manual de Usos Consuntivos da ANA em 2019, o percentual de usos da água no Brasil é de 23,8% para o abastecimento público. Este representa a segunda maior fatia do total, perdendo apenas para a irrigação no país, assim, são retirados em média 496,2 m<sup>3</sup>/s da fonte, são consumidos 99,2 m<sup>3</sup>/s e retornam 397 m<sup>3</sup>/s aos sistemas hídricos. Contudo, grande parte desses recursos que retornam aos sistemas são de baixa qualidade ou até mesmo tóxicos à saúde humana e ambiental.

Além disso, a expectativa é que em 2030 a população brasileira ultrapasse os 226,4 milhões de habitantes, com cerca de 21 milhões de pessoas saindo dos campos e migrando para os grandes centros urbanos, dessa forma, o problema na segurança hídrica ainda é acentuado, já que a oferta do recurso deverá ser acrescida e os desperdícios mitigados.

Assim, a poluição dos recursos hídricos em ambiente urbano se dá por diversos processos, entre os principais estão a descarga de esgoto doméstico, o destino incorreto de resíduos sólidos e o de material biológico nos cursos-d'água.

A poluição dos ecossistemas aquáticos pelo lançamento de esgotos domésticos se deve principalmente pela carga orgânica presente nesses efluentes e a falta desta nos compostos inorgânicos dissolvidos ou em suspensão. Dessa forma, as substâncias orgânicas promovem um desequilíbrio das comunidades aquáticas, já que ocasionam o comportamento supra-alimentar de organismos decompositores, o que ocasiona seu alto crescimento populacional no ambiente. Em contrapartida, com a proliferação desses organismos como fungos e bactérias há também um maior consumo de oxigênio dissolvido na água, o que impossibilita a manutenção da vida aquática de organismos aeróbicos como peixes e plantas. Além disso, a decomposição da matéria orgânica por parte desses organismos altera diretamente outros parâmetros de qualidade

da água, como a turbidez, a cor, o pH, a condutividade elétrica, bem como a amônia e seus derivados, como o gás sulfídrico e o metano (VELINI, 2005).

Já a incorporação de detergentes e outros produtos de limpeza não biodegradáveis ocasionam o aumento da concentração de fosfato, favorecendo o crescimento de algas produtoras de micronutrientes no corpo-d'água que mudam o sabor e o odor da água, o que não é contemplado pelo tratamento convencional de água nas ETAs. Esse processo é denominado de eutrofização, e como tal favorece a proliferação de macrófitas aquáticas e fitoplâncton que inviabilizam o uso da água para atividades de lazer, turística, geração de energia e pesca (figura 14).



**Figura 14 – Lagoa da Petrobrás em Ibirité – MG.  
Fonte: Adaptada de Minas Gerais para o Mundo, 2021.**

Já a destinação de resíduos sólidos de forma inadequada em ambientes urbanos pode acarretar impactos tanto qualitativos quanto quantitativos, assim, costumeiramente em cidades densas é comum encontrar resíduos como garrafas PET e sacos plásticos dentro dos rios urbanos. Analogamente, quando um produto ou móvel não é mais necessário na residência, em determinados lugares, as pessoas jogam esses equipamentos dentro da calha do curso-d'água sem qualquer percepção de coletividade. Agravando o problema, a maioria dos rios urbanos nas grandes cidades brasileiras são cobertos e transformados em avenidas sanitárias, assim, em caso de chuvas densas esses materiais são carreados pela calha do rio e em grande parte das vezes causam obstrução da passagem da água, causando enchentes e inundações em zona urbana.

Ademais, vale destacar que a impermeabilização dos solos e a descaracterização do modelo geomorfológico fluvial impossibilitam o comportamento natural dos cursos-d'água urbanos, assim, é comum o aumento do escoamento superficial causado pela falta de absorção da água por parte do solo, bem como o aumento da velocidade de propagação desse escoamento, tal

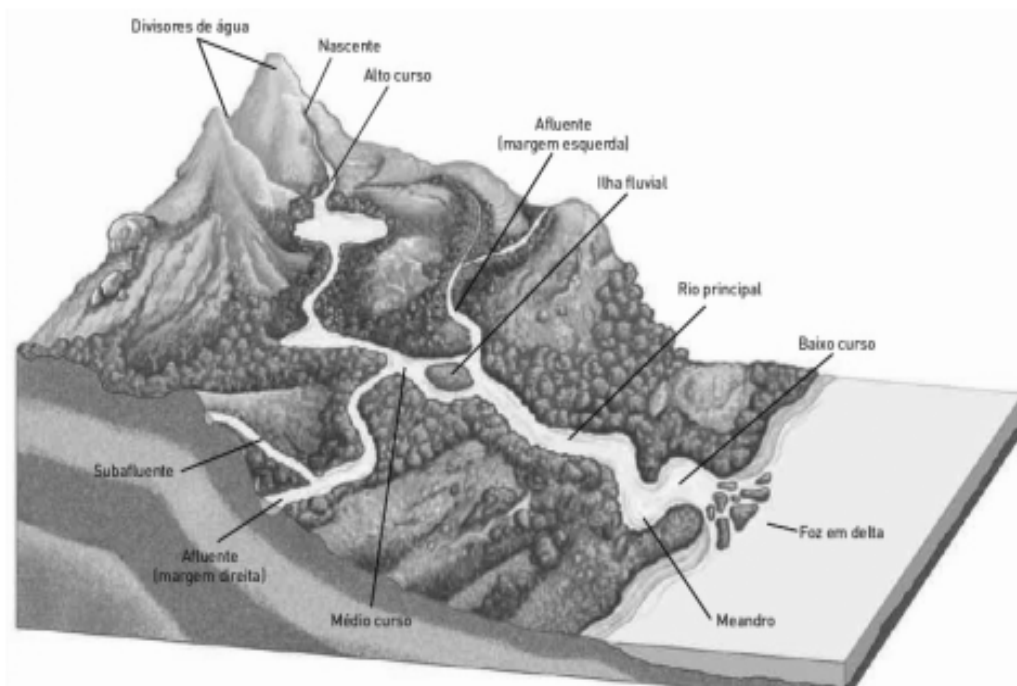
qual geralmente é acumulado na parte baixa da bacia, ou na calha principal, dando origem aos fenômenos de alagamento e enchentes.

Por fim, existem estruturas oriundas de atividades urbanas como fossas sépticas, que em nível subsuperficial afetam diretamente os sistemas hídricos, já que em grande parte dos casos a água subsuperficial é contaminada por fezes e outros dejetos humanos. Além disso, os cemitérios e os lixões também são pontos de destaque na gestão de uma cidade pensando em segurança hídrica, já que suas instalações devem ser manuseadas da forma correta para que não haja interação entre os restos mortais humanos enterrados e o chorume produzido pelos resíduos com os recursos hídricos.

## 5 MECANISMOS DE CONTROLE E PROTEÇÃO DE MANANCIAIS NO BRASIL

Neste capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos sobre os mecanismos de controle e manutenção dos mananciais em território nacional com a finalidade de fornecer subsídios para a investigação acerca do tema. Desse modo, é apresentado um panorama conceitual que permeia o arcabouço legislativo e estrutural do sistema de gestão dos recursos hídricos, com ênfase na segurança hídrica e em áreas onde se tem a captação de água para abastecimento público, bem como discussões pragmáticas do efeito de cada tópico relacionado.

A configuração de um manancial pode ser compreendida a partir da dinâmica sistêmica de uma bacia hidrográfica, marcada pela rede de drenagem e seus divisores (figura 15).



**Figura 15 – Elementos de uma bacia hidrográfica.**  
 Fonte: MENDONÇA *et al.*, 2016.

Um manancial para abastecimento público é fonte de água doce superficial ou subterrânea, de configuração natural ou construída, que tem seu uso atrelado ao consumo humano e/ou ao desenvolvimento de atividades econômicas (MMA, 2022). Há diversos tipos de mananciais superficiais dependendo da finalidade/capacidade do seu uso, sendo mais comuns no Brasil os modelos de represamento baseados na formação de um lago para se minimizar os efeitos das estiagens e fornecer água nos períodos de escassez pluviométrica. Muitos mananciais são cursos-d'água, nos quais os recursos hídricos são captados diretamente na calha, podendo ser direcionados para estruturas de desvio, tratamento e distribuição da água. Já em nível

subsuperficial é comum a captação de água de níveis freáticos por meio de cisternas ou poços profundos (ALLONDA, 2022).

Nesse sentido, os mananciais resultam da dinâmica da água em sistemas de contribuição hídrica, como bacias hidrográficas e aquíferos, e a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade depende da proteção dessas áreas contribuintes.

Na RMBH existe um sistema de captação integrado que incorpora os principais sistemas de captação e distribuição de água para abastecimento público, o Sistema Rio das Velhas, com 40%, e o Sistema Paraopeba, com 60% da produção de água da região metropolitana (BIANCHETTI, 2019). O primeiro tem as captações voltadas para a Região Leste da RMBH e tem a captação de Bela Fama como expoente no sistema, além das captações do Morro Redondo e do Barreiro. Já o segundo, que abriga os reservatórios Serra Azul, Várzea das Flores, Rio Manso e as captações em Ibirité, ocupa a Região Oeste da RMBH (ARSAE, 2013).

Juntos, os sistemas integrados estão presentes em 16 dos 34 municípios da RMBH e são interligados pela chamada Linha Azul, que é uma rede de água tratada de aproximadamente 26 km de extensão de tubulações com DN de 1.200 mm, implantados em meados de 2011 para ofertar água ao Vetor Norte da RMBH, principalmente os municípios de Lagoa Santa, São José da Lapa e Vespasiano (figura 16).



Figura 16 – Sistema Integrado de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belo Horizonte.  
Fonte: OLIVEIRA, 2018.

A bacia de contribuição do reservatório Serra Azul, que no sistema integrado é responsável por 16% da captação de água, tem como principal curso-d'água o ribeirão homônimo ao reservatório, que percorre em canal fluvial encaixado pelas serras do entorno até ser barrado no município de Juatuba. Ao longo do caminho, o curso-d'água recebe vários afluentes, e o afluente do Ribeirão do Diogo ocupa lugar de destaque como a segunda maior bacia de contribuição para o reservatório, bem como o segundo maior volume de água fornecido ao depósito.

Embora o reservatório esteja sob administração da COPASA, sua bacia de contribuição tem como gestores os estados e municípios de inserção, especificamente os órgãos ambientais estaduais ligados ao meio ambiente e à gestão de recursos hídricos, além das secretarias municipais e os comitês de bacias hidrográficas.

## **5.2 Comitês de bacia hidrográfica**

Diversos trabalhos produzidos nas últimas décadas apontam que a melhor eficiência da gestão dos recursos hídricos está na escala de atuação dos mecanismos gestores e, portanto, devem ser atreladas às bacias hidrográficas como unidades territoriais, já que estas convergem para ações centrais de ordem estrutural que pode conciliar tanto os recursos hídricos, como o território e a sociedade (ALVIM, 2003; ALVIM, 2010; SARAIVA, 1999; DOUROJEANNY, 1993). No entanto, a adoção das bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão gera conflitos com outras relações de poder territorial fundamentado em outras instituições que funcionam com limites distintos das unidades da federação e dos municípios brasileiros.

Quando se pensa em gestão de recursos hídricos, deve-se atentar que, a depender da bacia hidrográfica, existem diversos municípios com interesses e gestões de governo distintos acerca do tema. As pressões associadas em grandes metrópoles, bem como na integração entre cidades industriais e o adensamento urbano, resultam em desafios importantes para o contexto de planejamento territorial baseado nas bacias hidrográficas.

Além disso, geralmente os cursos-d'água servem de referência quando se estabelece os limites municipais e estaduais. Dessa forma, atividades como abastecimento público, esgotamento sanitário, uso industrial da água e drenagem exigem outros critérios de organização espacial, que são, geralmente, contemplados dentro das bacias e sub-bacias dos rios de referência (MARTINS, 2006). Pensando nisso, torna-se necessário um instrumento que possa fazer a

gestão dessa unidade territorial de forma coesa e intrínseca aos objetivos da bacia, e não somente do ponto de vista dos municípios e dos estados associados a ela.

O Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) nasce da necessidade de se ter uma gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos, especialmente sobre uma nova perspectiva de recuperação ambiental das áreas de mananciais de abastecimento público (ALVIM, 2015). Assim, apesar de já existir no estado de São Paulo, os CBHs foram instituídos em nível federal por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH pela lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Dessa forma, os CBHs funcionariam como órgãos consuntivos e deliberativos no gerenciamento das Unidades de Gerenciamento de Recurso Hídricos (UGRHI).

Em sua composição, os CBHs são gerenciados por uma tríade descentralizada baseada na participação de órgãos governamentais, bem como representantes dos usuários individuais, sobretudo do setor privado e da sociedade civil. Dessa forma, a entidade tem como princípio a integração e a participação desses agentes na manutenção dos recursos hídricos em quantidade e qualidade para fornecer subsídio aos usos múltiplos da água na bacia, por meio de ações e medidas promovidas junto aos vários setores da sociedade (figura 17).

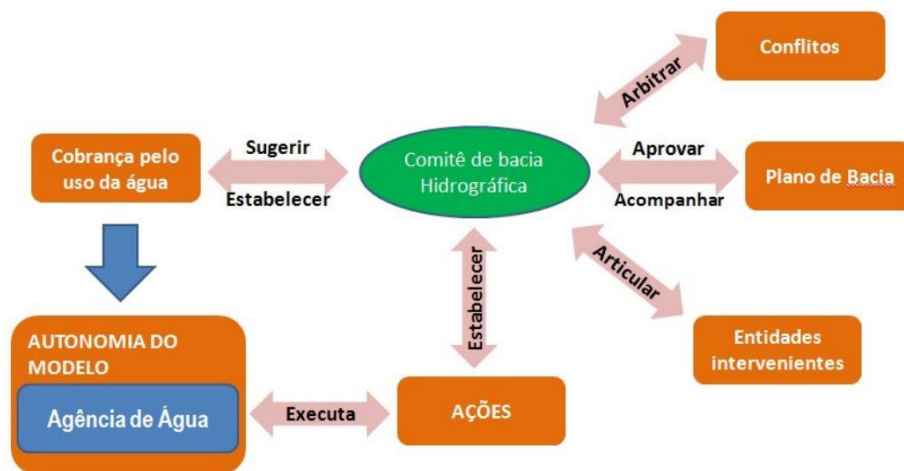


Figura 17 – Funções de um Comitê de Bacia Hidrográfica.  
Fonte: MORAIS *et al.*, 2018.

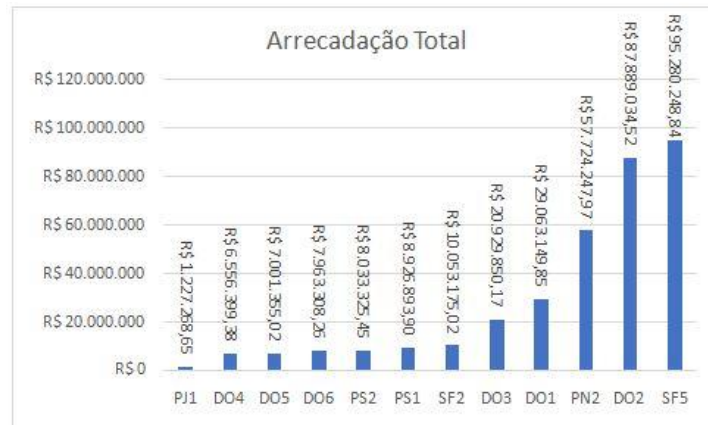
Além do órgão colegiado, os CBHs podem criar agências de apoio técnico-operacional na gestão dos recursos hídricos. Suas funções contemplam a execução e o acompanhamento de ações, programas, projetos, pesquisas e quaisquer outras demandas aprovadas, deliberadas e determinadas pelo CBH de referência, ou pelos Conselhos de Recursos Hídricos Estaduais ou Federais. Sua estrutura é composta por uma entidade jurídica de direito privado e sem fins lucrativos, indicada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) ou pelos conselhos

estaduais por meio do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (CBHSF, 2022).

Outro importante instrumento de gestão associado ao CBH é o Plano de Bacia Hidrográfica (PBH), que tem como objetivo orientar os agentes de produção do espaço a tomarem decisões coerentes com a proteção, a recuperação e a conservação dos recursos hídricos da bacia em que está inserido. Dessa forma, o plano deve ser atualizado e revisado periodicamente a fim de promover ações consonantes com os pilares da gestão da bacia hidrográfica. Além disso, é necessário salientar que existem diferenças sistêmicas de elaboração de cada plano, já que os PBHs pertencentes a bacias estaduais estão diretamente ligados às UGRHIs, enquanto as bacias em nível federal têm, inclusive, a nomenclatura específica de Plano Integrado de Recursos Hídricos (PIRH) e, dessa forma, compõe uma junção de objetivos específicos preditivos dos PBHs.

Para o funcionamento pragmático dos CBHs existem diversos instrumentos econômicos que podem ser aplicados, entretanto, o principal deles é a cobrança pelo uso da água. Esse instrumento está previsto desde o início da PNRH em 1997 e reconhece os recursos hídricos como um bem de valor ecológico, social e econômico, revelando a sua importância estrutural para o modo e a manutenção da vida humana, dessa forma, os usuários tendem a utilizá-lo de forma mais racional, respeitando seus limites de resiliência, bem como mitigando as perdas associadas ao seu uso. Além disso, os recursos arrecadados pela cobrança da água não são em forma de imposto, assim, todo o arrecadamento é gasto com obras, ações e melhorias dos recursos hídricos, tanto em quantidade como em qualidade, previstos no PBH. Segundo o portal Infohidro em 2021, os CBHs que implementaram a cobrança pelo uso da água já arrecadaram mais de R\$ 340,6 milhões em recursos, com destaque para os Rios das Velhas, Piracicaba e Araguari, que arrecadaram mais de R\$ 95 milhões, R\$ 87 milhões e R\$ 57 milhões, respectivamente (figura 18).





**Figura 18 – Arrecadação total do instrumento de cobrança pelo uso da água em Minas Gerais.**  
**Fonte: IGAM, 2021.**

Contudo, apesar de toda a mudança de paradigma herdada com a criação dos CBHs, ainda existem desafios importantes que impedem o bom funcionamento do instrumento. Na realidade muitos CBHs sofrem com a falta de estrutura, de captação de recursos e de pessoal cotidianamente. A maioria ainda não conta com recursos da cobrança pelo uso da água, sendo seu funcionamento dependente de recursos vindos de outras fontes, além de ainda não contar com o apoio de agências da água para desenvolver pesquisas e estruturas técnicas necessárias na bacia (MAGALHÃES JR., 2001; MAGALHÃES JUNIOR e NETTO, 2003; SARTORI, 2019). Como lembra Morais (2018), grande parte dos comitês não possui planos de bacia e estruturas físicas satisfatórias para o seu bom funcionamento e há vários comitês que não possuem estrutura consolidada e estão ainda em processo de criação.

Outra preocupação em relação à instrumentação dos comitês refere-se ao nível de compreensão das informações técnicas apresentadas e discutidas, seja por parte das agências da água ou não. Os membros representantes dos setores da sociedade não possuem, muitas vezes, o mesmo nível de compreensão das questões debatidas, particularmente por parte dos representantes da sociedade civil. Por outro lado, o CBH, em grande parte das vezes, também negligencia os conhecimentos empíricos e de causa da sociedade civil, que convive com o cotidiano dos problemas da bacia e consegue dialogar em maior profundidade com linguagem coloquial e pouco técnica, mas que tem o mesmo ou maior valor quando se pensa a gestão da bacia estudada (MAGALHÃES JR., 2001; MAGALHÃES JUNIOR e NETTO, 2003).

Concomitantemente, a tarefa de dimensionar as ações em detrimento de políticas municipais e do setor privado também é um desafio para o CBH, já que parte de suas funções é mediar conflitos de interesse dentro da bacia a fim de chegar a um denominador comum entre as partes

e, apesar disso, deve-se levar em consideração os fundamentos previstos no CBH de referência e captar recursos para a promoção de tais atividades.

Por fim, como a criação dos CBHs ainda depende de iniciativas vinculadas aos governos estaduais, muitos destes não têm ponto de partida e/ou possuem realidades diferentes. Em estados como Minas Gerais e São Paulo, muitos CBHs já possuem atividades avançadas em termos de planejamento e ações, com agências fortes e atuantes. Embora o modelo de gestão descentralizada e participativa institucionalizado pela Política Nacional de Recursos Hídricos enfrente problemas como os mencionados, os avanços aportados foram fundamentais para que as questões hídricas no país pudessem ser abordadas de modo deliberativo pela sociedade civil.

### **5.3 Unidades de conservação e outras áreas de proteção**

No Brasil, as unidades de conservação foram reforçadas como instrumentos legais de gestão ambiental com a criação do SNUC no ano 2000. Porém, o histórico da proteção ambiental no país foi marcado pelo primeiro código florestal promulgado em 1934, o qual tinha um arcabouço simplista e pouco praticado em âmbito nacional, e que foi revogado em 1965 pela lei nº 4.771. O Código Florestal de 1965 foi somente modificado com a lei 12.727, de outubro de 2012, que dispõe sobre as normas gerais da proteção da vegetação, a preservação permanente e as áreas de reserva legal no território brasileiro.

Nesse meio tempo, a proteção ambiental foi executada pelo CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, pelo SNUC e por órgãos de gestão ambiental dos estados, criando unidades de conservação de forma individualizada e fragmentada. Dessa forma, surgiram incoerências entre categorias de unidades protegidas, algumas sem um aparato legal robusto para viabilizar a execução de suas funções (MORAIS, 2018).

O código florestal de 2012 tomou como referencial o conceito de unidade de conservação adotado na lei de criação do SNUC, a saber:

[...] espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2012).

De modo geral, objetivou-se a manutenção da qualidade e a função ambiental dos recursos hídricos, paisagem, estabilidade geológica, biodiversidade, fluxo gênico da fauna e da flora, proteção do arcabouço pedológico e o asseguramento do bem-estar das populações humanas

envolvidas (NOWASTKI *et al.*, 2016). Nesse contexto, as Áreas de Preservação Permanente – APPs são unidades que visam proteger a cobertura vegetal e os sistemas hídricos como cursos-d'água, nascentes e águas subterrâneas. A importância das APPs envolve a estabilização dos processos erosivos e dos movimentos de massa por meio da cobertura vegetal, reduzindo a carga sedimentar que chega aos corpos-d'água (JARENTCHUCK, 2009; NOWASTKI *et al.*, 2016).

Dessa forma, a cobertura vegetal, particularmente as matas ciliares, é de fundamental importância para a qualidade da água, já que retém, total ou parcialmente, a carga de sedimentos oriunda das vertentes e mitiga impactos de aumento da turbidez e da concentração de outros poluentes retidos pelos sedimentos.

O Código Florestal também determina que as nascentes sejam protegidas por APPs de raio mínimo de 50 m a partir do ponto de exfiltração, buscando-se a proteção contra a erosão acelerada e a poluição. Contudo, as nascentes podem ter dinâmica diferenciada e nem sempre se constituem como pontos bem-determinados de exfiltração, além de poderem ser temporárias e também migrar ao longo do tempo acompanhando a sazonalidade típica dos climas tropicais (FELIPPE, 2009; FELIPPE *et al.*, 2009) Dessa forma, a exfiltração ocorre em áreas de diferentes extensões, não havendo um ponto exato de referência para a medição dos 50 m. Além disso, estudos mostram que nascentes podem migrar centenas de metros entre as estações úmida e seca, a depender da hierarquia fluvial e do substrato rochoso onde fica a nascente (MAGALHÃES JR., 2018).

Já em áreas de topo de morro a função da APP é primordialmente ligada aos serviços ecossistêmicos de recarga de aquíferos, manutenção de níveis freáticos e perenização de cursos-d'água quando esta é sua condição original (SACRAMENTO e MICHEL, 2017). Em muitos casos, essa proteção ocorre com a participação da cobertura vegetal, atenuando a erosão pluvial, induzindo a infiltração e reduzindo o escoamento superficial (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008; MENDOÇA *et al.*, 2009) – figura 19.



**Figura 19 – Ciclo Hidrológico na vertente.**  
**Fonte: BIBOCA AMBIENTAL, 2016.**

Outra tipologia de unidade de proteção ambiental é a das Áreas de Proteção Especial – APEs, vigente nos estados de Minas Gerais e São Paulo. Essa tipologia foi criada pela Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispunha sobre o parcelamento do solo urbano em território nacional, visando, entre outros, proteger mananciais de abastecimento público. Contudo, a lei foi genérica e não apresentou concepções precisas da definição das APEs e de suas funções, deixando claro, apenas, que a sua criação deveria ser de competência dos estados, via decreto. Dessa forma, cada estado utilizou a tipologia da forma que se adequava aos seus interesses.

Vale ressaltar que a tipologia não é intrínseca somente à proteção de mananciais, mas também à áreas de proteção socioambiental de interesse municipal e estadual para diversos fins. No entanto, na RMBH a sua aplicação ficou restrita à proteção de mananciais de abastecimento público, tendo sido delimitadas e abrangendo toda a área de contribuição do respectivo manancial. Nesse sentido, certas APEs possuem áreas bastante extensas, elevando a dificuldade de proteção frente à ocupação antrópica e à compatibilização dos usos da terra e da água (ALVES, 2019b; MAGALHÃES JR., 2016).

No contexto da RMBH, três APEs de maior extensão se destacam: Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores, abrangendo os três maiores reservatórios de água regionais destinados prioritariamente ao abastecimento público. Em menor escala, o sistema Morro Redondo conta com as APEs Fechos, Mutuca e Cercadinho, enquanto o sistema Ibirité conta com as APEs Taboões, Bálsamo, Rola-Moça e Catarina (FREITAS, 2017).

Entre 1980 e 1990 foram criadas 19 APEs em Minas Gerais, sendo 13 somente na RMBH. Simultaneamente à sua criação, iniciaram-se desafios de sua efetivação, dada a falta de um

arcabouço jurídico preciso e que definisse instrumentos de gestão claros e efetivos, já que as APEs não estão contempladas no SNUC. As APEs foram criadas em áreas onde já havia captação de água da COPASA e foram, então, destinadas à administração da empresa. Não obstante a isso, as APEs ficaram conhecidas como “Áreas da COPASA” pela população<sup>3</sup> do entorno.

Por tudo isso, cabe destacar que em grande parte das vezes a associação não é equivocada, já que a administração da área é de fato da COPASA, e as pessoas enxergam a maior autoridade da área como a empresa de saneamento (ALVES *et al.*, 2019b; EUCLIDES, 2012). Assim, evidencia-se um problema institucional das APEs que permeia até os dias de hoje, já que a população enxerga a COPASA como um órgão estatal que tem a função de gerir e fiscalizar essas áreas, quando na verdade a empresa de economia mista apenas deveria realizar a manutenção física e não tem, em tese, poder deliberativo com a área de preservação, isto cabe ao IEF (Instituto Estadual de Florestas) e à SEMAD (Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável).

A criação das APEs se deu em um contexto de preocupação da COPASA com as pressões ambientais sofridas pelos mananciais de abastecimento em relação à expansão urbana na segunda metade do século XX, além de pressões de usos econômicos da terra (industriais, agrícolas e exploração mineral). Sobre isso, Euclides (2012) afirma:

[...] tendo em vista planos de instalação de novas minas da mineradora MBR nas proximidades de suas áreas de captação ao sul de Belo Horizonte, a empresa conseguiu a instituição da APE Mutuca, e, no ano seguinte, das APEs Taboões, Bálsamo, Rola-Moça, Barreiro, Catarina, Fechos e Cercadinho, com decretos que declaram como de preservação permanente as florestas e as demais formas de vegetação natural nelas localizadas (EUCLYDES, 2012, p. 48).

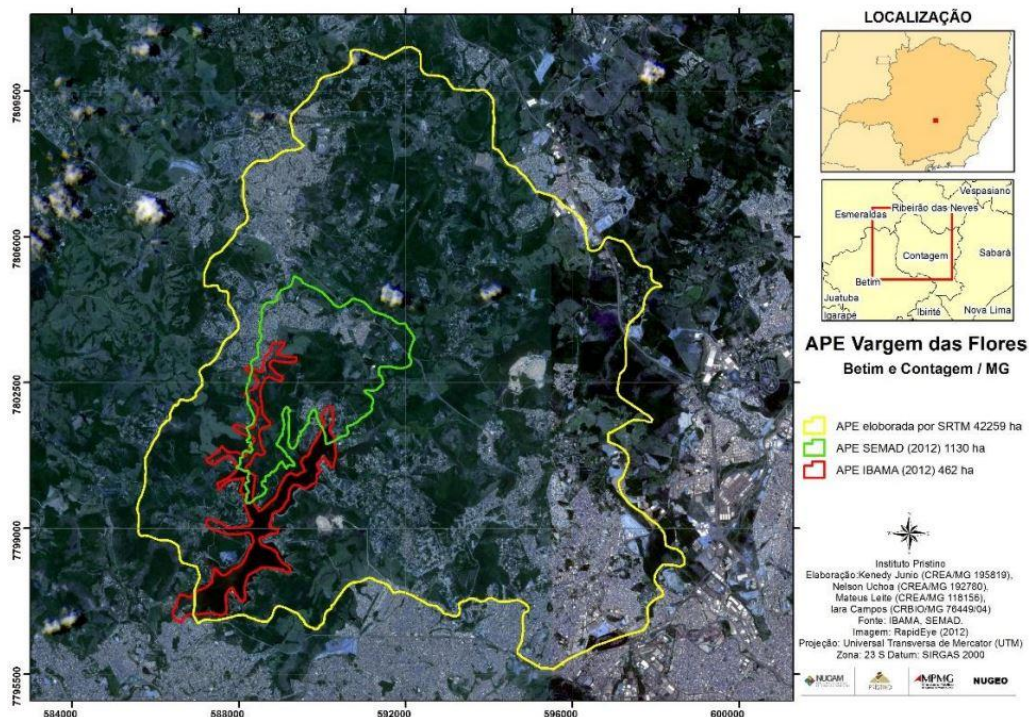
Contudo, com a ausência de um aparato normativo sólido e eficaz, bem como a falta de precisão dos limites dessas tipologias no processo de criação e delimitação, as APEs são exemplos de incompatibilidades entre usos da terra e proteção ambiental. Diversas APEs não cumprem suas funções, como o caso da APE Vargem das Flores nos municípios de Contagem e Betim. Essa APE possui um limbo legislativo e institucional associado à ausência de demarcação oficial na literatura.

---

<sup>3</sup> Esta afirmativa é baseada na vivência do autor envolvendo o contexto de moradia e os trabalhos de campo realizados na pesquisa, em que os moradores do entorno normalmente associam as APEs como “Áreas da COPASA”.

Segundo Castro *et al.* (2015) havia três limites propostos em banco de dados espaciais do Estado e da União. Na Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) os limites firmados correspondiam a uma área de 1.130 hectares que não acompanhava o exutório do lago e não cobria todos os interflúvios da bacia, já o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) apresentava os limites da APE apenas no entorno do lago, desprezando seus afluentes e, por consequência, o restante da bacia de contribuição. E, por fim, o decreto do governo estadual nº 20.793, de 08 de setembro de 1980 prevê que a APE Várzea das Flores equivale a toda a bacia de contribuição do reservatório homônimo, mas esse documento não apresenta a poligonal ou qualquer referência espacial matemática dos limites estabelecidos.

Contudo, após análise via SIG (Sistema de Informação Geográfica) e Sensoriamento Remoto, Castro *et al.* (2015) propõem a criação da área de contribuição baseada em imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission – Missão Topográfica Radar Shuttle), que leva em consideração a topografia da região e, por consequência, delimita todos os afluentes dentro do interflúvio de referência ao lago. Dessa forma, a APE teria 42.259 hectares e, portanto, teria limites mais adequados para a gestão do segundo maior reservatório da RMBH (figura 20).



**Figura 20 – Delimitação APE Vargem das Flores.**  
Fonte: CASTRO *et al.*, 2015.

Por muitos anos, os limites da APE Vargem das Flores foram negligenciados perante os órgãos interessados na área de proteção, apenas em 2018 esses dados foram compilados e corrigidos

por meio de processos oriundos da implementação do portal IDE Sisema, que é uma plataforma de unificação das principais informações ambientais do estado de Minas Gerais em arquivos geoespaciais (AGÊNCIA MINAS, 2022).

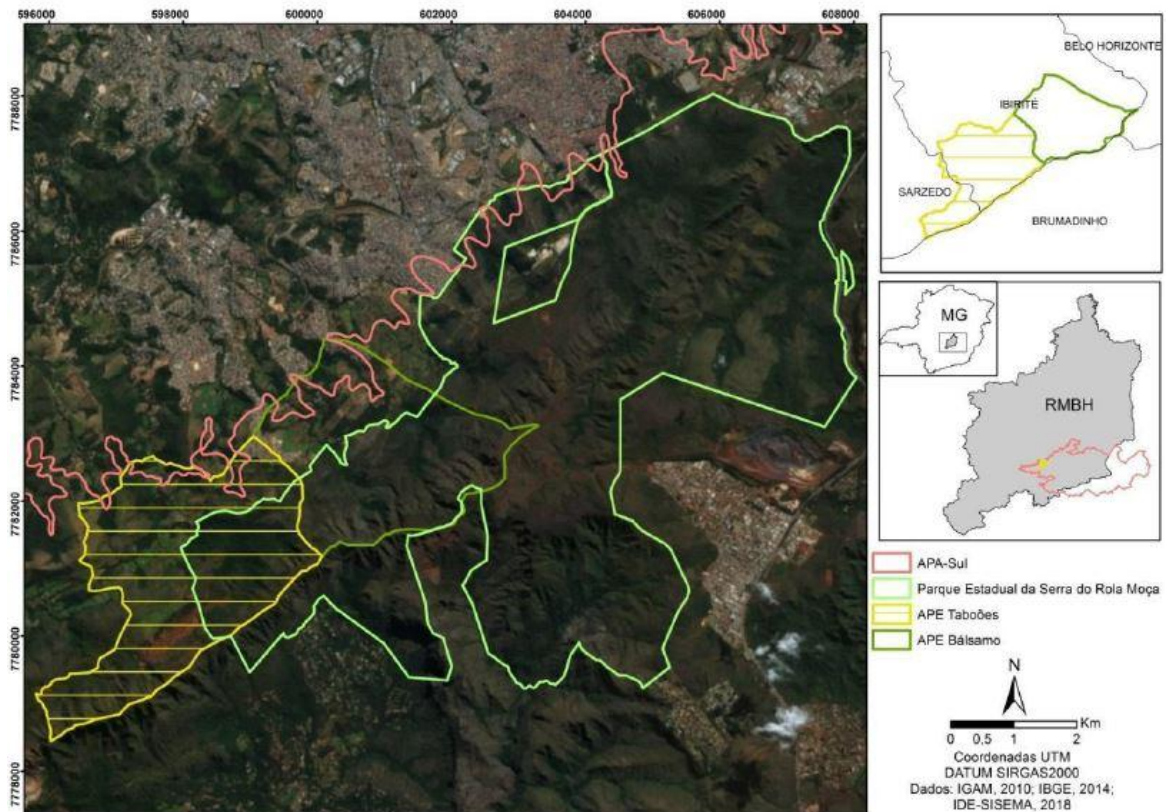
Ademais, além da existência de incertezas quanto aos limites de certas APEs, há também o mosaico de UCs (Unidades de Conservação) que permeia as APEs da RMBH. Dado que as APEs não estão incluídas no SNUC, não são consideradas UCs. Ainda no caso de Vargem das Flores, a APE tem limites quase coincidentes com a APA Vargem das Flores, criada pela Lei nº 16.197/2006, com 12.263 ha, e que contempla a área de contribuição do lago. Contudo, pela própria definição das APAs no SNUC, sua criação tem por finalidade o uso sustentável da área desde que seja com o objetivo de manutenção da diversidade biológica, além de proteger e conservar os recursos ambientais, garantir a qualidade dos recursos hídricos, principalmente os relacionados ao manancial, e contribuir para o ordenamento do solo, bem como as ações de recuperação das áreas degradadas. Esse panorama denota a fragilidade da tipologia de APEs na RMBH, não possuindo diretrizes claras, ficando sob a gestão da COPASA e estando, em certos casos, sob a superposição dos limites de outras unidades de conservação contempladas no SNUC.

Embora as APAs sejam contempladas pelo SNUC, sua efetivação ainda carece de avanços. A sua finalidade de uso sustentável por vezes também cria outro limbo administrativo, já que permite usos como mineração, indústria e agricultura em consonância com mananciais de abastecimento público na mesma bacia. Como exemplo, na RMBH a APA Sul, com área de aproximadamente 163.000 ha, é ocupada por diversos empreendimentos e se superpõe com outras unidades de conservação com finalidades diferentes. A Serra do Rola-Moça, unidade geomorfológica regional da APA Sul, contempla um mosaico relevante para esta pesquisa, já que dá início ao Sistema Ibirité, responsável pelo abastecimento de água de 40% da população do município de mesmo nome e contempla diversas unidades de proteção ambiental como a APE Taboões, APA Sul e o Parque Estadual Serra do Rola-Moça – PESRM (ARSAE, 2016).

Contudo, apesar de a área apresentar unidades que visam a proteção dos mananciais que bordejam a serra, estas não foram suficientes para frear o avanço das atividades de extração mineral e de expansão urbana (figura 21). Na borda oeste do PESRM está a Mina da Boa Esperança, da mineração Santa Paulino, que adentrou aos limites da APE Taboões e da APA Sul sem qualquer restrição, deixando, assim, o panorama de uma mina a céu aberto ao lado de uma captação de água da COPASA. Ademais, a expansão urbana também afeta o panorama, já



que na borda noroeste do PESRM há um trecho do bairro Jardim Montanhês que adentra os limites das APes Taboões e Bálamo (ALVES *et al.*, 2019b).



**Figura 21 – Mosaico de unidades de conservação na Serra do Rola-Moça – MG.**  
**Fonte: ALVES *et al.*, 2019b.**

Dessa forma, o panorama de proteção de mananciais na Serra do Rola-Moça leva a entender que apenas os limites do PESRM têm sido respeitados frente aos avanços das atividades antrópicas. Em outros casos pela RMBH o contexto se repete, ameaçando o quadro de segurança hídrica da região.

A não inserção das APes no SNUC compromete o ordenamento territorial nas áreas de proteção da RMBH. Além disso, as unidades de conservação possuem finalidades distintas e, por vezes, incompatíveis do ponto de vista dos usos da terra e da água. As lacunas e incertezas institucionais corroboram para o contexto de ineficiência na proteção dos mananciais na RMBH e suas conseqüentes incompatibilidades podem levar a quadros de instabilidade hídrica, podendo afetar o cotidiano de mais de 6 milhões de pessoas, como ocorreu entre os anos 2013 e 2015, com a redução dos índices pluviométricos no Sudeste do Brasil.



## 6 ASPECTOS HISTÓRICOS DA GESTÃO DE BACIAS E MANANCIAIS DA RMBH

Existem no Brasil vários exemplos de mananciais criados com a finalidade de abastecimento público e que, pelo mal-uso e pela falta de mecanismos de controle e proteção, se tornaram corpos-d'água com funções exclusivamente paisagísticas devido à poluição e à inviabilidade técnica para o abastecimento. Em Belo Horizonte há exemplos que ilustram esse panorama, os quais seguem uma ordem cronológica de etapas parecida: primeiramente a falta de controle territorial da área de contribuição do reservatório; o aumento das pressões da urbanização com poluição e assoreamento, e finalmente a inutilização do reservatório. Esse foi o caso do reservatório da Pampulha, criado em 1938, e que tinha a finalidade primária de abastecimento público de água para a RMBH (CHAMPS, 1992). O reservatório conta com 18 milhões de m<sup>3</sup> de água e hoje tem funções de paisagismo e atividades recreativas sem contato direto com a água (LAGOA DA PAMPULHA, 2021).

O processo de expansão urbana na bacia de contribuição do reservatório, na década de 1970, resultou na rápida eutrofização do lago (RESCK, 2007), levando à ocorrência de episódios de forte proliferação de cianobactérias a partir dos anos 1980. Como o tratamento da água sempre foi considerado complexo e custoso, quando comparado com os reservatórios do sistema Rola-Moça e Serra Azul, a poluição praticamente inviabilizou a utilização do reservatório como manancial. Assim, o lago perdeu a função de manancial de abastecimento público nos primeiros anos de 1980 (GOODWIN, 1997). Mesmo assim, as pressões humanas na bacia de contribuição fizeram com que em meados de 1990 houvesse um intenso processo de assoreamento da represa e seu tempo de vida útil foi estimado em cerca de 20 anos em caso de manutenção do cenário da época (OLIVEIRA; BATISTA, 1997).

Dessa forma, ao final da década de 1990 foi lançado o Programa de Recuperação e Desenvolvimento Ambiental da Bacia da Pampulha (PROPAM) para tentar reverter o quadro de degradação na bacia do reservatório a partir de perspectivas ambiental, urbana e econômica (FURTADO, 2019). O programa consiste em três subprogramas: I – Saneamento Ambiental; II – Recuperação da Lagoa; III – Planejamento e Gestão Ambiental (figura 22).

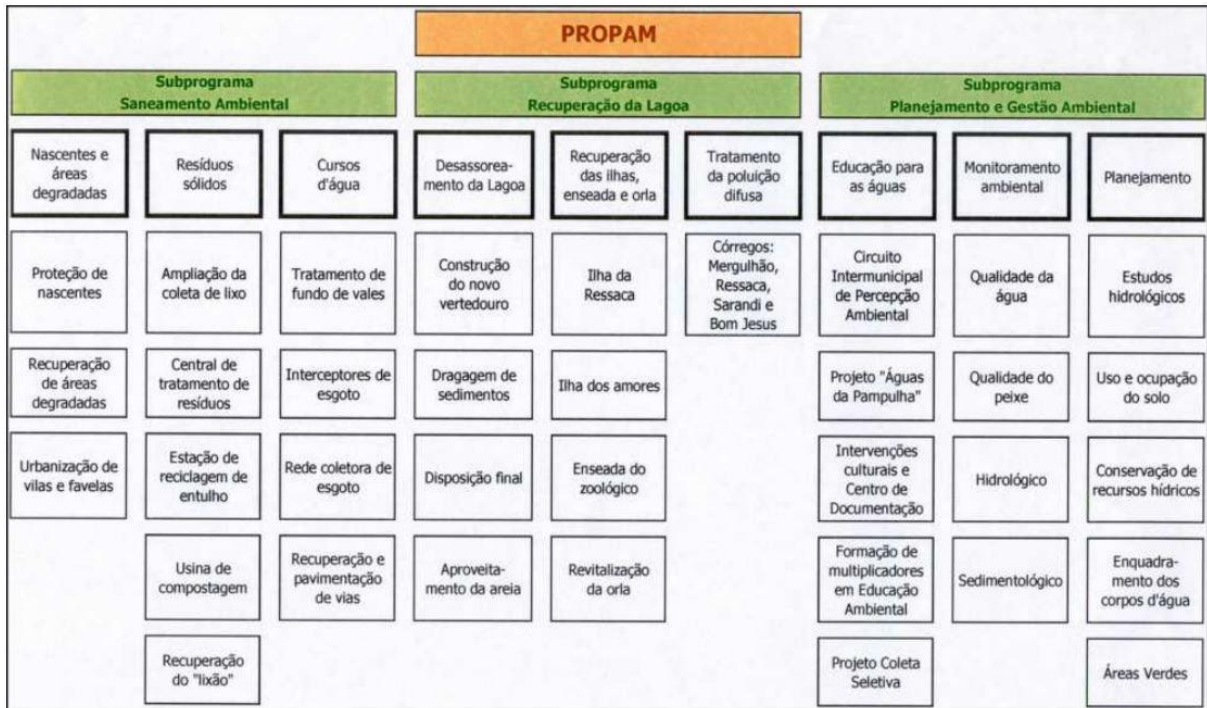


Figura 22 – Organograma de Ações do PROPAM.  
Fonte: PROPAM, 2018.

O Programa foi executado ao longo de 20 anos e todos seus objetivos foram alcançados em diferentes perspectivas (FURTADO, 2019). Ele buscou integrar a lagoa ao cenário urbano, coexistindo com as pressões existentes, e desde o início dos anos 2000 a Prefeitura de Belo Horizonte passou a focar no potencial turístico e de lazer.

Até meados de 1970 a RMBH sofria com a falta de disponibilidade hídrica em qualidade e encanada até o consumidor final. Esse panorama muda com a criação de novos reservatórios em municípios do entorno da capital, como os de Serra Azul e Várzea das Flores (SOUZA, 2003b). O segundo está localizado entre os municípios de Contagem e Betim, onde foi construído um barramento no Ribeirão Betim que resultou em um lago de 520 ha de espelho-d'água e que responde por 15% do abastecimento urbano na RMBH (LIMA, 2018).

Segundo Lima (2018), desde a sua criação em 1972 a bacia de contribuição do reservatório Vargem das Flores recebeu importantes movimentos de ocupação e expansão territorial. No início do seu funcionamento, Contagem ganhava autonomia com a criação do parque industrial, popularmente chamado de "Cidade Industrial", impulsionando o processo de ocupação territorial do município. Não obstante a isso, os usos antrópicos preponderantes na bacia eram usos urbanos e pastagens, com os primeiros apresentando um relevante aumento até o ano de 2016 (tabela 4).

CLASSES	Ano								Diferença**
	1986		1996		2006		2016		1986 a 2016
	Área/ km²	%*	Área/km²	%*	Área /km²	%*	Área/ km²	%*	Área/km² (%)
Água / Drenagem superficial	455,12	3,72	569,50	4,65	468,84	3,82	317,60	2,59	- 137,52 (30,21%)
Urbanização	2367,28	19,30	2428,31	19,80	2755,30	22,47	3961,46	32,30	+ 1594,18 (67,34%)
Solo Exposto	88,19	0,72	76,52	0,62	91,91	0,75	101,74	0,83	+ 13,55 (15,36%)
Vegetação Densa	6160,03	50,23	4338,44	35,38	5871,21	47,88	5080,66	41,44	- 1079,37 (17,52%)
Pastagem	3192,38	26,03	4850,23	39,55	3075,74	25,08	2801,54	22,84	- 390,84 (12,24)
<b>TOTAL</b>	12.263,00	100	12.263,00	100	12.263,00	100	12.263,00	100	-

Nota:\* Cálculo de proporção (%) das áreas realizado entre as classes de uso e cobertura do solo em um determinado ano (colunas); \*\* Cálculo de proporção (%) das alterações das áreas de uma mesma classe de uso e ocupação do solo (linhas) ao longo do período compreendido entre 1986 a 2016.

**Tabela 4 – Dinâmica do uso do solo na bacia de contribuição do Reservatório Várzea das Flores.**  
Fonte: LIMA, 2018.

Frente às pressões no reservatório, a Lei nº 16.197, de 26 de junho de 2006, criou a Área de Proteção Ambiental Várzea das Flores (APA Várzea das Flores) com o objetivo de assegurar a manutenção da biodiversidade, garantir a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos do manancial, mitigar as pressões oriundas à ocupação da terra e promover ações de recuperação de áreas degradadas. Dessa forma, criou-se uma área que engloba toda a bacia de contribuição do reservatório com 12.263 ha de área.

De acordo com o plano de manejo da APA publicado em 2021, ao longo dos anos a bacia de contribuição do reservatório vinha sofrendo múltiplas pressões oriundas da ocupação desordenada. Silva (2010) afirma que o curso-d'água principal, o Ribeirão Betim, possui águas com IQA (Índice de Qualidade da Água) classificado como “ruim”. Isso se deve principalmente ao lançamento de efluentes domésticos e industriais, a cargas difusas urbanas (pluviais) e a poluentes dos setores agrossilvipastoril e mineral, seja de origem natural ou acidental.

O plano de manejo da APA menciona a expansão urbana descontrolada em todas as sub-bacias do reservatório. Ainda que fossem para lazer, as residências tinham impactos importantes e diretos ao reservatório, como parcelamentos de áreas, desmatamento, fornecimento de sedimentos causados pela movimentação da terra, bem como lançamento de efluentes nos cursos-d'água. Atualmente, a tendência é a expansão de bairros com estruturas bastante impermeabilizadas, com loteamentos aprovados constantemente sem o direcionamento de um aparato legal que controle a ocupação de nascentes e vertentes de alta declividade. O aumento das áreas impermeabilizadas tende a reduzir a infiltração das águas pluviais e a recarga dos

aquíferos, aumentando, paralelamente, o escoamento superficial e o potencial de ocorrência de erosão acelerada. A erosão aumenta a carga sedimentar disponível para ser carreada para o reservatório, comprometendo a qualidade da água e a vida útil do lago (figura 23).



**Figura 23 – Dinâmica do uso do solo na bacia de contribuição do Reservatório Várzea das Flores.**  
Fonte: LIMA, 2018.

A efetivação e a proteção de mananciais de abastecimento em zonas urbanas sob forte expansão dependem de um aparato legal e de fiscalização robusto que controle as atividades e a ocupação da terra na bacia de contribuição. Apesar da criação da APA Várzea das Flores em 2006, os instrumentos de gestão só começaram a ser postos em prática em 2021, como é o caso da criação do Plano de Manejo, de um comitê gestor e do zoneamento ambiental da UC.

Portanto, a criação de áreas de proteção, sejam elas contempladas pelo SNUC ou não, dependem em grande parte da sua efetivação e operacionalização enquanto mecanismo de controle de conservação da bacia. Apenas a sua criação não garante o controle das pressões nos mananciais associados, sendo necessário um aparato legislativo e fiscal robusto com direcionamentos, referências e bases técnicas para a conservação do ambiente.



## 7 O ESTUDO DE CASO DO RESERVATÓRIO SERRA AZUL

O reservatório de Serra Azul é responsável pelo abastecimento de 16% da RMBH, com produção estimada de  $2,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (RODRIGUES *et al.*, 2017). O reservatório fica a cerca de 40 km da cidade de Belo Horizonte e possui área de contribuição de  $262 \text{ km}^2$  que contempla os municípios de Mateus Leme, Igarapé e Itaúna (MINAS GERAIS, 1980). A sub-bacia de contribuição do reservatório se confunde com a APE Serra Azul (figura 24), sendo composta pelo ribeirão Serra Azul e os córregos Jacú, Mosquito, Curralinho, Diogo, Potreiro, Estiva, Leôncio, Alto da Boa Vista, Ponte de Palha, Grande, Garimpo, Lagoa, Mato Frio, Mantinha e Câmara, além de seus afluentes que percorrem superficialmente a vertente desde a Serra da Conquista e a Serra Azul até o lago superficial de mesmo nome (SOUZA, 2003a).

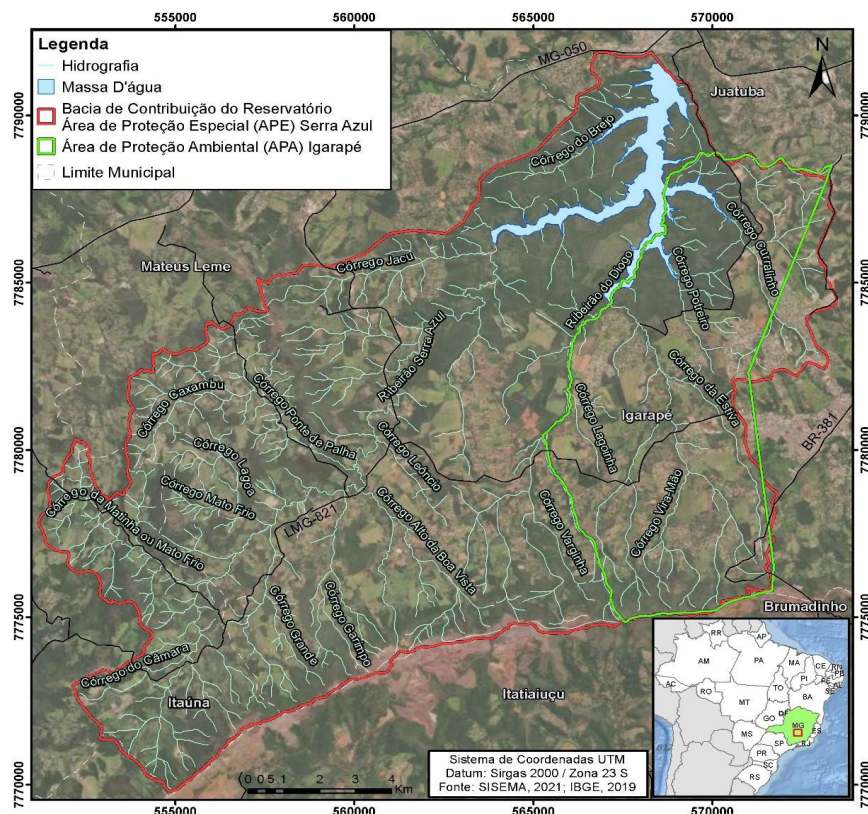


Figura 24 – Mapa de localização da área de estudos.

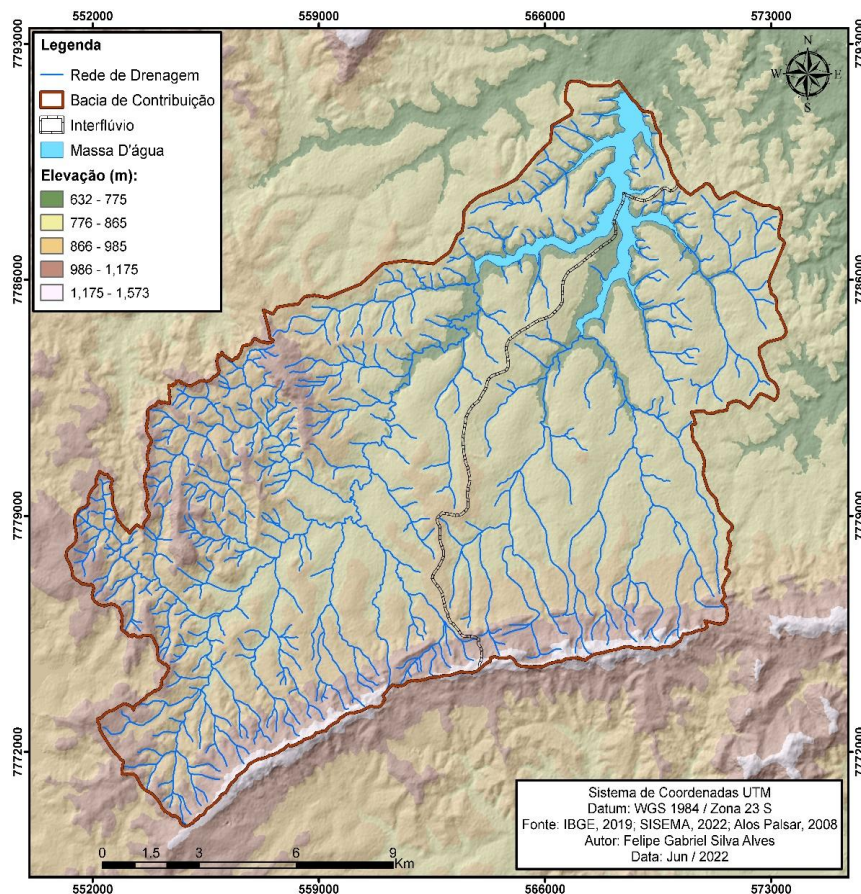
Fonte: Autoria Própria.

O reservatório faz parte do sistema integrado de abastecimento de água da RMBH. No caso, a água captada pelo reservatório, por estar na bacia hidrográfica do Rio Paraopeba, abastece ao Sistema Paraopeba que, por sua vez, abastece o sistema integrado de abastecimento público de água na RMBH. O Sistema Paraopeba é composto pelos mananciais de Rio Manso, Serra Azul, Várzea das Flores e Ibirité, todos com barramentos para resamento de água.

Além disso, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), principal empresa responsável pela distribuição de água na RMBH, é quem faz o gerenciamento do reservatório. As matas responsáveis pelo amortecimento das pressões ao reservatório são delimitadas pela própria empresa por meio de cercas e muros que impedem o acesso da população do entorno ao lago superficial, além disso, existem pontos de monitoramento climático e de qualidade da água nos cursos-d'água afluentes do reservatório.

A vegetação é composta pela mata estacional semidecidual sob um clima tropical e tropical de altitude, de acordo com a classificação Köppen-Geiger, as estações são bem-definidas e a precipitação média anual é de 118,7 mm concentrada no verão (ALVES *et al.*, 2019a).

A bacia está inserida em um contexto serrano com cotas altimetricamente elevadas, com amplitude entre 632 m e 1.573 m em que o perímetro sul é composto pela Serra Azul com as cotas variando entre 986 m e 1.573 m, o perímetro oeste é composto por maciços residuais do embasamento cristalino que variam entre 986 e 1.175 m de altitude e, por fim, ao norte a Serra do Elefante com cotas altimétricas que variam entre 866 e 985 m de altitude (figura 25).



**Figura 25 – Declividade da bacia de contribuição do reservatório de Serra Azul.**  
**Fonte: Autoria Própria.**



## 7.1 Geologia e mineração

A bacia de contribuição do reservatório Serra Azul é composta pela parte ocidental da unidade geológica-geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero e tem como principal característica um relevo serrano rico em rochas ferríferas dos Supergrupos Minas e Rio das Velhas, além de rochas do complexo granítico e migmatítico. No Supergrupo Minas, os Grupos Piracicaba, Sabará e Itabira compõem a parte sul da bacia do reservatório próximo às regiões altimetricamente elevadas, já a outra metade da bacia, nas porções norte, é composta majoritariamente de rochas do Supergrupo Rio das Velhas, especificamente pelo grupo Nova Lima e pelo complexo Divinópolis, com rochas do embasamento cristalino (figura 26). Além disso, entre o contato dos dois supergrupos existem lineamentos que caracterizam a divisão abrupta da estrutura entre eles, além de existir uma falha extensional de características normais nas rochas do complexo Divinópolis.

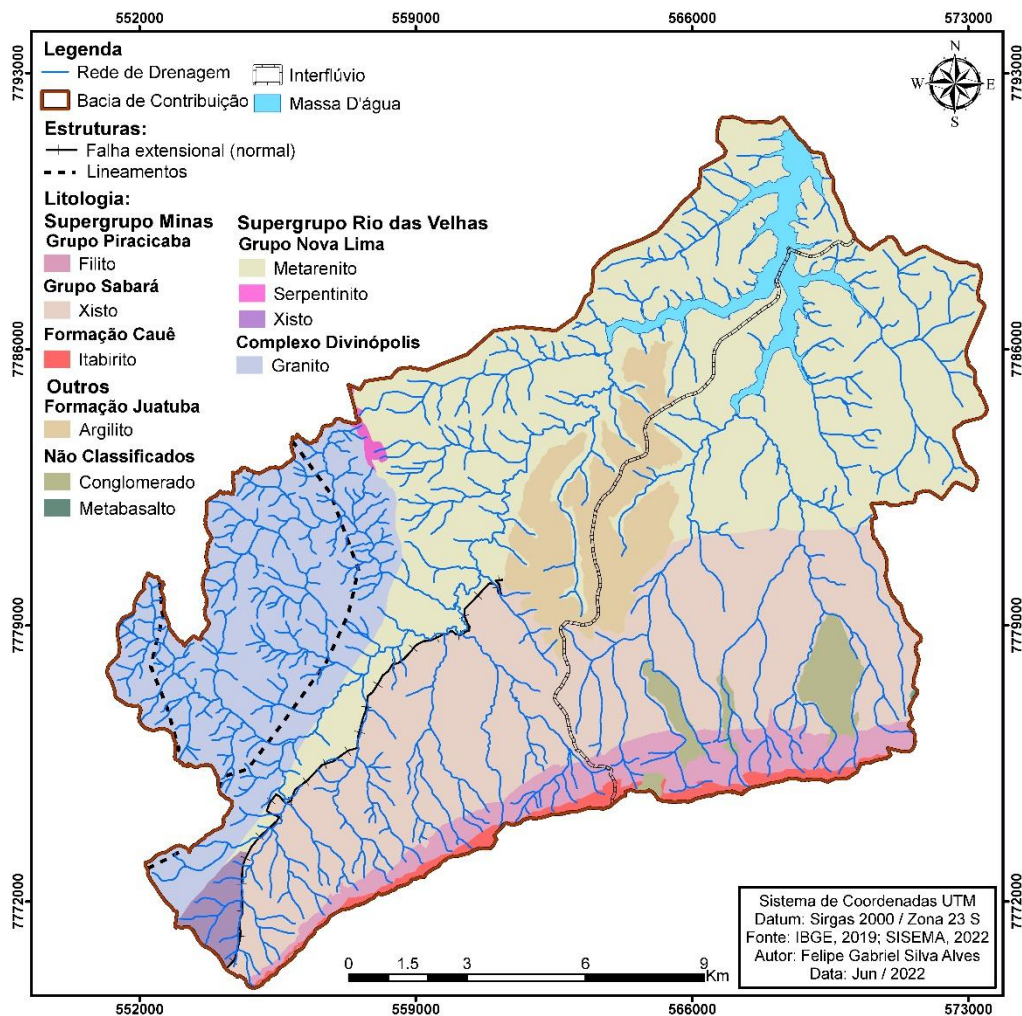


Figura 26 – Mapa de caracterização geológica da bacia de contribuição do reservatório de Serra Azul.  
Fonte: Autoria Própria.

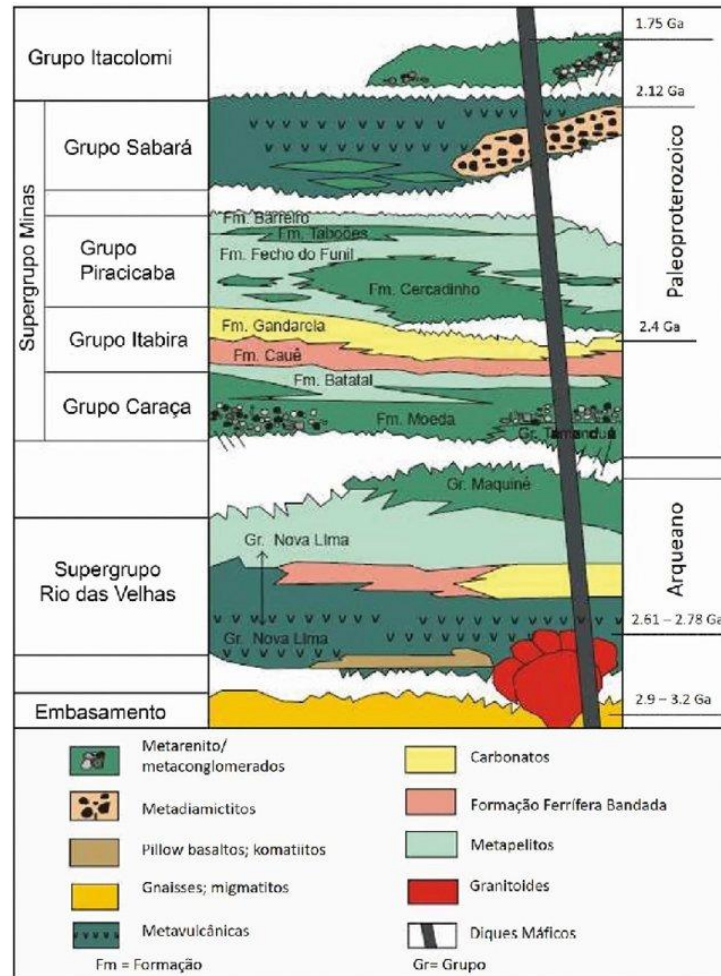
O Supergrupo Minas é caracterizado como um conjunto de rochas metassedimentares oriundas do Proterozoico, constituído principalmente por quartzitos e itabiritos que dão origem às Formações Ferríferas Bandadas (BIFs). Estas são o resultado do metamorfismo de rochas sedimentares químicas, precipitadas sob condições oxidantes e/ou suboxidantes que sofreram atividades microbianas de origem marinha e foram fertilizadas por emanções vulcânicas submarinas ricas em Ferro (Fe) (CORRÊA, 2020). A formação possui processos mineralizadores hidrotermais e supergênicos específicos que podem atribuir a ela a concentração de 60 a 68% de Fe (ROSIÈRE e RIOS, 2004), conferindo-lhe assim características atrativas ao setor minerário.

Dorr (1969) subdividiram o Grupo Piracicaba em 5 formações principais. Na base, a Formação Cercadinho é representada por quartzitos ferruginosos, filitos ferruginosos, filitos, quartzitos e a presença em menor escala de dolomitos. Em seguida, a Formação Fecho do Funil é representada por filitos dolomíticos, filitos e dolomitos impuros. Já as formações Taboões e Barreira possuem quartzitos finos e maciços, além de filitos e filitos grafitosos. Por fim, a Formação Cercadinho está sobre todas as outras e tem um depósito do tipo deltaico oriundo de sequências regressivas interrompidas em fase transgressiva do relevo, dessa forma a formação possui filitos dolomíticos da Formação Fecho do Funil e os filitos grafitosos da Formação Barreiro (AS MINAS GERAIS, 2022).

A antiga formação Sabará, descrita por Dorr *et al.* em 1957, foi elevada ao *status* de Grupo por Barbosa em 1968, com litologia predominante de filitos, cloritas de xisto, grauvacas, *cherts* e os metadiamictitos. Já a formação Cauê pertence ao Grupo Itabira e é composta basicamente por Formações Ferríferas Bandadas categorizadas por itabiritos dolomíticos e anfibolíticos, com pequenas lentes de filitos e alguns horizontes de manganês (NASCIMENTO, 2019).

O Supergrupo Rio das Velhas é caracterizado principalmente pela presença de sequências do tipo *greenstone belt* com bases vulcânicas, além de xistos e filitos oriundos das unidades metassedimentares químicas e clásticas dos grupos Nova Lima e Maquiné. O Grupo Nova Lima é descrito por Ladeira (1980) como uma sequência de *greenstone belt* que subdivide o grupo em 3 unidades: 1) A unidade Metavulcânica, composta por serpentinitos, esteatitos, talco-xistos, metabasaltos e anfibolitos metamorfisados; 2) A unidade Metassedimentar Química é representada por xistos carbonáticos, *metacherts*, BIFs e filitos; 3) A unidade Metassedimentar Clástica é representada por quartzo-xistos, quartzo, filitos, metarenitos, quartzitos impuros e metaconglomerados (figura 27).





**Figura 27 – Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.**  
**Fonte: NASCIMENTO, 2019.**

A região do Quadrilátero Ferrífero comumente é conhecida pela atividade minerária potencial, pelas riquezas e diversidades cênicas do relevo (EUCLYDES, 2011), não obstante a borda sudoeste da bacia de contribuição do reservatório de Serra Azul é cercada por empreendimentos minerários, que concentram importantes jazidas de minério de ferro conhecidas como hematitas concentradas (VASCONCELOS *et al.*, 2012). Com a grande ocorrência das BIFs no interflúvio da bacia, atualmente existem três mineradoras de ferro atuando na Serra Azul, a Minerita Minérios Itaúna LTDA com a Mina do Morro do Ipê, a Arcelor Mittal S/A com a Mina Central e a Uniminas com a Mina Oeste. Destas, as duas últimas possuem barragens de rejeitos na bacia do reservatório. Vale destacar que a barragem da Mina de Serra Azul da Arcelor Mittal, está em nível 3 de segurança, ou seja, nível máximo de emergência (AEDAS, 2022).

Esse nível de emergência representa que a estrutura da barragem está em estágio inevitável de ruptura ou está sob processo visível, mas também pode ter sido reprovada pelo fator de segurança drenado, se estiver abaixo de 1,1, ou o fator não drenado de pico, se estiver abaixo de 1,0. De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM), a barragem armazena 5,028

milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro e está sob fator de segurança drenado abaixo de 1,1, ou seja, a estrutura sólida da barragem está evoluindo para o comportamento líquido chamado de liquefação, similar à barragem B1 de Brumadinho no desastre de 2019. Contudo, é necessário destacar que, em caso de rompimento, a direção do fluxo dessa barragem será para o reservatório de Rio Manso, o maior do sistema Paraopeba.

Além dessas mineradoras, em menor escala existe uma área de mineração de grafite e mármore com finalidade de fabricação de pedras ornamentais a oeste da bacia no município de Mateus Leme, na bacia do córrego Jacu, afluente direto do reservatório. Embora o processo seja em menor escala, a mineração para fabricação de pedras ornamentais representa desafios importantes para a manutenção do meio ambiente, já que em grande parte das vezes os métodos de mineração utilizados pelas empresas são pouco criteriosos sem fiscalização adequada (REIS e SOUSA, 2003).

## 8 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 8.1 Levantamento de dados primários e evolução do uso da terra

Essa etapa se iniciou em gabinete, com o levantamento de trabalhos técnico-científicos que pudessem nortear a definição dos procedimentos metodológicos da pesquisa. Concomitantemente, buscou-se obter informações sobre a área de estudo, incluindo as dimensões física, humana, as interações entre o uso da terra e da água e as suas relações com a segurança hídrica regional.

Como método de reconhecimento de área, delimitou-se a bacia de contribuição a montante do reservatório Serra Azul utilizando primariamente o *software* Google Earth Pro, com ampliação da elevação de terreno em grau 3 (máximo). Além disso, foram utilizadas as bases vetoriais otocodificadas<sup>4</sup> fornecidas pelo IGAM, em que é representada a rede de drenagem em uma escala de 1:50.000, sinalizando os fundos de vale, bem como zonas de cabeceira da bacia. Dessa forma, os dados provenientes da drenagem foram integrados ao Google Earth Pro e, assim, foi criado um polígono que acompanhe a linha de interflúvio da bacia de contribuição do reservatório.

Posteriormente, como método de conferência, o polígono extraído foi convertido em arquivo *shapefile* e sobreposto à um modelo digital de elevação (MDE) da área de estudos, confirmando assim os limites da bacia de contribuição do reservatório em estudo. Para a construção do MDE foram utilizadas imagens com múltipla polarização em amplitude do satélite ALOS PALSAR, com resolução espacial emulada de 12,5 m<sup>2</sup> no *software* QuantumGis (QGis) na versão 3.10, para classificação.

O satélite ALOS PALSAR foi lançado pela Japanese Aerospace Exploration Agency (JAXA), agência espacial do Japão, em 24 de janeiro de 2006, e descreve uma órbita espacial circular e heliosíncrona a 692 km de altitude. Seu período de retorno é de 46 dias e para este trabalho foi utilizado o sensor RADAR de cobertura sintética que pode operar com resoluções espaciais que variam entre 10 e 100 m com três modos de imageamento: Fino, ScanSAR e polarimétrico (IGARASHI, 2001; SANO *et al.*, 2009; NITESHNIRMAL, 2019).

---

<sup>4</sup> Ottocodificação é o método de classificação da rede de drenagem ou de bacias hidrográficas que possibilita a posição relativa do curso-d'água em detrimento da sua hierarquia fluvial.

Posteriormente, já com os limites da bacia e sub-bacias bem-definidos, utilizou-se a ferramenta de imagens históricas do Google Earth para se verificar o comportamento do uso e da ocupação da terra ao longo dos anos a partir da conclusão do reservatório Serra Azul em 1982. Assim, foi constatado que, para melhor detalhamento da dinâmica de uso e ocupação da terra na bacia, o melhor intervalo de tempo a ser analisado seria entre os anos 1984 e 2020. Sendo o ano de 1984 com a primeira imagem *landsat* disponível em qualidade visada desde a criação do reservatório.

Com isso, para realizar a construção do uso e da cobertura da terra no período escolhido, utilizou-se imagens orbitais do satélite landsat-5 e landsat-8 (tabela 5), com resolução espacial de 30 m<sup>2</sup> dos anos 1984, 2000, 2010 e 2020. Essas imagens são fornecidas pelo banco de dados do United States Geological Survey (USGS), serviço geológico dos Estados Unidos, em que foram escolhidas as imagens no quadro a seguir em função da boa qualidade e pouca cobertura de nuvem na aquisição:

<b>Identificação da imagem</b>	<b>Ano de aquisição</b>
LT05_L2SP_218074_19840606_20200918_02_T1	1984
LT05_L2SP_218074_20000922_20200906_02_T1	2000
LT05_L1TP_218074_20100918_20200823_02_T1	2010
LT05_L2SP_218074_20200821_20200907_02_T1	2020

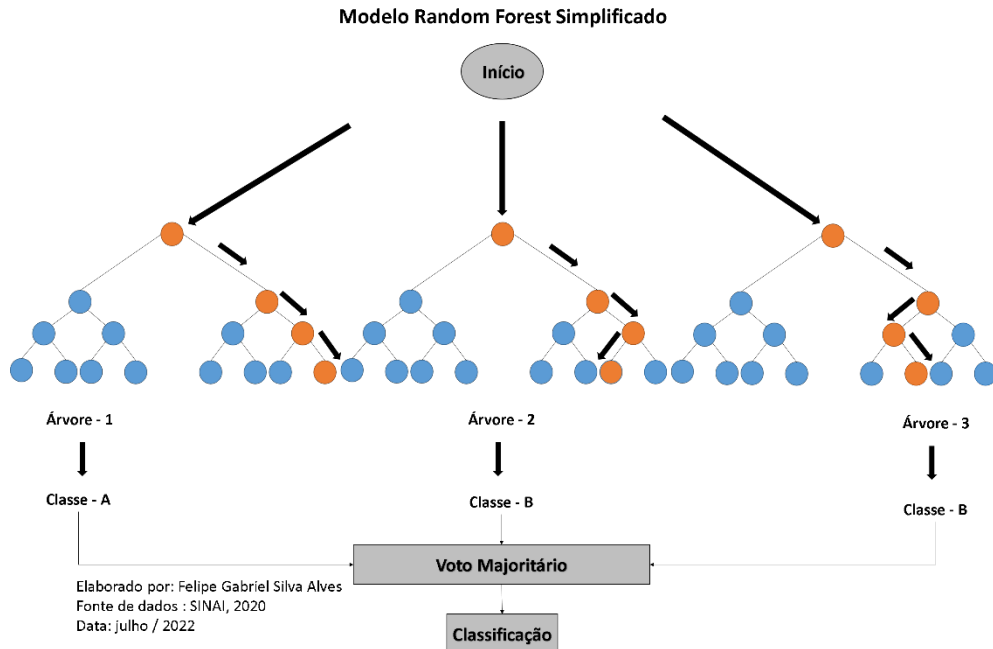
**Tabela 5 – Imagens utilizadas para a análise do uso e da cobertura da terra.**

**Fonte: Autoria Própria.**

Após o tratamento das imagens de satélite, deu-se início ao processo de classificação de acordo com os parâmetros definidos para o estudo. Para isso, foram utilizados os *softwares* OrfeoToolbox (OTB) na versão 6.6.0 e QGis na versão 3.10 no método de classificação supervisionada de imagens de satélite. Assim, foi feita a seleção de amostras sobre as imagens no QGis pelas classes de vegetação arbórea, vegetação arbustiva, vegetação rasteira, uso agrícola, mineração e massa-d'água.

No ambiente do OTB, foram utilizadas duas ferramentas para o processo de classificação das imagens. A primeira ferramenta utilizada é a Train image classifier, que tem a função de testar as amostras coletadas em relação a imagem por métodos estatísticos que vão determinar a matriz de confusão do classificador, assim, é gerado um arquivo .xml que denota as amostras que não representam a classe e, por isso, causa uma confusão entre a razão do número de amostras nos conjuntos de treinamento e validação por classe de imagem (OTB, 2022). Nessa etapa o método classificador de melhor resultado foi o Random Forest Classifier, que utiliza um conjunto de árvores de decisões como método estatístico para verificar a máxima

verossimilhança entre as amostras coletadas na imagem, a partir do retorno de valores registrados pelo sensor em cada *pixel* (figura 28). Por fim, a ferramenta utilizada na classificação final foi a Image Classifier, que retorna de fato a classificação espacial da imagem escolhida (DE LUCA *et al.*, 2019).



**Figura 28 – Estrutura do método estatístico Random Forest Classifier.  
Fonte: Autoria Própria / Modificada de SINAI, 2020.**

Vale destacar que para atender a um limiar específico entre usos antrópicos e naturais, geometrias classificadas como área urbana e área agrícola foram ajustadas manualmente para certificar a fidelidade do perímetro do uso especificado.

Dessa forma, objetivou-se investigar a dinâmica do uso e cobertura da terra ao longo do período analisado como indicativo da efetividade dos mecanismos de controle e proteção do manancial Serra Azul em detrimento das pressões associadas aos usos na bacia de contribuição. Assim, foi possível traçar paralelos entre os casos de mananciais em diferentes estágios que sofreram pressões oriundas do uso da terra até que fossem inutilizados para a captação de água para abastecimento público e, por consequência, afetaram a segurança hídrica do seu local de inserção.

## 8.2 Coletas de amostras de água em campo e análise laboratorial

Com o mapa de uso e ocupação da terra de 2020 finalizado, iniciou-se o planejamento para as campanhas de campo na bacia de contribuição do reservatório com o objetivo de obter dados

da qualidade da água que é carreada ao reservatório, em diferentes comportamentos pluviométricos. Dessa forma, foram feitas campanhas de campo com coletas em pontos estratégicos que dialoguem com as características físicas e químicas esperadas em possíveis influências dos usos da terra na água. Assim, foram feitas duas campanhas de campo no período chuvoso e duas campanhas de campo no período seco, totalizando quatro campanhas de coleta de amostras de água na área de estudo.

A primeira campanha foi realizada no dia 25 de junho de 2021 e corresponde à primeira campanha do período seco, já a segunda, realizada no dia 24 de outubro de 2021 equivale à primeira coleta no período chuvoso. Dessa forma, as últimas duas coletas, dos dias 12 de janeiro de 2022 e 03 de julho de 2023 equivalem ao período chuvoso e seco, respectivamente.

As amostras coletadas foram analisadas no laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC-UFMG). Seguindo os procedimentos metodológicos de coleta e análise do livro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (RICE, 2017), foram feitas 320 análises divididas em 12 pontos de coleta, distribuídos de forma sistemática e individualmente nos altos, médios e baixos cursos dos principais cursos-d'água tributários do reservatório (tabela 6). Vale destacar que os pontos 11 e 12 foram adicionados posteriormente em função da necessidade de cobertura causada por resultados preliminares em outras campanhas (figura 29).



Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrato e Fósforo, como parâmetros de maior relevância para a análise.

Para determinar os comportamentos físico-químicos da água em cada parâmetro, foram considerados os limites previstos pela Deliberação Normativa do COPAM nº 1, de 05 de maio de 2008, que dispõe sobre a classificação dos corpos-d'água e as diretrizes ambientais para seu enquadramento, além de padrões para lançamento de efluentes, entre outras providências no estado de Minas Gerais. Dessa forma, pretende-se associar os resultados dos parâmetros encontrados nas análises laboratoriais, com os usos da terra e os eventos pluviométricos distintos da bacia, além de subsidiar o aprimoramento do cálculo do ISH para a bacia de contribuição.

### 8.3 Análise estatística por meio do coeficiente de correlação de Pearson

Após coleta e análise da água na área de estudo, foi necessário processar as informações por meio de uma metodologia estatística com o objetivo de entender a distribuição dos resultados em virtude da narrativa estudada, indicando, assim, a correlação entre os parâmetros de qualidade da água e os usos antrópicos (Área Urbana, Área Agrícola e Mineração) encontrados nas sub-bacias.

Para isto, utilizou-se o método de coeficiente de correlação de Pearson, que tem como prerrogativa a investigação de um conjunto de dados separados por duas variáveis para indicar sua interdependência, em que a variável A cresce ou diminui na mesma proporção que a variável B, e se isso tem uma relação evidente.

Dessa forma, os dados retornam valores entre  $-1$  e  $1$ , em que o primeiro significa uma correlação muito forte, porém negativa, e o segundo uma relação muito forte, porém positiva (tabela 7). A correlação negativa é expressa por  $r < 0$  e indica que existe uma interdependência entre as variáveis, porém as grandezas são inversamente proporcionais, assim, enquanto a variável A cresce, a variável B decresce. Já a correlação positiva é expressa por  $r > 0$  e as grandezas são diretamente proporcionais, assim, tanto a variável A quanto a variável B crescem ou decrescem juntas em movimentos similares e proporcionais.

Valor de P (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação muito fraca



0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

**Tabela 7 – Classificação da correlação de Pearson.**

Fonte: SILVIA; SHIMAKURA, 2006.

Por fim, o número 0 indica total falta de correlação entre as duas variáveis, assim quanto mais próximo de  $-1$  e  $1$  for o coeficiente, maior será a interdependência entre os dados e, portanto, também será maior a correlação entre as variáveis.

Para definir a variável de usos antrópicos, foi retirado o percentual de ocupação das classes mineração, área urbana e área agrícola a montante do ponto de coleta de água para análise do trabalho em cada sub-bacia. Já a variável de qualidade da água foi extraída dos resultados obtidos por cada parâmetro analisado em laboratório e seus períodos de coleta (seco e chuvoso).

#### **8.4 Cálculo do Índice de Segurança Hídrica para o estudo de caso Serra Azul**

Os procedimentos metodológicos inerentes à aplicação do ISH procuram retratar as condições atuais e as perspectivas futuras da segurança hídrica no território brasileiro. Para isso, o ISH estabelece as quatro dimensões previstas no PNSH (humana, ecossistêmica, de resiliência e econômica) como balizadores para análise, que juntamente com os indicadores e as variáveis fazem uma média simples ou ponderada para definir o grau de segurança hídrica na escala de análise.

Dessa forma, cada dimensão é composta por um ou mais indicadores, que formam um agrupamento de variáveis mensuráveis, que, por sua vez, permitem quantificar e qualificar as demandas efetivas da sociedade em consonância com a prioridade de conservação em áreas críticas. Portanto, as dimensões humana e econômica recebem indicadores formados por um conjunto de variáveis, que determinam as demandas hídricas da escala em estudo, enquanto as dimensões ecossistêmica e de resiliência recebem indicadores formados por um conjunto de variáveis buscando identificar áreas com maior capacidade de subsídio às demandas das quatro dimensões, incluindo a preservação do meio ambiente (ANA, 2019). Dessa forma, cada dimensão tem princípios metodológicos diferentes de acordo com a natureza de análise (figura 30), sendo que as duas primeiras dimensões representam elementos de subtração no cálculo da disponibilidade hídrica e os dois últimos representam a manutenção e a adição de oferta hídrica da equação.

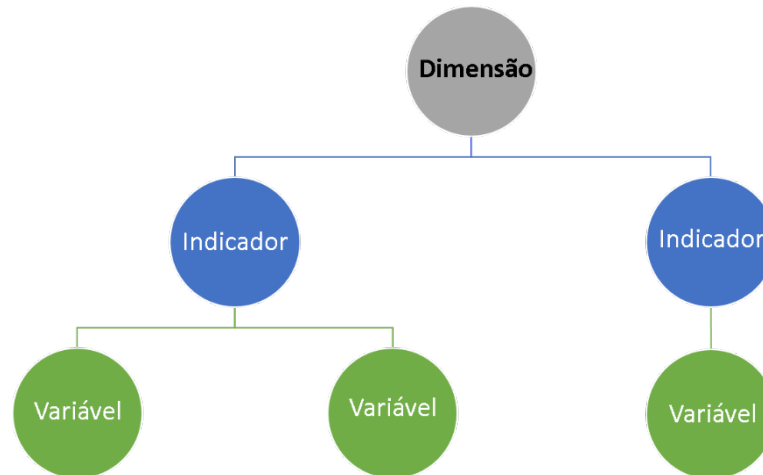


Figura 30 – Estrutura hierárquica de elementos do ISH.  
Fonte: Autoria Própria.

#### **8.4.1 Dimensão humana**

Para a dimensão humana, o ISH avalia a garantia de oferta hídrica superficial e subterrânea para toda a área do município de origem do dado. Dessa forma, o critério de análise passa a ser municipal e do ponto de vista apenas urbano, já que mais de 85% da população brasileira vive nesse cenário e o modo de utilizar a água perpassa pelo contexto citadino, ou seja, o uso dos recursos hídricos do ponto de vista da dimensão humana propõe quantificar a população exposta aos riscos do desabastecimento, bem como identificar as regiões críticas para essa condição (ANA, 2019).

Dessa forma, a composição de indicadores responsáveis pela dimensão humana são os Níveis de Abastecimento da População Urbana (NAPU) e o percentual de Cobertura da Rede de Abastecimento Urbano (CRAU). Para isto, utilizou-se os dados do Censo de 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que por meio dos setores censitários distribui a razão dos dados requeridos pela dimensão em ottobacias, de forma proporcional à ocorrência de interseções das áreas.

#### **8.4.2 Dimensão econômica**

A dimensão econômica tem por objetivo atribuir um valor econômico na utilização da água, para isto, ela busca por indicadores dos setores que fazem uso do recurso em detrimento do aspecto financeiro e seu nível de longevidade para subsidiar o empreendimento, seja ele

agrícola, pecuarista e/ou industrial (ANA, 2019). Além disso, é importante destacar que os setores de comércio e serviços são contemplados pela dimensão humana, já que a fonte de consumo vem da perspectiva urbana e não é possível dissociar os dois tipos de demanda.

Para análise da dimensão econômica na ottobacia, é considerada a ocorrência de atividades oriundas da pecuária, da agricultura e da indústria na sobreposição com a área da ottobacia. Assim, caso não haja sobreposição das áreas, os indicadores da dimensão econômica são considerados nulos na ottobacia analisada. Já em caso de ocorrência de agricultura e pecuária, a proporção de usos é bem maior para agricultura, sendo assim, prevalece o peso de 70% a 30% na relação entre as duas variáveis. Dessa forma, o grau de segurança hídrica da bacia é dado pelo menor valor entre os resultados encontrados pelos indicadores: a) Garantia de água para a agricultura e a pecuária e b) Garantia de água para uso industrial.

Como forma de mensurar a produção agrícola, utiliza-se o Atlas Irrigação, que é uma plataforma promovida pela ANA para investigar a quantidade de água que é usada pelo setor agrícola e suas principais produções em nível nacional, utilizando dados primários de levantamentos construídos ao longo dos últimos anos (ANA, 2017). Assim, para valorar a parte irrigada da produção, o método faz uma estimativa da taxa regional média e sua produção, dessa forma, dividem-se os dados de valor da produção anual (R\$) e a área cultivada (ha) por município e, assim, obtém-se o valor arrecadado em função da área produtiva (ANA, 2019).

Já a valoração da pecuária passa pela quantidade do rebanho, pois não existe valoração de produto com os animais ainda em fase de crescimento. Assim, o manual metodológico da aplicação do ISH (2019) utilizou o quantitativo do rebanho e multiplicou pelo valor de mercado da carne de referência, já que nesse caso representaria a potencial perda econômica em caso de escassez de água para consumo animal.

Contudo, a simples valoração dessas variáveis não determina um indicador, para isso é preciso calcular o Fator de Risco (FR) dessas variáveis e, então, criar um indicador adequado. Dessa forma, utiliza-se o balanço hídrico da ottobacia e o valor da produção, que resultam em um valor de risco para os setores de análise.

Concomitantemente, para a segurança hídrica na indústria, busca-se valorar o não atendimento das demandas industriais por água. Para isso, utiliza-se o Valor Agregado Bruto (VAB) dos produtos industriais para calcular o PIB Municipal, de acordo com o IBGE em 2016.

Semelhante à metodologia anterior, os dados vêm do Manual de Usos Consuntivos da ANA (2019) e distribui de forma proporcional a demanda de retirada da água para a indústria pelos limites das ottobacias em percentual de ocupação industrial da bacia. Por fim, é feita a soma entre os valores de risco das ottobacias que resultam em um risco municipal, contudo as ottobacias recebem o mesmo grau de segurança hídrica da indústria nivelado por município.

### **8.4.3 Dimensão ecossistêmica**

A dimensão ecossistêmica é a base natural de recursos hídricos que tem a função de manter a oferta de água para as outras dimensões. Essa base é feita pelos indicadores de: a) Quantidade de água adequada para usos naturais; b) Qualidade de água adequada para usos naturais; c) Segurança das barragens de rejeitos de mineração. Sendo assim, o grau de segurança hídrica é dado pela média simples dos indicadores não nulos analisados.

O indicador de quantidade de água para os usos naturais é calculado a partir da vazão natural dos cursos-d'água com permanência de 95% do trecho (Q95%) após a retirada dos usos consuntivos. Dessa forma, é feito o cálculo do percentual necessário do curso-d'água para abastecer os usos associados a ele.

Já no indicador de qualidade de água adequada para usos naturais, a análise é feita pelo parâmetro de DBO dos cursos-d'água. Para isto, utiliza-se o ATLAS Esgotos – Despoluição de bacias hidrográficas, como fonte de dados de referência (ANA, 2017). Dessa forma, é feito o cálculo de capacidade de diluição dos cursos-d'água pelas variáveis de vazão Q95% e DBO lançadas como efluentes.

Concomitantemente, a segurança das barragens de rejeitos de mineração aborda possíveis impactos associados ao seu conteúdo a partir de um eventual rompimento. Dessa forma, o indicador se propõe a avaliar tanto os riscos associados à sua estrutura, bem como seu dano potencial em caso de rompimento. Para isto, utiliza-se o banco de dados do Relatório de Segurança de Barragens (RSB) do ano de 2015 e o Plano Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) em 2016, em que foram feitas as distinções de finalidade e de estrutura de forma que contemplassem apenas as barragens de mineração.

Dessa forma, é feita a classificação de risco estrutural e de dano potencial descrita no Manual de Procedimentos Metodológicos do ISH, no qual o resultado pode variar apenas de 1 a 3, já

que não existem graus de segurança alta para o ecossistema em caso de colapso das estruturas de algum barramento.

#### **8.4.4 Dimensão de resiliência**

A dimensão de resiliência tem como princípio a segurança hídrica por meio da capacidade do ambiente de se recuperar ou de manter a estabilidade frente a eventos situacionais como secas e cheias. Assim, quanto maior é a susceptibilidade natural desses ambientes de se recuperar de eventos hidrológicos e climáticos extremos, maior é a sua segurança hídrica. Contudo, como forma de representar melhor as condições ambientais, é necessário distinguir estruturas antrópicas e naturais, como é o caso de reservatórios de água artificiais.

Dessa forma, os ambientes artificiais e subterrâneos são beneficiados por quatro indicadores que contemplam o grau de resiliência do ambiente em detrimento da sua condição natural ou não (reserva artificial, reserva natural, potencial de armazenamento subterrâneo e variabilidade da chuva). Assim, é feita a média simples dos três indicadores de origem natural a ponto de verificar a segurança hídrica do quadro natural do ambiente.

Vale ressaltar que os métodos de aplicação são descritos no Manual Metodológico do ISH feito pela ANA em 2019 para orientar junto ao PNSH, bem como as bases utilizadas para o processo e o mapa final de segurança hídrica para território nacional.

## **9 CONTRADIÇÕES ENTRE A PROTEÇÃO DO MANANCIAL SERRA AZUL E A DINÂMICA DOS USOS DA TERRA**

Desde a sua criação, em 1982, o reservatório Serra Azul passa a ser o exutório da bacia de contribuição do Ribeirão Serra Azul, catalisando as influências dos usos da terra e da água a montante. Dessa forma, as interações espaciais em toda a bacia, sejam elas causadas por alterações da terra ou em ambientes aquáticos, são refletidas no lago.

A APE Serra Azul, criada em 1980, buscou proteger o manancial a partir, na teoria, da compatibilização entre usos da terra e usos da água na bacia. A criação dos mananciais na bacia do Rio Paraopeba reduziu as pressões de abastecimento no Sistema Rio das Velhas (MAGALHÃES JR., 2016), abrindo caminho para a formação de um sistema interligado de abastecimento da RMBH.

Porém, a APE Serra Azul apresenta os mencionados desafios de efetivação de toda a categoria de proteção. A área compreende 256 km<sup>2</sup> e tem a sua jurisdição dividida entre o Instituto Estadual de Florestas (IEF) e a COPASA. Contudo, não há diretrizes legais e institucionais que delimitem o campo de atuação de ambos e, portanto, o foco no abastecimento público levou a COPASA a assumir a gestão da APE. De fato, a COPASA protege o reservatório e seu entorno, mas não tem competência legal para intervir na gestão territorial da bacia de contribuição. Segundo o Estatuto Social da empresa, as atividades realizadas envolvem: a) Abastecimento de água potável (captação, tratamento, distribuição); b) Esgotamento sanitário (coleta, transporte, disposição final); c) Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos (coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação dos lixos orgânicos e inorgânicos) (COPASA, 2020).

Dessa forma, a gestão territorial da APE Serra Azul é de competência do IEF, que deve administrar as unidades de conservação de atuação estadual, de modo a assegurar a consecução de seus objetivos e a consolidação do Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC) (IEF, 2022). Entretanto, o órgão estadual tem como referência a atuação em áreas contempladas pelo SNUC (IEF, 2022b) e, portanto, não contempla a APE, gerando um limbo legislativo e administrativo para a proteção de mananciais na RMBH.

Tipologia de UC	Descrição
Estação Ecológica	As Estações Ecológicas têm como objetivo a preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas. Pertencem ao grupo de unidades de conservação de proteção integral. São de posse e domínio públicos.
Reserva Biológica	As Reservas Biológicas pertencem à categoria de unidades de conservação de proteção integral. Têm como objetivo a preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais, excetuando-se as medidas de recuperação de seus ecossistemas alterados e as ações de manejo necessárias para recuperar e preservar o equilíbrio natural, a diversidade biológica e os processos ecológicos naturais.
Parque Estadual	O Parque Estadual tem como objetivo básico a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico. Pertence à categoria de unidades de conservação de proteção integral e é de posse e domínio públicos.
Monumento Natural	O Monumento Natural pertence ao grupo de unidades de conservação de proteção integral. Tem como objetivo básico preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica. Pode ser constituído por áreas públicas e particulares, desde que seja possível compatibilizar os objetivos da unidade com a utilização da terra e dos recursos naturais do local pelos proprietários.
Refúgio de Vida Silvestre	O Refúgio de Vida Silvestre tem como objetivo proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória.
Área de Proteção Ambiental – APA	As Áreas de Proteção Ambiental (APAs) pertencem ao grupo de unidades de conservação de uso sustentável. São áreas em geral extensas, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.
Floresta Estadual	A Floresta Estadual pertence ao grupo de unidades de conservação de uso sustentável, sendo de posse e domínio públicos. É uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas.
Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN	A Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) é uma unidade de conservação particular, criada por iniciativa do proprietário e reconhecida pelo poder público. Não há exigências quanto ao tamanho mínimo ou máximo de uma RPPN, já que a sua criação depende apenas do desejo do proprietário. A RPPN pode ser criada em áreas rurais ou urbanas.
Área de Relevante Interesse Ecológico	A Área de Relevante Interesse Ecológico é uma área em geral de pequena extensão, com pouca ou nenhuma ocupação humana, com características naturais extraordinárias ou que abriga exemplares raros da biota regional, e tem como objetivo manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível dessas áreas, de modo a compatibilizá-lo com os objetivos de conservação da natureza.
Reserva Extrativista	A Reserva Extrativista é uma área utilizada por populações extrativistas tradicionais, cuja subsistência baseia-se no extrativismo e, complementarmente, na agricultura de subsistência e na criação de animais de pequeno porte, e tem como objetivos básicos proteger os meios de vida e a cultura dessas populações, e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais da unidade.

**Tabela 15 – Tipologias de Unidades de Conservação contempladas pelo IEF-MG.**  
**Fonte: Adaptada de IEF, 2022; BRASIL, 2000.**

Portanto, cabe lembrar novamente que não há, no SNUC, Unidades de Conservação com a finalidade de proteção de mananciais de captação de água e, por consequência, o IEF não aborda a proteção de mananciais. Assim, a APE apresenta fragilidade frente as pressões da urbanização, da mineração e da agricultura.

Nesse panorama de insegurança e falta de definições normativas, outro problema enfrentado pela APE Serra Azul é a sobreposição territorial da APA Igarapé na sua porção leste. A APA é

uma unidade de conservação municipal para uso sustentável criada em 2003, pelo decreto nº 1.104, e tem aproximadamente 7.100 hectares na bacia de contribuição do reservatório Serra Azul (PREFEITURA DE IGARAPÉ, 2011). Contudo, os principais mecanismos de controle e gestão das UCs contempladas pelo SNUC, Plano de Manejo e Conselho Gestor não foram elaborados e tão pouco existem diretrizes concretas para o manejo da APA. Assim, apesar de o SNUC estipular o limite de cinco anos para a criação do Plano de Manejo (BRASIL, 2000), a APA Igarapé já possui dezenove anos em que amarga o limbo legislativo e de gestão semelhante à APE Serra Azul.

O Plano de Manejo de uma UC consiste em um documento com bases técnicas que tem por finalidade o planejamento geral da UC de referência, bem como estabelece seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais em consonância com a estrutura necessária para alcançar o seu objetivo de criação (BRASIL, 2000). Dessa forma, com a ausência desse mecanismo, a finalidade de criação da UC é posta em xeque, já que não existem critérios de gestão e proteção para a área.

Essa característica prejudica as ações de proteção da APA, tanto internas quanto ao longo do entorno da UC, já que o SNUC fomenta a gestão participativa por meio do Conselho Gestor. Os usuários do entorno precisam de relações estreitas com a UC a fim de compartilhar responsabilidades, aprimorar ações, integrar questões e mitigar os impactos causados pelos ocupantes do entorno, sejam eles moradores ou usuários da terra e da água. Dessa forma, a aceitação e a proteção compartilhada da UC se torna mais efetiva. Caso contrário, pode haver desconfiança da sociedade civil em relação a critérios adotados pela Secretaria de Meio Ambiente de Igarapé, em que se tem apenas placas de sinalização com informações sobre a APA (figura 31).





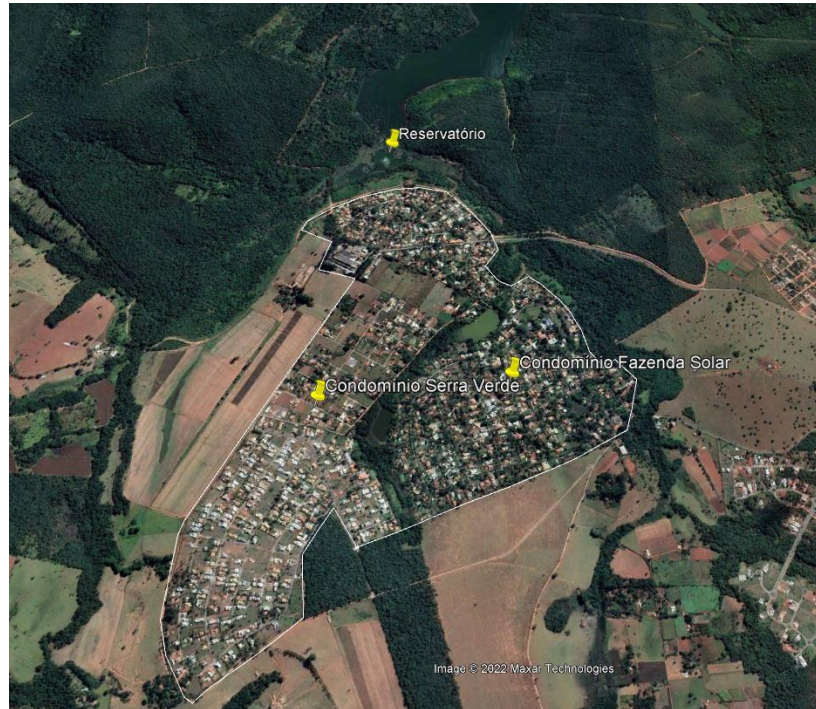
**Figura 31 – Placa de Sinalização nos limites da APA Igarapé.**  
**Fonte: Autoria Própria / Aquisição: 16 jan. 2022.**

A placa de sinalização não aborda tipos de usos proibidos, por exemplo, focando que é necessário entrar em contato com a Secretaria de Meio Ambiente Municipal ou denunciar os possíveis tipos de usos inadequados na UC. Porém, não há usos inadequados previstos na legislação municipal, sendo abordados de modo genérico e arbitrário.

Nesse sentido, o panorama de indefinições que permeiam o mosaico APA Igarapé-APE Serra Azul contribui com a insegurança hídrica da bacia do reservatório. Rodrigues (2005) afirma que, em casos de mosaicos de Unidades de Conservação e áreas de proteção ambiental, a gestão deve ser descentralizada e cooperativa. Contudo, a falta de critérios e ações para as duas tipologias presentes compromete a gestão conjunta, ameaçando o quadro de segurança hídrica regional.

Dessa forma, o que se evidencia é um total descaso na gestão territorial da APE Serra Azul e APA Igarapé. Além do que preconiza a topologia, a Lei Estadual nº 10.793 de 03 de julho de 1992 veda uma série de usos da terra em áreas de mananciais para abastecimento público e que estão amplamente presentes na bacia de contribuição do reservatório, como atividade extrativa mineral e vegetal, parcelamento do solo, loteamentos, conjuntos habitacionais e atividade agropecuária intensiva (MINAS GERAIS, 1992, art. 4º).

Dentro dos limites da APA Igarapé há marcante ocorrência desses usos, principalmente relacionados à ocupação urbana e agrícola. Na sub-bacia do Ribeirão do Diogo, há grandes condomínios horizontais (figura 32) e extensas faixas de produção agrícola (figura 33) destinadas à produção de hortaliças.



**Figura 32 – Condomínios horizontais com 245 ha na bacia do Ribeirão do Diogo, a 140 m do reservatório Serra Azul.**  
**Fonte: Image@2022 Maxar Technologies / Airbus extraída do Google Earth.**



**Figura 33 – Área destinada à produção de hortaliças na sub-bacia do Córrego Potreiro, afluente do Ribeirão do Diogo.**

**Fonte: Autoria Própria.**

As extrações minerais ou vegetais são expressamente vedadas na bacia do reservatório pela lei em epígrafe, mas, no entanto, a mineração se faz presente. É o caso da extração de filito e grafita na sub-bacia do córrego Jacu, município de Mateus Leme, o qual deságua diretamente no reservatório (figura 34). Também há uma extração bastante rudimentar de cascalho na mesma sub-bacia, sem nenhuma intervenção aparente de tratamento, prevenção de degradação ou plano de contenção.





**Figura 34 – Mineração de Grafite na sub-bacia do Córrego do Jacu, Mateus Leme – MG**  
**Fonte: ARAÚJO, 2022.**

Contudo, a maior atividade de extração mineral na bacia fica na Serra Azul e se trata de extração de minério de ferro feita pelas empresas Usiminas, ArcelorMittal e Minerita Minérios. A Mina Central (Usiminas) está localizada no município de Itatiaiuçu, mas o avanço da cava extrapolou o interflúvio da bacia e invadiu a vertente do reservatório Serra Azul. A estrutura faz parte de um complexo minerário de diversas empresas, que conta com diversas barragens de rejeito com potencial de impacto direto ao Córrego Garimpo, ao Córrego Alto Boa da Vista e ao Ribeirão do Diogo, além de impactos indiretos no Ribeirão e no Reservatório Serra Azul (figura 35).



**Figura 35 – Complexo minerário Serra Azul.**  
**Fonte: Adaptada de Image@2022 Maxar Technologies / Airbus extraída do Google Earth.**

A presença de usos da terra que impactam os usos da água gera quadros de incompatibilidade que comprometem a segurança hídrica da bacia e a gestão territorial. O manancial de Serra Azul não pode ser adequadamente protegido se a sua bacia de contribuição é marcada por usos com dinâmicas pouco aderentes ao controle da quantidade e da qualidade da água do reservatório.

## 10 DINÂMICA EVOLUTIVA DO USO E DA OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA DO RESERVATÓRIO DE SERRA AZUL

### 10.1 Estudos preliminares

Quando se pensa em variáveis qualitativas de análises espaciais, é difícil dissociar as pressões oriundas do objeto de estudo da classificação de uso e ocupação da terra. O contexto de utilização do espaço perpassa pela análise técnica em diferentes escalas, dessa forma, as técnicas de levantamento de uso e ocupação da terra não somente proporcionam o diagnóstico das relações espaciais da área de estudo, como também orienta as ações e o gerenciamento desta com dados palpáveis e de cunho técnico-científico.

Para os estudos de viabilização do Reservatório Serra Azul em 1977 foram feitos levantamentos aerofotogramétricos do uso e da ocupação da terra da bacia pela COPASA. Posteriormente, em 1989, esse estudo foi validado com outro levantamento aerofotogramétrico no intuito de caracterizar o uso em diferentes momentos da construção do reservatório, ou seja, os estudos caracterizaram a bacia no contexto anterior e após a operacionalização do reservatório. Contudo, o estudo apresenta várias incoerências espaciais e denota equívocos de enquadramento de classes na classificação do uso da terra.

De acordo com o estudo, em 1977 existiam importantes atividades antrópicas na bacia quando se pensa na viabilidade técnica do reservatório. Segundo o levantamento, 2.830 ha de terra eram destinados a áreas agrícolas, ou seja, cerca de 10% do total da bacia (cerca de 26.590 ha). Contudo, em 1989, as classes de pasto sujo e área cultivada foram unificadas como “agropecuária” e, portanto, a classe ficou com 13.906 ha, cerca de 53% da área total da bacia, a qual passava a ser de 26.267 ha. Mesmo se comparado com a classe de “Campo Limpo ou Pastagem”, o aumento é muito expressivo, já que com as classes mencionadas (Área Agrícola, Campo Limpo e Pastagem) a ocupação passaria para 19% da bacia, 34% menor que a medição 12 anos depois.

Em concomitância, o estudo de 1989 também uniu diversas classes de espectro urbano em uma classe chamada de “Outros Usos” (tabela 16), que apresentou 1.460 ha de extensão, cerca de 5,5% da área da bacia. Contudo, em 1977 a área destinada a essa classe (Áreas Urbanas ou Construídas) era de 110 ha, cerca de 0,4% da bacia e cerca de 93% menor que o estudo de 1989, ou seja, esses valores são incoerentes, visto que há um aumento expressivo do valor para o pouco intervalo de tempo de análise. Vale ressaltar que, em 2010, cerca de 20 anos depois, a

área destinada ao espectro urbano era de 1.446 ha, ou seja, menor que o registrado em 1989, mesmo com a criação de grandes condomínios no início do século XX.

Comparativos de estudos de uso da terra							
1977				1989			
Tipo de cobertura	Área Há	Área km <sup>2</sup>	% Área	Tipo de cobertura	Área Ha	Área km <sup>2</sup>	% Área
Campo Cerrado	7.000	70	26,3	Agropecuária (Pasto Sujo, Área Cultivada)	13.906	139.06	52.94
Cerrado	4.840	48,4	18,2	Cerrado (Cerrado, Campo Cerrado)	5.767	57.67	21.96
Solo Exposto	4.250	42,5	16,0				
Área Agrícola	2.830	28,3	10,6	Campo Rupestre	134	1.34	0.51
Campo Limpo ou pastagem	2.410	24,1	9,1	Floresta Nativa (Floresta Mesófila, Floresta de Galeria, Associação Floresta / Cerrado)	3.439	34.39	13.09
Mata Densa	1.670	16,7	6,3				
Reflorestamento	1.490	14,9	5,6	Floresta Plantada	434	4.34	1.65
Cerradão	1.400	14	5,3	Outros Usos (Granja, Chácara, Loteamento, Perímetro Urbano, Solo Exposto, Estradas)	1.460	14.6	5.56
Mata Rala	560	5,6	2,1				
Áreas Urbanas ou Construídas	110	1,1	0,4	Mineração	237	2.37	0.90
Açudes e Represas	30	0,3	0,1	Reservatório	890	8.9	3.39
<b>Total</b>	<b>26,590</b>	<b>265,9</b>	<b>100,0</b>	<b>Total</b>	<b>26,267</b>	<b>262.67</b>	<b>100.0</b>

Tabela 16 – Dinâmicas dos usos da terra no Reservatório de Serra Azul.

Fonte: Adaptada de SOUZA, 2003a.

O levantamento de atividades antrópicas para a criação do reservatório se mostrou ineficiente e equivocado em vários momentos. Áreas que deveriam ser consideradas apenas de vegetação rasteira foram consideradas como pasto sujo em detrimento da pecuária na bacia. De fato, essas áreas poderiam ser usadas para subsistência animal, sendo naturais ou não e compostas predominantemente de gramíneas e de outras plantas usadas para a alimentação bovina (SOUZA, 2003a). Dessa forma, a terra não era utilizada necessariamente para tal fim (subsistência animal), o que inviabiliza a consideração total do uso nas classes de atividade antrópica.

Ademais, os estudos de área para a evolução do uso da terra se mostraram incoerentes do ponto de vista territorial, pois foram registrados diferentes limites da bacia, além do agrupamento de classes. As ferramentas técnicas à época não forneceram subsídios técnicos para auxiliar nos cálculos e estes podem ter sido equivocados.

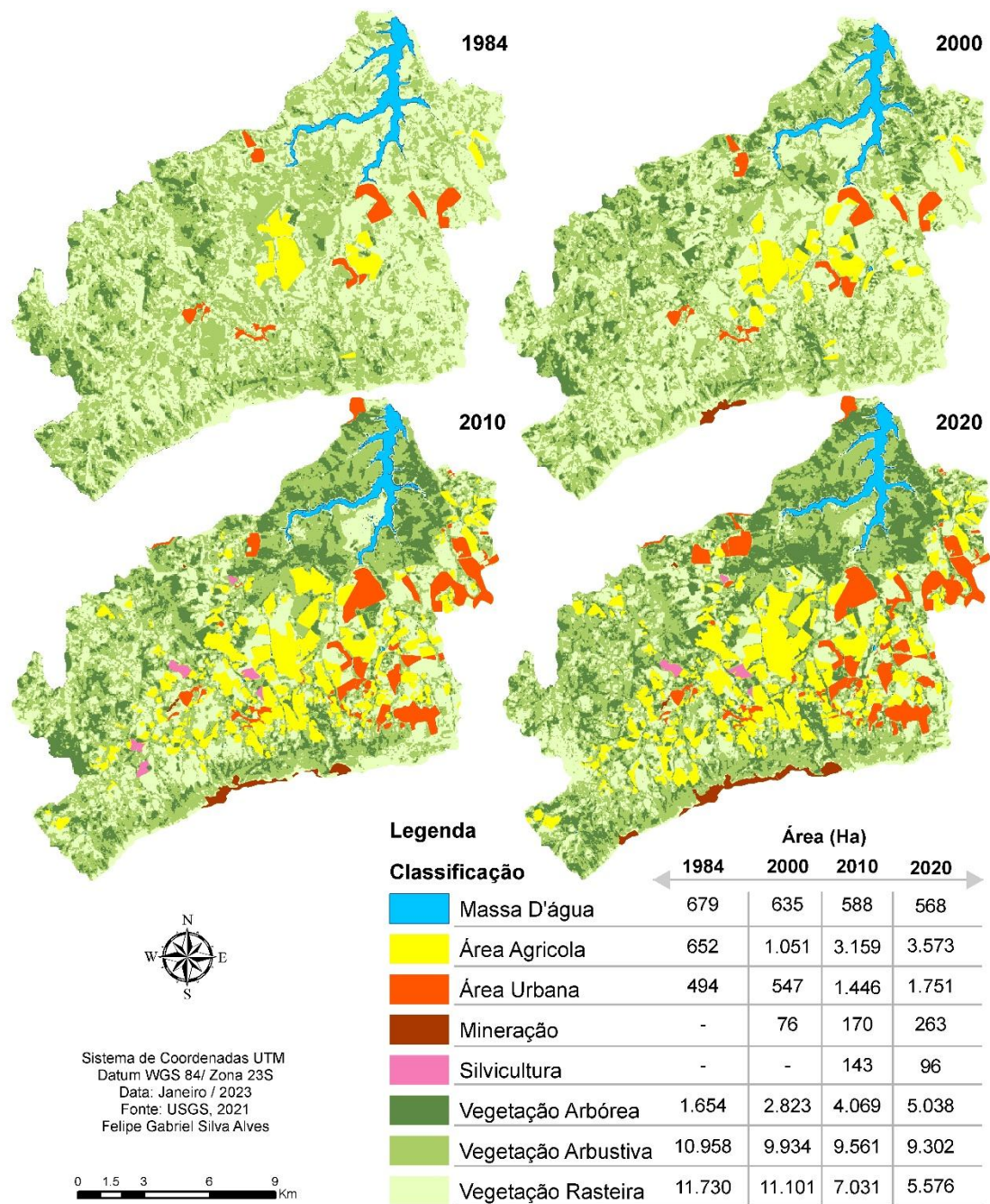
### **10.1.1 Resultados e processos da evolução do uso e da ocupação da terra na Bacia do Reservatório Serra Azul**

Como forma de verificar sob uma ótica científica e com auxílio tecnológico, foi analisada a evolução do uso da terra na bacia no período de 1984 a 2020 com dinâmica temporal prioritária de 10 em 10 anos. As classes estabelecidas para análise foram: i) Água; ii) Agricultura; iii) Área Urbana; iv) Mineração; v) Silvicultura; vi) Vegetação Arbórea; vii) Vegetação Arbustiva; viii) Vegetação Rasteira (figura 36).

Para melhor aderência entre os dados analisados, foram escolhidas imagens na estação seca que tenham o mesmo comportamento espectral, ou seja, todas as imagens foram escolhidas entre os meses de julho a setembro, que historicamente são os meses de menor índice pluviométrico na região. Além disso, esse período contribui também para a clareza da imagem, que por se tratar de um sensor óptico capta interferências atmosféricas, como nuvens e pluviosidade.

Assim, percebe-se que a interferência antrópica na bacia em 1984 era mínima, com focos de expansão urbana e agrícola. Os principais usos de área urbana se concentravam no município de Igarapé, na porção leste da bacia e onde hoje está localizada a APA Igarapé; já a norte da bacia, no município de Mateus Leme, havia loteamentos de sítios e chácaras com pouca área construída, principalmente pela proximidade com a MG-050 e a ligação direta com a RMBH. Acredita-se que ocorreu uma dinâmica similar no município de Igarapé, que tem a maior área urbana da bacia e proximidade com a BR-381 e com importantes cidades da RMBH, como a área industrial de Betim e Belo Horizonte.





**Figura 36 – Evolução do uso e da ocupação da Terra entre 1986 e 2020.**

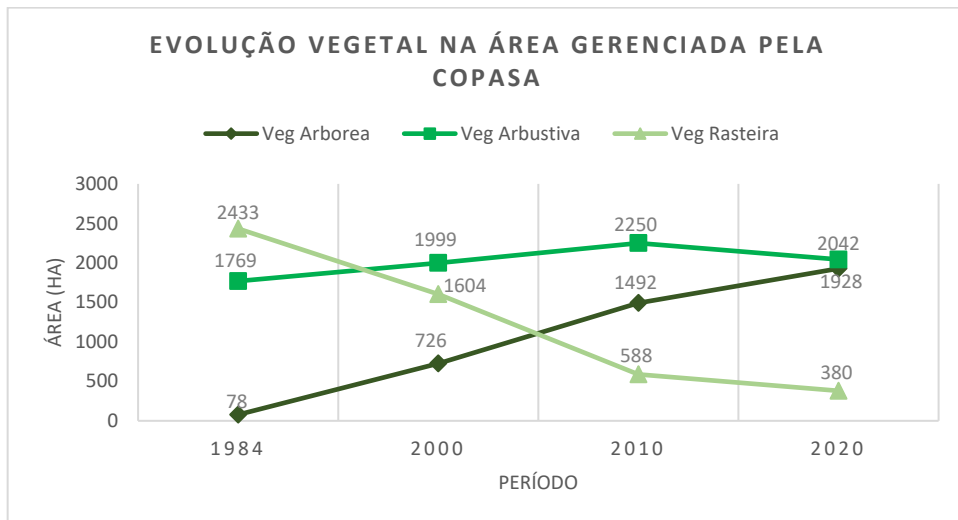
**Fonte: Autoria Própria.**

Nesse cenário, há uma evolução nítida dos usos antrópicos e, por consequência, o decréscimo de mata nativa e secundária entre os anos investigados. A distribuição espacial de Vegetação Arbórea na análise de 1984 tendia, em grande parte, para as porções noroeste, oeste e sul da bacia, zonas com altitudes mais elevadas. Já no ano 2000 é possível perceber o crescimento da vegetação de porte arbóreo no entorno do reservatório, formando uma espécie de cinturão em volta do lago. Esse processo foi resultante das ações da COPASA em prol da proteção do manancial. A área é gerenciada pela empresa e fiscalizada continuamente contra possíveis



“invasões”, sendo cercada com arame em alguns pontos e não podendo ser utilizada para lazer ou outros usos que não seja a própria captação de água no reservatório. Os anos de administração da COPASA resultaram em uma zona vegetal de amortecimento das pressões antrópicas na bacia. Esse panorama fica evidente nas análises de 2010 e 2020, que denotam uma grande evolução na cobertura vegetal da “área da COPASA”.

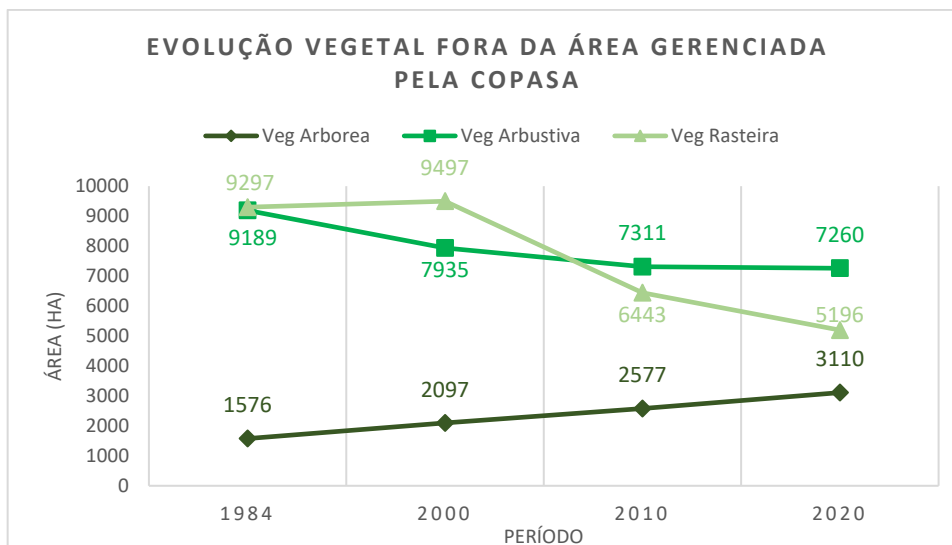
Desde o período inicial da análise, a vegetação de porte arbóreo na área gerenciada pela COPASA aumentou cerca de 96%, percentuais que passam para 13% de aumento para a vegetação de porte arbustivo e redução de 540,2% no caso da vegetação rasteira. Isso já era esperado em função da progressão vegetal para espécies de maior porte ou proteção destas na área gerenciada pela COPASA. Em 2020, a área apresentou apenas 380 ha de vegetação rasteira, contra 2.433 ha em 1984 (figura 37).



**Figura 37 – Evolução da cobertura vegetal da Área de Gerenciamento da COPASA – Porção Norte e Nordeste da Bacia de Contribuição do Reservatório Serra Azul.**  
Fonte: Autoria Própria.

Cabe destacar que a área referenciada como “área da COPASA” por moradores apresentou a maior evolução da cobertura vegetal em termos de porte em toda a bacia. Como já apontado, essa dinâmica ocorreu em função da fiscalização e do cercamento da zona do entorno do reservatório, visto que o panorama no restante da bacia caminha em sentido inverso.

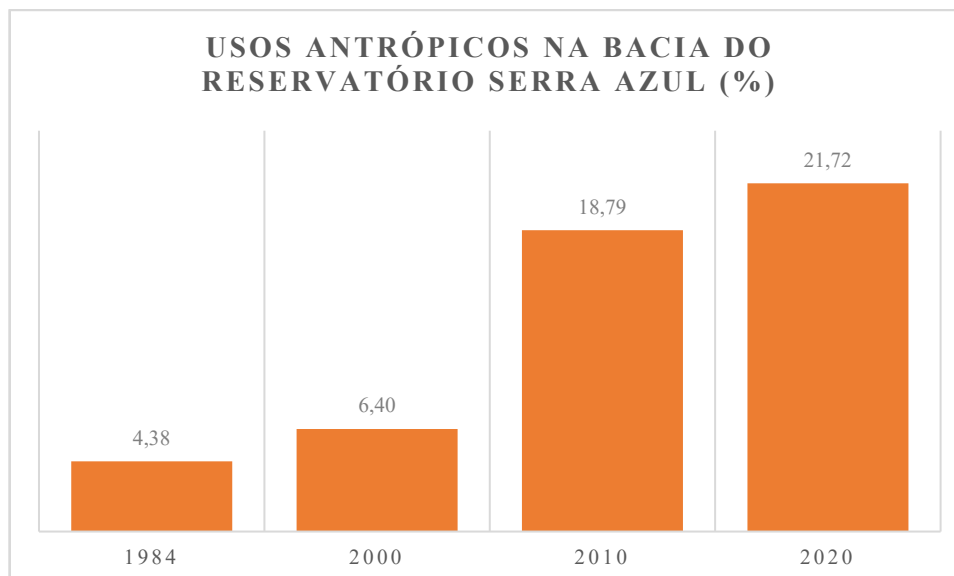
Apenas a vegetação arbórea apresentou melhora nos resultados no restante da bacia, com cerca de 49% de aumento. Em contrapartida, as classes de vegetação arbustiva e vegetação rasteira sofreram decréscimo de 21% e 44%, respectivamente (figura 38).



**Figura 38 – Evolução da cobertura vegetal fora da Área de Gerenciamento da COPASA.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Grande parte da redução das áreas da classe vegetais se deu pela constante ocupação da bacia por classes associadas a processos antrópicos, como mineração, agricultura e urbanização. Como esperado, até mesmo pela diretriz de gerenciamento da bacia como uma área de conservação para a manutenção do reservatório, a ocupação humana se voltou preferencialmente para áreas onde a cobertura vegetal é menos densa, oferecendo menos resistência para instalação de estruturas. As classes mais visadas para a ocupação foram as classes de vegetação rasteira e vegetação arbustiva, que deram lugar a mineração, área agrícola e área urbana.

Entre 1984 e 2020 houve diminuição de cerca de 4.426 ha de vegetação na bacia de contribuição do reservatório; concomitantemente houve um aumento de ocupação antrópica de 4.537 ha. Em 1984 os usos antrópicos representavam 4,38% da área, passando para 21,7 % em 2020 (figura 39). Nesse cenário, 111 ha que eram ocupados por áreas alagadas passaram a ser ocupados por usos antrópicos em 2020. Em geral, as atividades antrópicas passaram a ter papel fundamental na saúde ambiental e nos processos de gestão da bacia. Houve crescimento de 81,8% de áreas agrícolas, 71,8% de áreas urbanas, 100% de mineração e 100% de silvicultura.



**Figura 39 – Percentual de Ocupação Antrópica da Bacia.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Houve um aumento generalizado das classes antrópicas entre os anos 2000 e 2010, mas em números absolutos as classes não crescem na década entre 2010 e 2020, no entanto, quando se exclui as áreas protegidas pela COPASA, as classes antrópicas avançam na mesma ordem. Em 1984 e 2000 o percentual de uso antrópico nas áreas não protegidas era de 5% e 8%, respectivamente, já em 2010 e 2020 evoluem para 23% e 27%.

Em 2010 e 2020 a taxa de aumento da área agrícola na bacia fora da área protegida pela COPASA foi maior do que a de vegetação arbórea, visto que em 1984 e 2000 esses valores eram inferiores aos de vegetação arbórea.

Uso e ocupação da terra por classe fora da área gerenciada pela COPASA, na Bacia de Contribuição do Reservatório de Serra Azul (%)				
Classe	1984	2000	2010	2020
Água	0	0	0	0
Área Agrícola	3	5	15	17
Área Urbana	2	3	7	8
Mineração	0	0	1	1
Silvicultura	0	0	1	0
Vegetação Arbórea	7	10	12	15
Vegetação Arbustiva	43	37	34	34
Vegetação Rasteira	44	45	30	24

**Tabela 17 – Uso e ocupação da terra por classe fora da área gerenciada pela COPASA, na Bacia de Contribuição do Reservatório de Serra Azul (%).**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Portanto, os resultados da análise da dinâmica de uso e ocupação da terra denotam que, entre meados da década de 1980 e a década de 2000, a expansão das atividades antrópicas e a manutenção da cobertura vegetal da bacia mantiveram uma tendência de relativa estabilidade.

A partir dos anos 2000 as atividades antrópicas avançaram em detrimento da cobertura vegetal, sobretudo na primeira década do século XXI, aumentando as pressões no reservatório e influenciando diretamente o panorama da segurança hídrica da bacia e da RMBH.

### **10.1.2 Uso e ocupação da terra na APA Igarapé**

A análise do uso e da ocupação da terra na área da APA Igarapé fornece informações importantes sobre o quadro de pressões antrópicas no manancial, visto que essa unidade de conservação ainda não apresenta instrumentos de gestão que viabilizem a sua efetivação. A análise foi baseada nos limites fornecidos pela plataforma IDE-SISEMA, da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais – SEMAD.

A APA Igarapé concentra a maior presença de atividades antrópicas na bacia do reservatório de Serra Azul. A área da APA que sobrepõe a bacia do reservatório representa 6.412 ha, quase toda na bacia do Ribeirão do Diogo, município de Igarapé.

Em 1984, período anterior à criação da APA, as atividades antrópicas ocupavam cerca de 8,6% da área da futura Unidade de Conservação. Na virada do século, o percentual subiu para 11,9%, com destaque para a área agrícola que quase dobrou nesse período (tabela 18). Contudo, em 2010, com a APA já criada, e em 2020, a presença de atividades antrópicas mais do que dobrou, chegando a 28,4% e 30,2% da área, respectivamente.

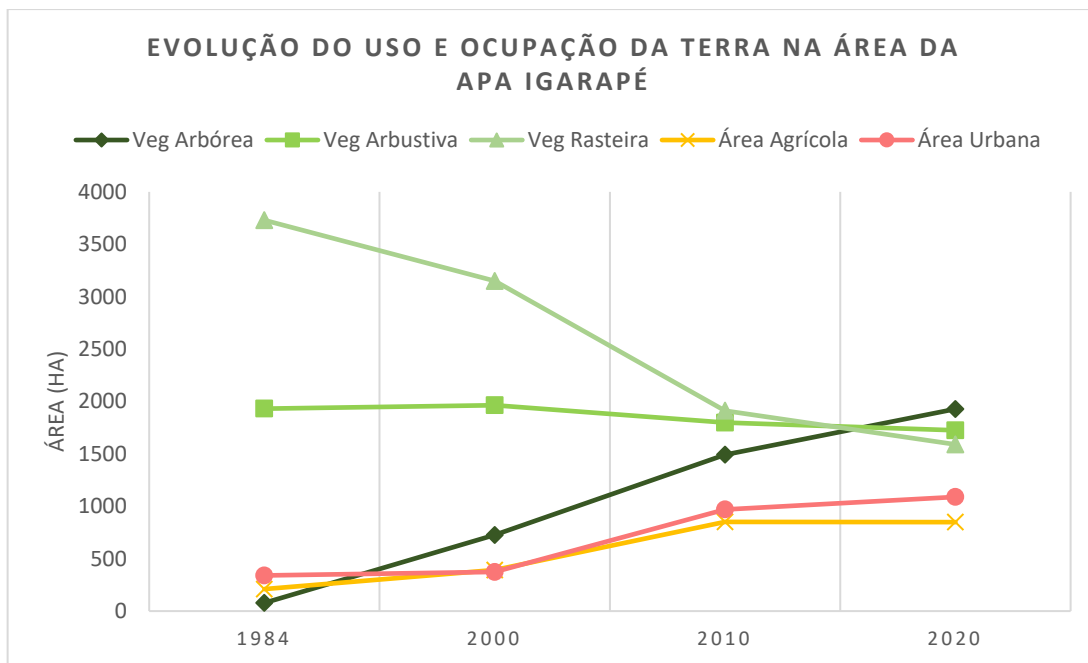
<b>Evolução uso e cobertura da terra na APA Igarapé (ha)</b>				
<b>Classe</b>	<b>1984</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>
<b>Água</b>	86	80	68	67
<b>Área Agrícola</b>	210	392	851	849
<b>Área Urbana</b>	340	373	970	1.089
<b>Vegetação Arbórea</b>	114	453	813	1.092
<b>Vegetação Arbustiva</b>	1.932	1.964	1.798	1.725
<b>Vegetação Rasteira</b>	3.730	3.150	1.912	1.590
<b>Total</b>	<b>6.412</b>	<b>6.412</b>	<b>6412</b>	<b>6412</b>

Tabela 18 – Evolução do Uso e Ocupação da Terra na Área da APA Igarapé.  
Fonte: Autoria Própria.

Levando-se em conta a evolução de mata nativa e secundária, houve avanço desproporcional das atividades antrópicas na área. Em 1984, a vegetação representava 90% da área onde seria a APA Igarapé; já em 2000 esse valor caiu para 86,2%. Até 2010, conforme visto, houve uma forte expansão de atividades antrópicas e a cobertura vegetal caiu para 70,5%. Já em 2020, a

vegetação ocupava 68,7% da área, tendo mostrado menor redução em relação ao decênio anterior.

Vale ressaltar que, no período analisado, houve o aumento de 978 ha de vegetação arbórea, ao contrário da vegetação arbustiva e rasteira, que apresentou decréscimo de área (figura 40).



**Figura 40 – Evolução do uso e da ocupação da terra na área da APA Igarapé.**

**Fonte: Autoria Própria.**

## 11 REFLEXOS DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA QUALIDADE DA ÁGUA

Como forma de entender a dinâmica da qualidade da água na bacia, foram feitas campanhas de coleta e análise durante um ano hidrológico. Foram estabelecidos como focos o Ribeirão Serra Azul e afluentes com relevância em termos de diversidade de usos e cobertura da terra na bacia.

Os pontos de coleta foram divididos em seis pontos na bacia do Ribeirão do Diogo, contemplando os córregos Curralinho (1), Potreiro (1), Estiva (2) e o Ribeirão do Diogo (2). Já no Ribeirão Serra Azul também foram distribuídos seis pontos de coleta, contemplando os córregos Jacu (2) Garimpo (1) e o próprio Ribeirão Serra Azul (3). Das quatro campanhas de coleta, duas foram feitas no período chuvoso e duas no período seco. Os resultados do período chuvoso, como esperado, mostram maior poluição das águas (tabela 19).

		Pontos de coleta												Conama 430/11 Classe I	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Parâmetro	pH	1	6,68	6,96	6,80	6,84	7,06	6,80	6,93	6,28	6,50	-	-	-	6,0 a 9,0
		2	6,66	6,63	6,39	6,29	6,06	6,61	6,16	5,70	5,90	-	-	-	
		3	5,30	6,02	5,97	5,45	6,65	6,70	5,13	5,09	6,80	6,60	6,76	6,61	
		4	6,37	6,90	6,83	6,66	7,25	6,98	6,51	5,98	6,92	7,13	6,91	6,61	
	Turbidez	1	4,10	9,30	4,90	4,10	6,90	13,00	5,70	16,40	30,70	-	-	-	≤ 40
		2	66,53	10,26	12,54	12,52	31,78	142,00	21,57	46,65	10,49	-	-	-	
		3	38,79	30,33	130,67	123,67	49,20	62,67	61,50	19,65	53,23	220,00	164,67	63,60	
		4	5,85	12,49	4,52	6,30	11,10	9,85	13,53	9,56	9,66	9,52	15,01	6,55	
	STD	1	17,31	23,64	17,38	15,86	19,97	54,99	11,07	90,80	24,02	-	-	-	500
		2	19,70	23,10	16,87	17,00	22,96	42,00	11,60	10,01	20,20	-	-	-	
		3	18,22	37,19	19,83	19,67	16,06	12,26	21,43	15,85	14,50	16,77	17,12	18,14	
		4	18,22	37,19	19,83	19,67	16,06	12,26	21,43	15,85	14,50	16,77	17,12	18,14	
	OD	1	6,40	7,60	8,20	7,60	9,20	6,20	8,40	5,90	9,40	-	-	-	≥ 6,0
		2	5,11	7,04	8,07	7,35	2,45	6,13	7,45	3,27	1,63	-	-	-	
		3	5,11	7,04	8,37	7,15	5,62	7,04	4,59	6,64	4,70	6,74	7,04	7,45	
		4	6,02	8,27	-	8,37	8,37	7,96	8,27	7,25	7,25	8,17	7,04	7,35	
	DBO	1	0,90	0,80	0,00	0,00	0,10	0,10	0,40	1,10	8,70	-	-	-	< 3,0
		2	0,31	1,02	1,43	1,12	2,35	3,57	1,33	0,61	1,53	-	-	-	
		3	2,14	1,02	2,45	2,45	5,41	1,53	3,68	2,09	2,35	1,53	1,84	1,12	
		4	0,92	1,84	-	2,25	1,94	0,92	3,27	2,35	1,33	0,82	7,04	0,61	
Nitrato	1	1,70	2,19	2,66	1,99	1,87	2,83	1,99	4,44	8,70	-	-	-	10	
	2	23,49	1,75	2,19	1,99	5,92	2,57	2,74	10,88	3,22	-	-	-		
	3	1,87	3,54	1,99	2,92	1,31	1,64	1,69	10,88	3,22	2,05	1,64	3,66		
	4	1,93	2,83	3,54	4,29	3,12	2,92	2,65	3,32	2,74	5,55	8,69	3,66		

Fósforo	1	0,08	0,04	0,03	0,03	0,07	0,01	0,04	0,06	0,34	-	-	-	0,025 (Len) -0,1 (Lot)
	2	0,04	0,01	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	-	-	-	
	3	0,04	0,06	0,03	0,16	0,37	0,05	0,04	0,21	0,07	0,07	0,22	0,06	
	4	0,001	0,010	0,001	0,001	0,001	0,001	0,008	0,008	0,010	0,001	0,023	0,001	

Tabela 19 – Resultados de parâmetros de qualidade da água da bacia do Reservatório de Serra Azul.

Fonte: Autoria Própria.

Nesse sentido, o parâmetro de Fósforo registrou importantes inconformidades em relação às normas da resolução CONAMA 430/11 e a DN COPAM/CERH-MG 01. Das 42 amostras coletadas, 10 (23%) ultrapassaram os limites estabelecidos para águas de classe I. Na primeira campanha, em junho de 2021, cerca de 33% das amostras foram reprovadas, na segunda, o valor cai para 22% e na terceira o valor sobe para 41,66%. Vale destacar que a primeira e a quarta campanha são referentes ao período de seca e a segunda e terceira ao período chuvoso, esta última coincidindo com o mês de índices de precipitação mais elevados.

Os parâmetros pH e Turbidez também apresentaram inconformidades significativas: 10 e 12 das 42 amostras, respectivamente. No caso do pH, os resultados indicaram que o período chuvoso contribui para a acidez da água; nas campanhas do período seco foram coletadas 21 amostras e apenas uma delas, a do Ribeirão do Diogo, não ficou dentro dos padrões estabelecidos. Já no período chuvoso, sete das 21 amostras estavam fora dos padrões estabelecidos (33,3%). Vale destacar que o Ribeirão do Diogo teve resultados insatisfatórios tanto no período seco quanto no chuvoso, sendo a bacia com um dos maiores percentuais de ocupação por área agrícola.

Já o parâmetro Turbidez mostrou, nas campanhas de outubro/2021 e janeiro/2022 (período chuvoso), que os resultados fugiram do padrão estabelecido. Das nove amostras coletadas em outubro, três foram inconformes (33%). Já na campanha de janeiro, das doze amostras, nove ficaram fora do padrão estabelecido (75%).

De forma coerente, os parâmetros de OD e DBO também saíram dos limites estabelecidos, sendo o OD com uma amostra reprovada na campanha de junho/2021, quatro amostras reprovadas na segunda e quatro amostras reprovadas na terceira, representando 11%, 44% e 33% das amostras, respectivamente. Já no caso da DBO, as quatro campanhas tiveram resultados negativos, sendo três nas campanhas secas e três nas campanhas chuvosas.

O Nitrato foi o parâmetro que teve o menor número de amostras inconformes, todos no período chuvoso, o que vai ao encontro dos resultados dos parâmetros anteriores.

### 11.1 A relação entre os usos antrópicos e a qualidade da água

Como forma de entender as relações entre os usos da terra e da água na bacia do Reservatório Serra Azul, foi feito um estudo estatístico dos dados laboratoriais coletados em campo nas campanhas mencionadas anteriormente em relação à presença de atividades antrópicas na bacia. Relembrando o que foi dito nos procedimentos metodológicos, foi usado o método de coeficiente de Pearson (PEARSON, 1982) que se utiliza de duas variáveis para determinar a relação entre elas, nesse caso, foram escolhidas as variáveis de percentual de usos antrópicos na sub-bacia a montante do ponto de coleta em detrimento dos valores registrados para cada parâmetro nas análises laboratoriais e nos diferentes períodos de coleta (seco e chuvoso).

Dessa forma, foram agrupados os conjuntos de dados em períodos seco e chuvoso, em que o primeiro se refere às campanhas de junho/2021 e julho/2022 e o segundo às campanhas de outubro/2021 e janeiro/2022. Concomitantemente, foi feita a análise espacial das classes de uso e ocupação da terra a montante dos pontos de coleta nas sub-bacias, da qual foi possível retirar os percentuais de usos antrópicos em detrimento do total de classes presentes. Assim, o coeficiente de Pearson sinaliza com o R (coeficiente de correlação) entre as variáveis no intervalo entre  $-1$  e  $1$ , em que  $-1$  indica uma correlação muito forte, porém negativa, e  $1$  indica uma correlação muito forte, porém positiva.

Em dados gerais, os valores de R ficaram entre muito fraco e moderado, contudo, esses valores são inerentes a cada parâmetro de análise (tabela 20). É necessário salientar que não necessariamente os valores que têm R alto e positivo ou R alto e negativo significam algo ruim na sub-bacia, até porque os critérios de cada parâmetro variam de acordo com a resolução CONAMA 430/11.

Parâmetro	Coeficiente de correlação (R)	
	Estação seca	Estação chuvosa
pH	0,412	0,4942
Turbidez	0,2037	0,260
STD	0,054	0,408
OD	0,1371	-0,412
DBO	0,152	0,014
Nitrato	0,1431	0,037
Fósforo	0,1109	0,05

Tabela 20 – Coeficiente de correlação de Pearson para a Bacia do Reservatório Serra Azul.  
Fonte: Autoria Própria.

No caso do parâmetro de pH e a correlação entre os usos antrópicos na bacia, os dados revelaram uma correspondência moderada e positiva ao longo de toda a bacia. Assim,



entende-se que quanto maior é a presença de atividades antrópicas a montante do ponto de coleta, maior tende a ser o valor de pH para a sub-bacia. Contudo, quando se considera casos específicos para cada sub-bacia, percebe-se que o modelo verifica o quadro geral de dados e desconsidera as particularidades de cada bacia, como é o caso das sub-bacias dos córregos Potreiro (ponto de coleta 1) e Estiva (pontos de coleta 3 e 4), que possuem grande presença de atividades antrópicas a montante dos pontos de coleta, mas que possuem valores de pH abaixo do mínimo permitido.

Em contrapartida, os parâmetros de STD e OD revelaram correlações importantes para cada período de análise, sendo que todos eles aumentaram de acordo com o aumento dos níveis de precipitação. Assim, o STD no período seco passa de uma correlação muito fraca entre os usos antrópicos e o parâmetro, para uma correlação moderada no período chuvoso, ou seja, acredita-se que com o aumento da precipitação e o carreamento de sedimentos para os cursos-d'água há também o aumento de partículas sólidas dissolvidas no corpo hídrico.

Não obstante, o parâmetro de OD também revela um panorama parecido, em que passa de uma correlação muito fraca no período seco para uma correlação moderada no período chuvoso. Contudo, essa correlação é negativa, pois ela indica que quanto maior é a presença de classes de usos antrópicos, menores são os valores registrados de OD no período de referência, ou seja, no período seco a classe de usos antrópicos tem pouca ou nenhuma correlação com o OD do curso-d'água. Já em período chuvoso essa correlação aumenta e as classes de usos antrópicos tendem a influenciar de forma negativa na concentração de OD do curso-d'água. Prova disto é que das 42 análises feitas em laboratório do parâmetro de OD, nove apresentaram resultados abaixo do permitido e, destas, oito foram em período chuvoso, logo existe uma relação direta entre o carreamento de sedimento no período chuvoso e o OD da bacia.

Já os parâmetros DBO, Nitrato e Fósforo indicaram redução da correlação entre o período chuvoso e o seco, sendo assim, registraram em ambos correlação muito baixa e, assim, fica claro que em períodos secos a concentração desses parâmetros é mais significativa, pois o volume de água para dissolver o Nitrato e o Fósforo é menor, logo existe maior concentração nos cursos-d'água. Além disso, esse valor também pode indicar que existe um foco de poluição pontual desses elementos, já que no contexto geral das classes antrópicas estas não são diretamente correlacionadas com os valores dos parâmetros analisados.

No caso da Turbidez o resultado obtido estava no mesmo patamar, pois a correlação entre os dados se manteve fraca nos dois períodos de coleta, sendo assim, pelo coeficiente de correlação

de Pearson, não foi possível ter uma indicação direta entre a turbidez e a presença das classes de usos antrópicos.

Entretanto, é necessário salientar que a correlação de Pearson é um modelo que tem como prerrogativa a análise geral de duas variáveis de dados, portanto, ele desconsidera em grande parte a relação espacial entre esses dados e apenas demonstra em um coeficiente qual é a relação geral entre as duas variáveis, sendo, nesse caso, necessária a avaliação espacial individual dos parâmetros.

## **11.2 Resultados por sub-bacias do reservatório**

Embora os resultados dos parâmetros analisados possam indicar um estado geral da qualidade da água na bacia do reservatório, quando verticalizados nas sub-bacias surgem agrupamentos espaciais que contribuem para a identificação de problemas de forma visual e setorizada. Neste tópico, serão trabalhados os resultados das análises da qualidade de água em cada sub-bacia e suas relações com os usos da terra.

### **11.2.1 Sub-bacia do Córrego Curralinho (ponto de coleta 2)**

A sub-bacia do Córrego Curralinho é tributária direta do reservatório e, também, uma sub-bacia do Ribeirão do Diogo. Entretanto, essa configuração se perdeu em função do enchimento do reservatório e hoje ambas estão desconectadas. A área total da bacia do Curralinho se insere no município de Igarapé, próximo à rodovia BR-381, e quase sua totalidade está inserida na APA Igarapé.

A proximidade da rodovia e a facilidade de escoamento de produtos, conforme dito anteriormente, favoreceu o maior adensamento urbano e das áreas agrícolas. Dessa forma, a bacia, que conta com 1.983 ha, possuía, em 2020, cerca de 401 ha de Área Urbana e 260 ha de Área Agrícola, ou seja, cerca de 33% da bacia era ocupada por usos antrópicos (figura 41). Além disso, deve-se destacar que algumas empresas de transporte estão situadas na bacia, como a SADA Transportes, com um pátio de cerca de 54 ha.

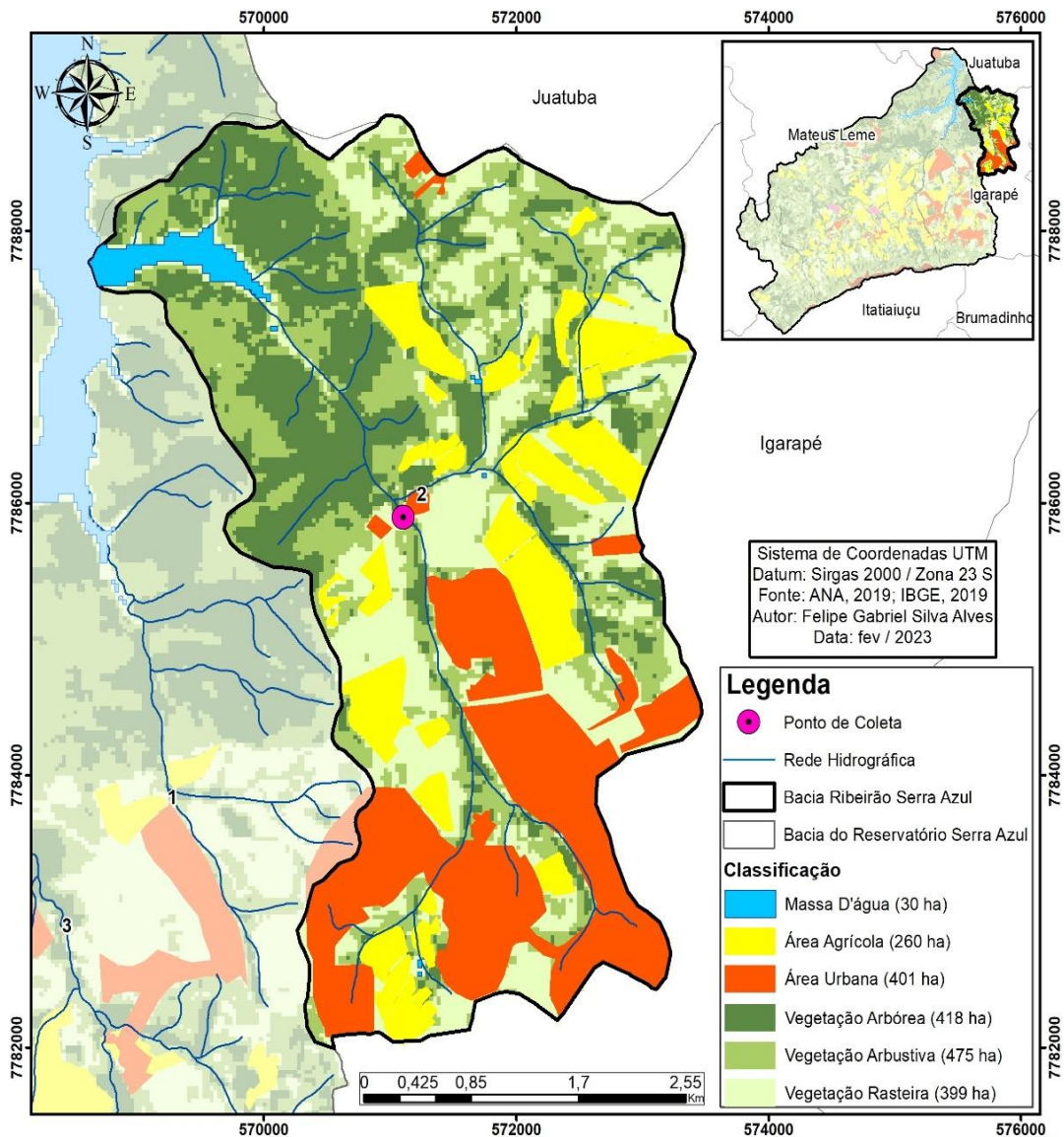


Figura 41 – Uso e ocupação da terra na Bacia do Córrego Curralinho.

Fonte: Autoria Própria.

Em diversos pontos do Córrego Curralinho há entulhos e restos de materiais oriundos das atividades mencionadas anteriormente (figura 42). Apesar disso, é necessário destacar que nenhum parâmetro analisado no ponto de coleta situado na bacia apresentou inconformidade.



**Figura 42 – Materiais descartados no Córrego Curralinho.  
Fonte: Autoria Própria.**

### **11.2.2 Sub-bacia do Córrego Potreiro (ponto de coleta 1)**

A sub-bacia do Córrego Potreiro é afluente direto da margem direita do reservatório. Toda a extensão da sub-bacia está inserida na APA Igarapé, mas grande parte tem usos antrópicos.

Logo, na cabeceira do Córrego Potreiro há áreas de plantio extensas que influenciam diretamente no fornecimento de sedimentos ao curso-d'água e, por consequência, ao reservatório. Próximo ao interflúvio a oeste da bacia, ocorre densa ocupação urbana no bairro Pousada Del Rei, e na vertente a leste ocorrem os bairros Santa Rosa e Ipanema, que fazem limite com áreas de plantio de hortaliças (figura 43).





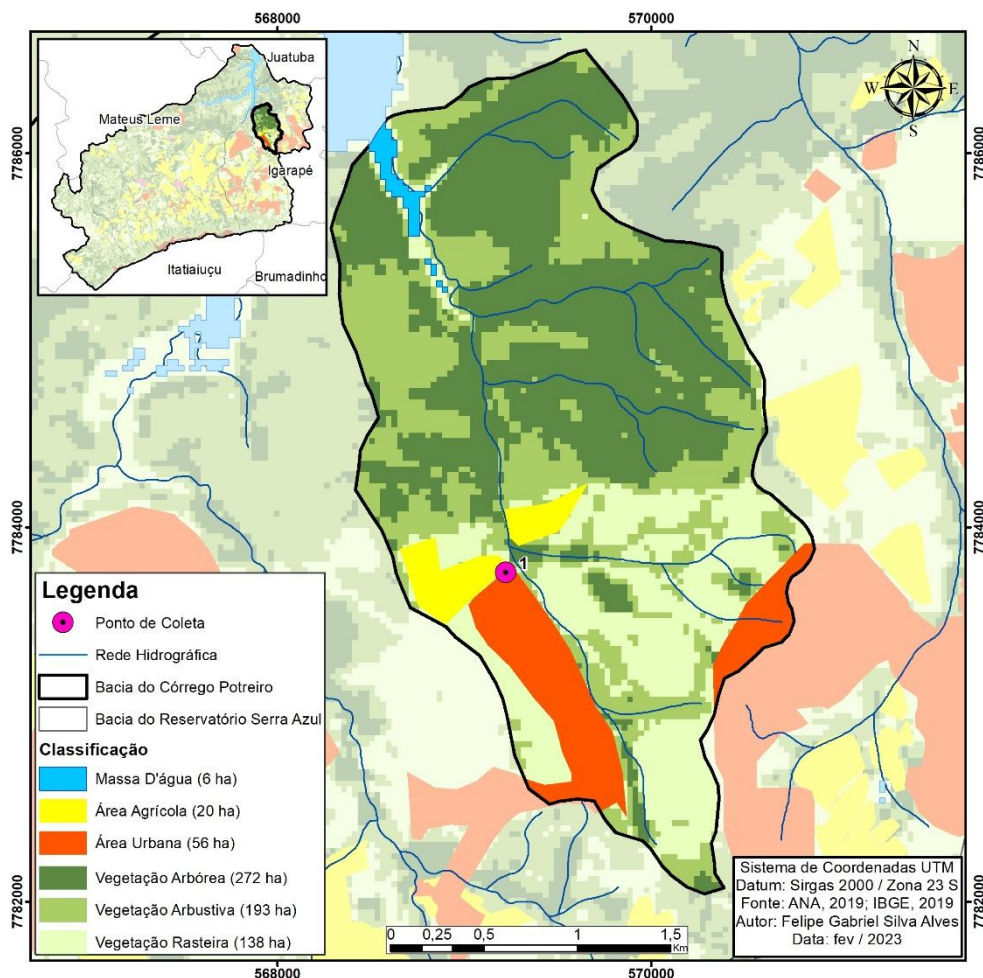
Figura 43 – Imagem da bacia do Córrego Potreiro.

Fonte: Image@2022 Maxar Technologies / Airbus extraída do Google Earth.

A área da bacia possui 686 ha de extensão, sendo 20 ha destinados ao uso agrícola, 56 ha ao uso urbano e 6 ha ao represamento de água do curso-d'água principal. Dessa forma, a presença de atividades antrópicas corresponde a 11% da área total da sub-bacia, desconsiderando o barramento mencionado como atividade antrópica.

Por outro lado, a bacia conta com 138 ha de vegetação rasteira, 193 ha de vegetação arbustiva e 272 ha de vegetação arbórea, o que representa cerca de 88% da bacia. Contudo, é necessário salientar que esse panorama se sustenta devido à área gerenciada pela COPASA, que cercou parte da bacia, havendo uma abrupta ruptura desse cenário fora da referida área. Em certos locais há o contato quase direto de plantações de hortaliças e de vegetação de porte arbóreo denso, ou de vegetação rasteira de um lado e de vegetação de porte arbóreo do outro.

A cerca da COPASA consegue frear o ímpeto da expansão antrópica na bacia, protegendo 408 ha (59,5% da área da bacia). A área protegida possui 259 ha, cerca de 95% da classe de vegetação arbórea na sub-bacia, 135 ha (70% do total da sub-bacia) da classe de vegetação arbustiva e apenas 8 ha (5,8% do total da sub-bacia) da classe de vegetação rasteira (figura 44). Esta última, como dito anteriormente, é a principal classe de cobertura da terra para a ocupação urbana e agrícola, dada a facilidade de instalação de estruturas.



**Figura 44 – Uso e ocupação da terra na Sub-bacia do Córrego Potreiro.**

**Fonte: Autoria Própria.**

Nesse cenário, os reflexos dos usos da terra na qualidade da água foram sentidos em todo o período de análise. Na campanha de junho/2021 (período seco), apenas o Fósforo esteve inconforme: 0,08 mg/L (máximo permitido de 0,025 mg/L). Na campanha de outubro/2022 os resultados foram mais alarmantes; período chuvoso as inconformidades ficaram a cargo dos parâmetros Fósforo, Nitrato, Oxigênio Dissolvido e Turbidez. Tanto a Turbidez quanto o Nitrato se destacam, nesse sentido, e parecem refletir os usos agrícolas na bacia (WARD *et al.*, 2018).

Já na campanha de janeiro/2022, os parâmetros pH, OD e Fósforo apresentaram inconformidades, enquanto na campanha de julho/2022 apenas o pH ultrapassou o limite máximo estabelecido. Cabe lembrar que, normalmente, as águas fluviais tendem a apresentar maiores concentrações de poluentes no período chuvoso. A bacia possui extensas áreas ocupadas por usos agrícolas e o manejo da terra é decisivo para a quantidade de sedimentos e poluentes carregados pelas chuvas para os cursos-d'água.

### **11.2.3 Sub-bacia do Córrego Estiva (pontos de coleta 3 e 4)**

O Córrego Estiva é afluente do Ribeirão do Diogo, que, por sua vez, é afluente direto do Reservatório Serra Azul. A sua sub-bacia possui área de 3.438 ha e contempla os córregos Mosquito, Vira-Mão e Batatal, além de outros pequenos tributários. As cabeceiras se situam na Serra Azul e as águas percorrem cerca de 15 km até a foz, no Ribeirão do Diogo.

Essa bacia também está contemplada em sua totalidade pela APA Igarapé, mas possui muitas áreas ocupadas por zonas urbanas e agrícolas desde as cabeceiras até a sua foz. Ao contrário das bacias anteriores, o percentual de área da bacia cercada pela COPASA é pequeno e não consegue frear o avanço das atividades antrópicas no restante da bacia.

Grandes condomínios ocorrem próximo ao reservatório, como Serra Verde, Fazenda Solar e Gran Ville Igarapé, os quais abrangem cerca de 278 ha. Entre as alterações ambientais promovidas por esses condomínios, há barramentos em afluentes do Córrego Estiva para fins de paisagismo, como as lagoas no Condomínio Serra Verde (figura 45).



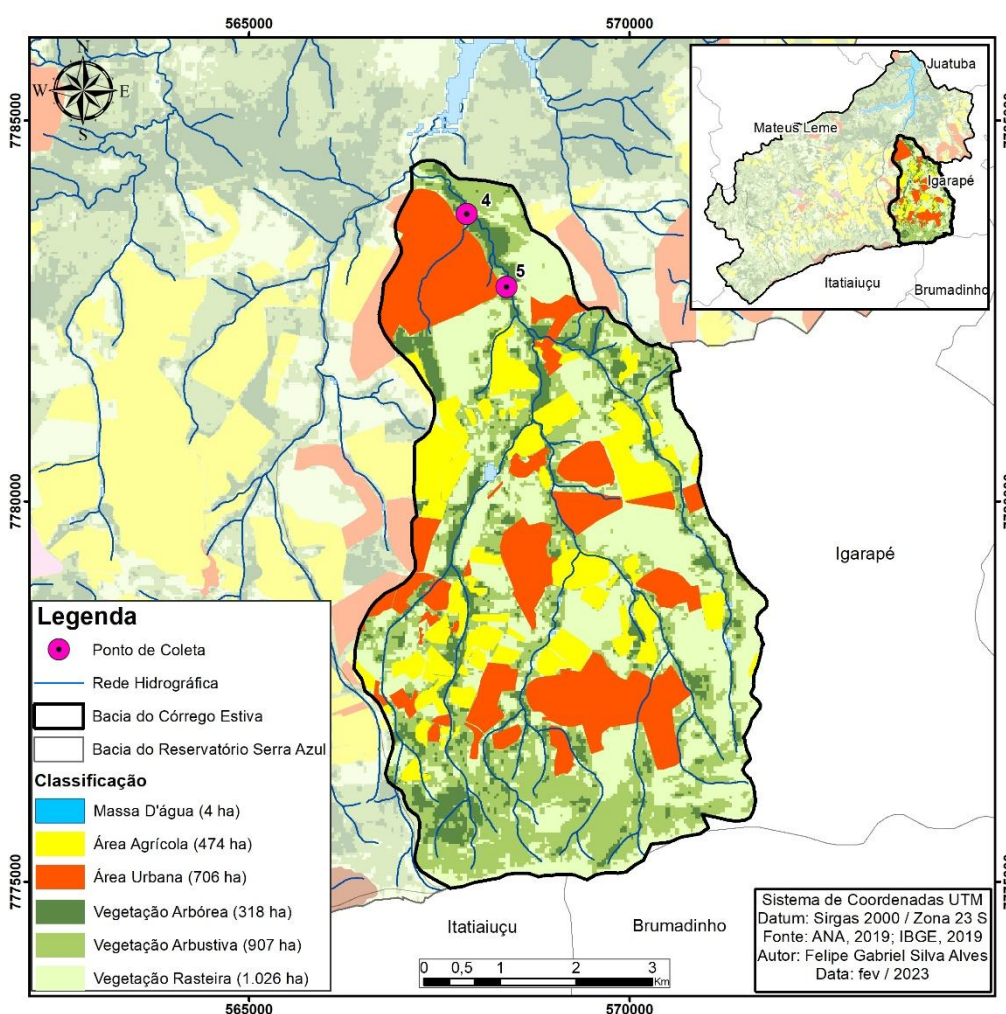
**Figura 45 – Lago artificial no Condomínio Serra Verde em Igarapé – MG.  
Fonte: Autoria Própria.**

Empresas também estão instaladas na bacia, como a caldeiraria Fornac Fundição de Aços Especiais. A área da empresa está dividida entre a bacia do Córrego Estiva e a bacia do Ribeirão do Diogo, totalizando cerca de 3,95 ha e distando cerca de 442 m do Reservatório Serra Azul.



Ao todo há 1.180 ha de áreas urbana e agrícola na bacia, cerca de 34,32% do total. Em valores absolutos, essa é a sub-bacia com maior presença de área urbana (706 ha), cerca de 40% do total da classe na bacia de contribuição do reservatório. Já a classe de área agrícola conta com 474 ha de extensão, cerca de 13,8% da sub-bacia e 13,2% da classe na bacia de contribuição do reservatório.

O restante da bacia é ocupado pelos lagos artificiais citados e cursos-d'água naturais (4 ha), Vegetação Arbórea (319 ha), Vegetação Arbustiva (908 ha) e Vegetação Rasteira (1.027 ha). Vale destacar que na área cercada pela COPASA na bacia, há a presença de 10 ha de Vegetação Arbórea, 44 ha de Vegetação Arbustiva e 13 ha de Vegetação Rasteira (figura 46).



**Figura 46 – Uso e ocupação da terra na sub-bacia do Córrego Estiva.**

Fonte: Autoria Própria.

Em termos dos resultados das análises de qualidade da água, foram identificadas inconformidades nos parâmetros Fósforo, pH e Turbidez. Contudo, há de se destacar a importante variação dos parâmetros entre as coletas, sinalizando a dinâmica das causas antrópicas. Os pontos de coleta estão situados no Córrego Estiva, sendo o ponto 3 a montante



dos condomínios e o ponto 4 a jusante, com uma distância de cerca de 1,1 km entre ambos. Nesse trecho, há afluição apenas dos cursos-d'água da margem esquerda, os quais possuem as lagoas artificiais no Condomínio Serra Verde.

Nesse sentido, foram registrados valores inconformes nas coletas da campanha de janeiro de 2022. Como dito anteriormente, a estação chuvosa tende a deixar as águas fluviais da bacia mais ácidas. A montante dos condomínios foi registrado pH de 5,97 mg/L e a jusante foi registrado o pH de 5,45 mg/L, sendo o limite mínimo permitido de 6,0 mg/L. As intervenções nos cursos-d'água realizadas nos condomínios podem ter relação com os baixos valores de pH, visto que mudam a dinâmica do curso-d'água natural e podem gerar algum tipo de anomalia do corpo hídrico que não seria encontrada naturalmente, tais como o aumento da presença de matéria orgânica, de gás carbônico e de herbicidas usados no condomínio para manutenção do entorno das lagoas.

Já no parâmetro Turbidez também houve uma queda dos valores entre o ponto a montante e a jusante. Isso pode estar associado ao papel das lagoas artificiais na retenção de sedimentos. Contudo, os resultados ainda mostram valores elevados em relação aos limites legais: 4,0 a 5,0 NTU na estação seca, ultrapassando 130 NTU em janeiro de 2022, ou seja, cerca de 97% superior ao menor valor registrado em julho de 2022.

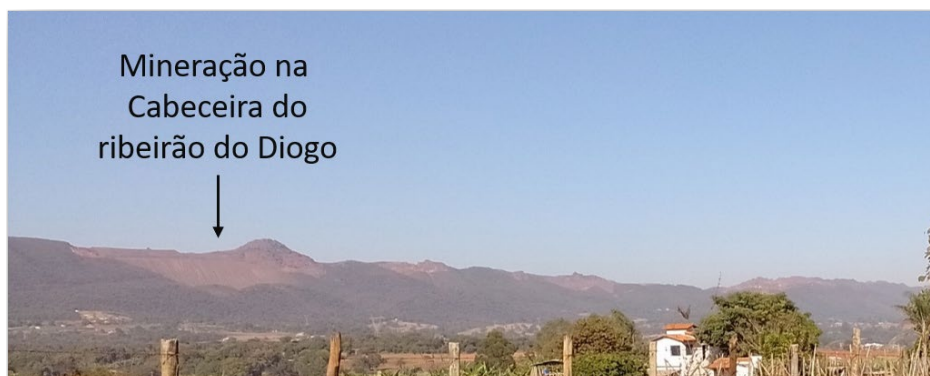
O Fósforo também apresentou resultados relativamente elevados. No ponto 4, a jusante dos condomínios, o valor foi cerca de cinco vezes maior do que no ponto a montante.

#### **11.2.4 Sub-bacia do Ribeirão do Diogo (pontos de coleta 7 e 8)**

O Ribeirão do Diogo é a segunda maior sub-bacia do Reservatório Serra Azul e compreende todas as sub-bacias já comentadas neste capítulo. O curso-d'água principal percorre cerca de 15 km até desaguar no reservatório, apresentando diversos usos e ocupações da terra.

Apenas a margem direita do curso-d'água faz parte da APA Igarapé, o que corresponde a aproximadamente 933,84 ha de área protegida na sub-bacia. Isso porque a APA Igarapé é uma unidade de conservação municipal e, portanto, obedece aos limites do próprio município. Dessa forma, como o Ribeirão do Diogo é considerado a referência física dos limites municipais de Igarapé e Mateus Leme, somente a margem direita está na APA, enquanto a parte de Mateus Leme está contemplada pela APE Serra Azul. Como já mencionado anteriormente, a APE não possui efetividade jurídica e prática na proteção ambiental da RMBH.

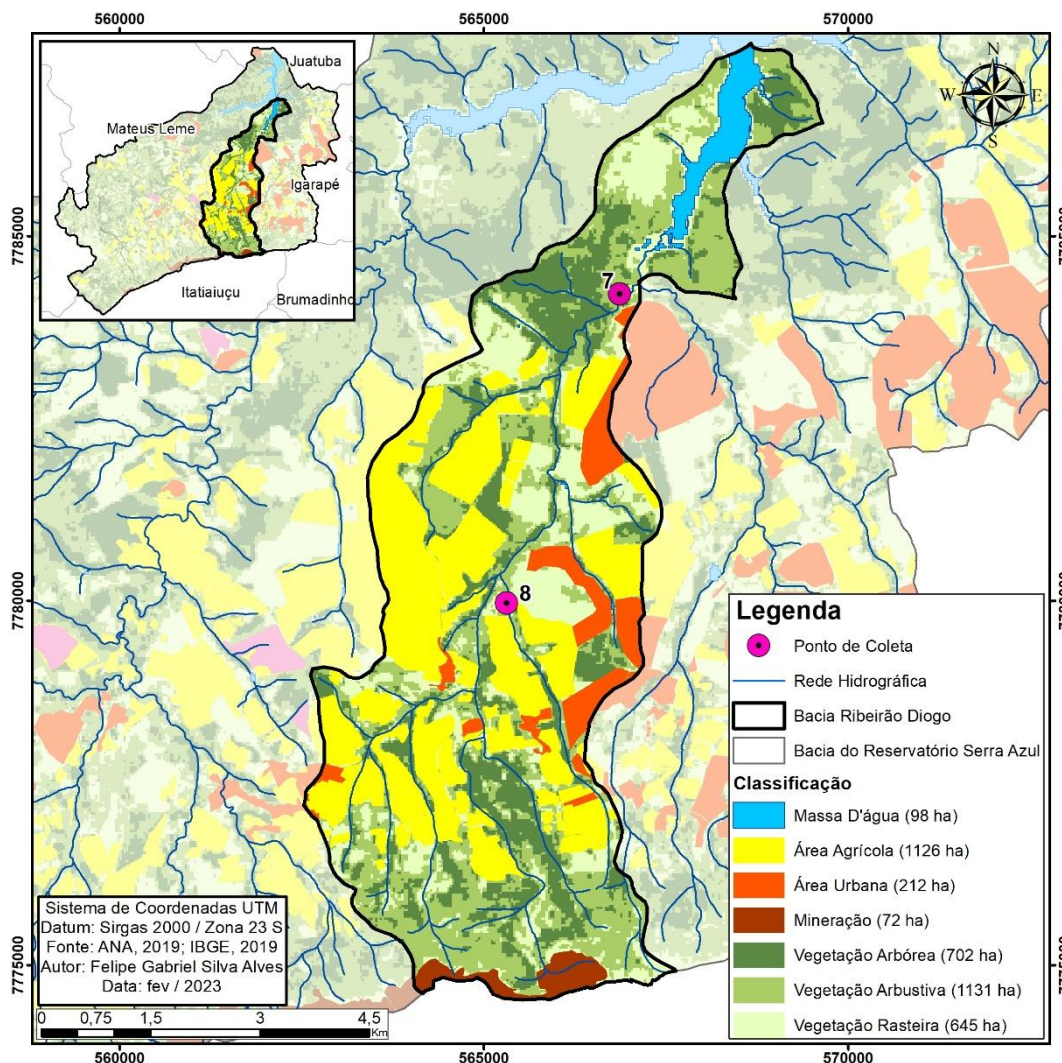
A bacia conta com 3.990 ha, sendo, em 2020, cerca de 35% da área total ocupada por atividades antrópicas. Cerca de 72 ha são ocupados pela Minerita Minérios na Serra Azul (figura 47).



**Figura 47 – Mineração na Serra Azul – Cabeceira do Ribeirão do Diogo.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

As áreas agrícolas ocupam cerca de 28% da bacia, com 1.126 hectares concentrados no alto e médio curso do ribeirão (figura 48). Já a área urbana se concentra na margem direita do curso-d'água em sobreposição à APA Igarapé e conta com 5,3% da bacia, equivalente a 212 hectares.

A área vegetada ocupa a maior parte da bacia, cerca de 2.478 ha (62% da área). Destes, 702 ha (17%) são de vegetação de porte arbóreo, 1.131 ha (28%) são de vegetação arbustiva e 645 ha (16%) são de vegetação rasteira. Vale ressaltar, que assim como as anteriores, a vegetação de porte arbóreo está concentrada na área cercada pela COPASA, enquanto a vegetação arbustiva está concentrada na escarpa da Serra Azul.



**Figura 48 – Uso e ocupação da terra na Sub-bacia do Ribeirão do Diogo.**  
Fonte: Autoria Própria.

Assim como na bacia do córrego Estiva, na do Ribeirão do Diogo também foram feitas coletas de água em dois pontos diferentes. O ponto 8 tende a refletir os usos da terra, principalmente o agrícola, na bacia do alto curso do ribeirão, e o ponto 7 tende a refletir os usos em toda a bacia. No ponto 8 os resultados revelaram inconformidades nos parâmetros Fósforo, pH, Nitrato, OD e Turbidez, enquanto no ponto 7 o mesmo ocorre para DBO, OD, Turbidez e pH. As menores vazões no ponto 8 tendem a facilitar maiores concentrações de poluentes, particularmente dos advindos de usos domésticos e agrícolas, como o Fósforo e o nitrato.

As inconformidades do Fósforo e do Nitrato foram acentuadas no ponto 8 e na estação chuvosa, ilustrando o potencial de remoção e transporte de poluentes presentes na superfície pelo escoamento superficial. Entretanto, estes parâmetros não apresentaram inconformidade no ponto próximo ao reservatório. Nesse caso, o efeito de diluição dos poluentes devido às maiores vazões pode explicar esse cenário.

Já os parâmetros OD, pH e Turbidez, apesar de apresentarem melhora entre os pontos monitorados de montante para jusante, ainda apresentaram inconformidades na estação chuvosa. Em contrapartida, o DBO apresentou piora na estação chuvosa no ponto 7, mas não apresentou inconformidades no ponto 8, indicando os efeitos da poluição orgânica ao longo da bacia. É necessário salientar que para o ISH do PNSH, a DBO é o parâmetro que define a qualidade da água, sendo um dos parâmetros com inconformidade que contribuem diretamente com o reservatório e cujo tratamento tende a encarecer os processos de abastecimento de água na RMBH.

### **11.2.5 Sub-bacia do Córrego Jacu (pontos de coleta 5 e 6)**

A sub-bacia do Córrego Jacu é tributária da bacia do Ribeirão Serra Azul, a principal bacia de contribuição do reservatório. A bacia tem em torno de 998 ha de área e extensão longitudinal aproximada de 7,5 km, estando totalmente inserida no município de Mateus Leme.

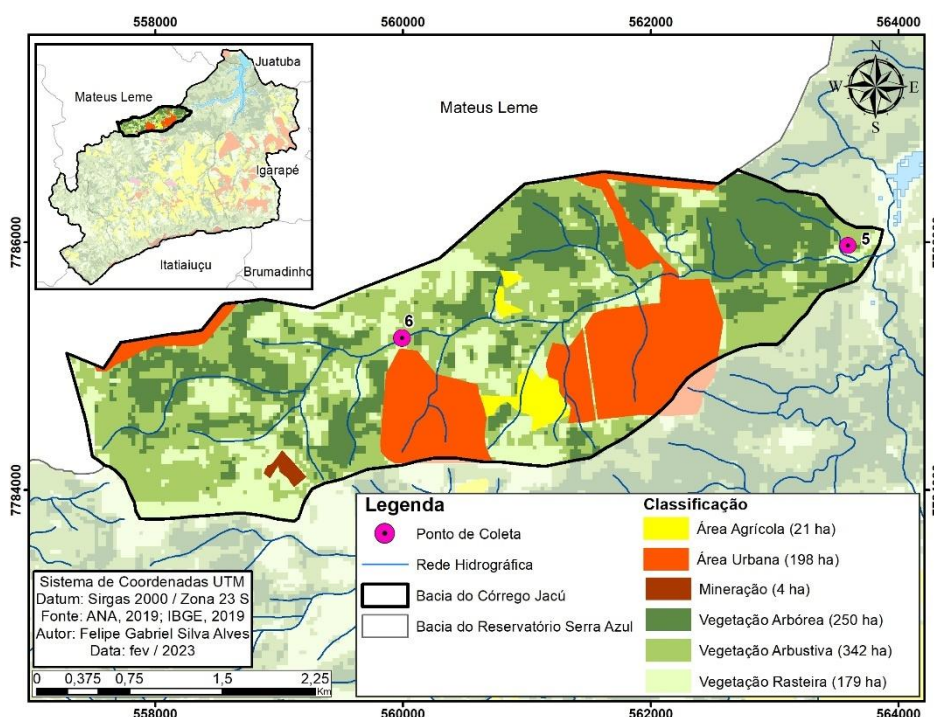
Nessa bacia o uso e a ocupação da terra é diversificado e com muita presença de atividades antrópicas, sobretudo sítios e chácaras para lazer em finais de semana. Além disso, há uma mineração de grafite com 4 ha na porção superior da bacia, a qual descaracteriza bastante a paisagem (figura 49).



**Figura 49 – Mineração de Grafite na Sub-bacia do córrego Jacu.  
Fonte: Araújo, 2022.**



Ao todo, os usos antrópicos ocupam 22% da bacia, sendo 19,38% (198 ha) de área urbana, 2,1% (21 ha) de área agrícola e 0,4% (4 ha) de mineração. Já a parte vegetada representa 78% da bacia, sendo 25,8% (250 ha) de Vegetação Arbórea, 34,26% (342 ha) de vegetação arbustiva e 17,93% (179 ha) de vegetação rasteira. A concentração de atividade antrópica ocorre na porção intermediária da bacia, onde passa a MG-050 em Mateus Leme e pela LMG-821. Já na porção inferior da bacia ocorre a área protegida da COPASA, e na porção superior as elevadas declividades do modelado montanhoso restringem a ocupação, ainda que não seja um problema para a mineração de grafite.



**Figura 50 – Uso e ocupação da Terra na sub-bacia do Córrego Jacu.**  
Fonte: Autoria Própria.

Ao longo das quatro campanhas de coleta de água foram registrados resultados inconformes nos parâmetros de Turbidez, OD, DBO e Fósforo, sendo o primeiro com maior frequência e amplitude, seguido por OD, DBO e Fósforo. No ponto 6 (montante) os valores de turbidez foram mais elevados do que no ponto 5 (jusante) nos períodos chuvosos.

Contudo, apesar da pré-disposição do aumento da turbidez, os valores foram exacerbados chegando a até 4,5 vezes mais que o máximo permitido. Ao longo do curso-d'água esse valor diminui por diluição e, na campanha de janeiro/2022, passa de 142 NTU para 31,78 NTU, sendo que o máximo permitido é de 40 NTU, ou seja, registrou um valor exacerbado a montante, mas a jusante a diluição conseguiu se enquadrar no padrão do parâmetro para o curso-d'água. Já na campanha de julho/2022, embora os valores tenham sido diluídos ao longo do curso-d'água,

estes ainda ficaram fora do máximo permitido para o padrão do curso-d'água, saindo de 62,67 NTU e indo para 49,20 NTU a jusante.

Em contrapartida, o OD teve piora ao longo do curso-d'água nas duas campanhas chuvosas. O ponto 6, em ambas as campanhas, apresentou resultados dentro dos padrões estabelecidos, na terceira registrou 6,13 mg/L e na quarta registrou 7,04 mg/L, sendo que o mínimo necessário é de 6,0 mg/L. Contudo no ponto 5, os resultados foram fora dos padrões e registraram 2,45 mg/L na campanha de outubro e 5,62 mg/L na quarta campanha, sendo então os dois resultados abaixo do limite mínimo estabelecido.

### **11.2.6 Sub-bacia do Córrego Garimpo (ponto 12)**

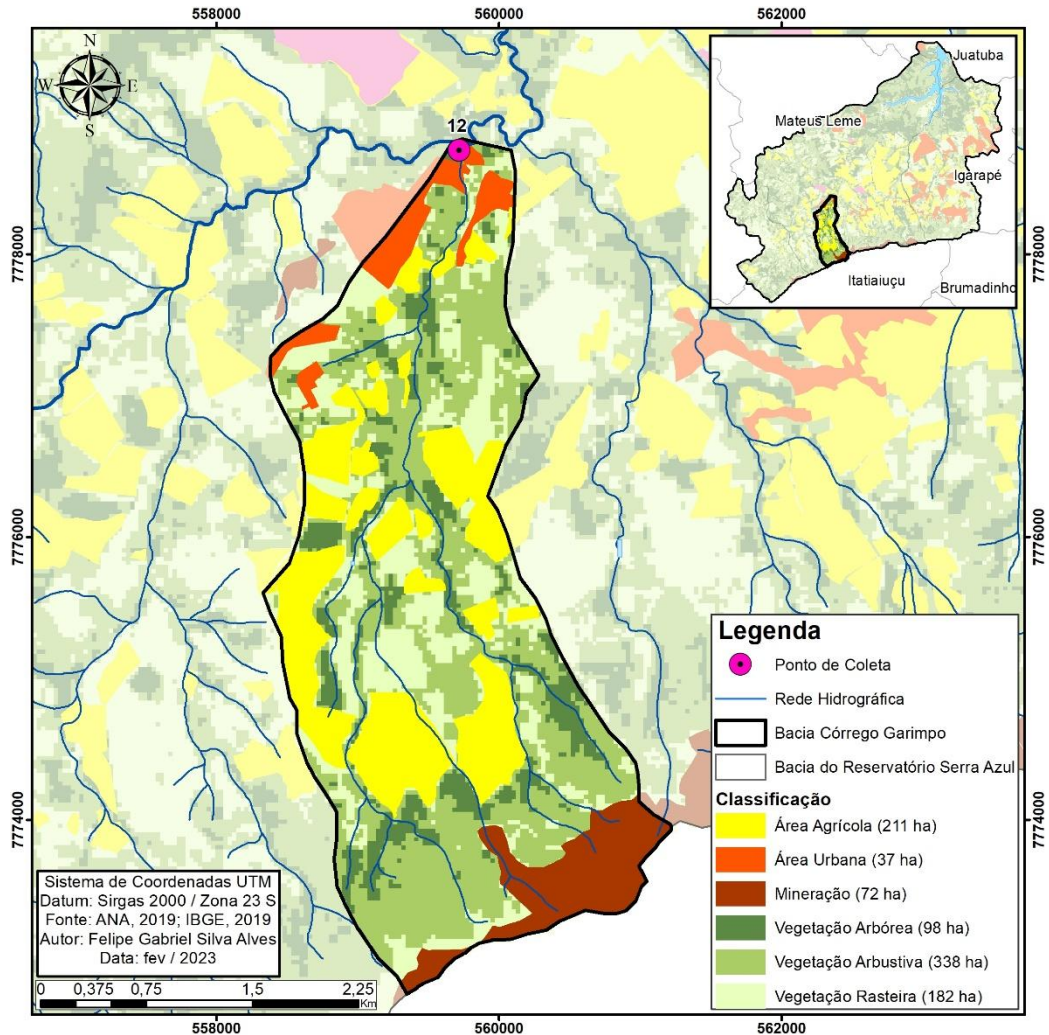
O Córrego Garimpo é um afluente direto da margem direita do Ribeirão Serra Azul e tem suas cabeceiras na serra de mesmo nome, onde percorre cerca de 6,5 km no sentido S-N até desaguar no principal curso-d'água da bacia. A sub-bacia tem cerca de 938 hectares e fica inteiramente no município de Mateus Leme tendo sua ligação restrita somente à LMG-82, o que deixa a bacia mais isolada em relação às outras, que têm outras rodovias importantes como vetores de atividades antrópicas.

Contudo, neste caso, o córrego tem como principal influência antrópica a atividade minerária, bem como seu nome já sugere. Dessa forma, são 72 hectares (7,6%) destinados a mineração na bacia, sendo que toda a atividade fica nas cabeceiras, onde se tem um grande conglomerado minerário na Serra Azul. Não obstante a isso, existem diques de contenção de sedimentos e rejeitos oriundos de produtos químicos associados ao processamento do minério de ferro, posicionados ao longo da vertente da bacia pela ArcelorMittal, com a finalidade de mitigar os impactos da retirada de cobertura superficial na atividade minerária.

Embora a atividade minerária na bacia seja o que está mais evidente pela sua complexidade e execução, vale destacar que, em termos de área, a atividade agrícola é mais proeminente, tal qual com 211 ha (22,4%) ocupa o médio curso, seguido de 37 ha (3,9%) de área urbana que ocupa a parte baixa da sub-bacia. Já a cobertura vegetal possui a maior parte de vegetação arbustiva com 338 ha (36%), seguido de vegetação rasteira com 182 ha (19,4%) e 98 ha (10,4%) de vegetação arbórea (figura 51).

Vale destacar que com a ausência da área cercada pela COPASA, o quantitativo de ocupação com a presença de vegetação arbórea apresenta queda importante para as sub-bacias. Além

disso, é possível perceber que a ocupação territorial da sub-bacia sofre muita influência de atividades potencialmente danosas às águas da sub-bacia, como a mineração e a agricultura.



**Figura 51 – Uso e ocupação da terra na sub-bacia do Córrego Garimpo.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Essa dinâmica é perceptível principalmente no parâmetro de turbidez, que na campanha chuvosa ultrapassou os limites estabelecidos para o corpo-d'água e, na campanha seca, ficou muito abaixo do limite estabelecido, revelando uma fonte de carga de sedimentos importante na bacia em período chuvoso. Nesse caso, pode ser que a junção entre as atividades antrópicas da mineração e a área agrícola sejam responsáveis pelo aumento da carga de sedimentos na água, visto que ambas as atividades têm como traço o revolvimento da camada superficial do solo e, como tal, retira atributos físicos que impedem a perda dessas partículas para a água.



**Figura 52 – Mineração no Córrego Garimpo.**

Fonte: Autoria Própria.

Vale destacar que esse ponto foi acrescentado no monitoramento em função da necessidade de se contemplar essa parte da bacia, em detrimento dos resultados dos parâmetros analisados anteriormente para o Ribeirão Serra Azul. Dessa forma, foram acrescentados mais três pontos na bacia para as campanhas de janeiro/2022 e julho/2022, com o intuito de verificar o comportamento das águas ao longo de diversos usos da bacia.

Portanto, foi analisada parte do período chuvoso e parte do período seco na bacia, refletindo a dinâmica da água em diferentes sistemas de umidade. Com isso, o Córrego Garimpo sofre os efeitos do aumento de carga sedimentar e poluentes demonstrando uma fragilidade com sedimentos oriundos das atividades antrópicas a montante, principalmente nas estações chuvosas que denotam o carreamento desse acúmulo para o curso-d'água, deixando-o com uma série de problemáticas já explicitadas neste trabalho.

### **11.2.7 Bacia do Ribeirão Serra Azul (pontos 9, 10 e 11)**

A bacia do Ribeirão Serra Azul é a principal bacia de contribuição do reservatório e de maior hierarquia das mencionadas até aqui. Sua nascente fica no município de Itaúna e o curso-d'água atravessa os municípios de Mateus Leme e Igarapé até desaguar no reservatório Serra Azul, que, por sua vez, não é o fim do curso-d'água, já que sua bacia continua após o barramento até sua foz no Rio Paraopeba.

Ao todo, no trajeto até o lago do reservatório o ribeirão percorre cerca de 30 km e tem contribuição de vários outros cursos-d'água, inclusive os já citados anteriormente. Contudo, para a análise proposta no presente trabalho, foram retiradas as sub-bacias já contempladas individualmente e, dessa forma, foi analisado o restante da bacia. Para os pontos de



monitoramento nessa bacia de contribuição, priorizou-se o curso-d'água principal em diferentes pontos com objetivo de visualizar a evolução da qualidade da água ao longo do curso-d'água.

Dessa forma, a bacia delimitada conta com 13.210 ha sendo que, destes, 334 ha (2,53%) são de espelho-d'água, 1.463 ha (11,1%) são de área agrícola, 90 ha (0,68%) são de área urbana e 115 (0,87%) ha são destinados para a mineração. Percebe-se que a presença de atividades antrópicas nessa parte da bacia é concentrada nas atividades agrícolas, minerárias e, pela primeira vez neste trabalho, a silvicultura, tendo em vista que a área urbana é menos expressiva do que nas outras bacias (figura 53), principalmente quando se compara a área total e a ocupação urbana, que representa menos de 1% da bacia analisada.

Contudo, em termos absolutos, as áreas destinadas para as atividades agrícolas são bastante expressivas, tendo em vista que são maiores do que as áreas de várias sub-bacias de contribuição do Ribeirão Serra Azul. Além disso, a classe está presente em toda a bacia, exceto na parte cercada pela COPASA, que tem um grande quantitativo de cobertura vegetal de grande porte.

É necessário salientar que na área da COPASA não existe ocupação por silvicultura e essa classe fica restrita somente à parte média da bacia. Portanto, os 96 ha de silvicultura ficam no município de Mateus Leme e, por sua vez, representa cerca de 0,72% do total da bacia.

A cobertura vegetal também tem como ponto importante a parte cercada pela COPASA, já que tem 786 ha dos 2.715 ha de vegetação arbórea na bacia, o que representa cerca de 29% da classe encontrada na bacia. Não obstante a isso, a vegetação arbustiva também tem números expressivos na área, 888 ha dos 5.460 ha estão protegidos pela COPASA, no entanto, esse valor representa cerca de 16% do total da bacia. Por fim, a vegetação rasteira é a que registrou menores valores na área, são 129 ha protegidos pela COPASA e 2.900 ha registrados no restante da bacia, cerca de 4,4% da classe está na área controlada pela COPASA.

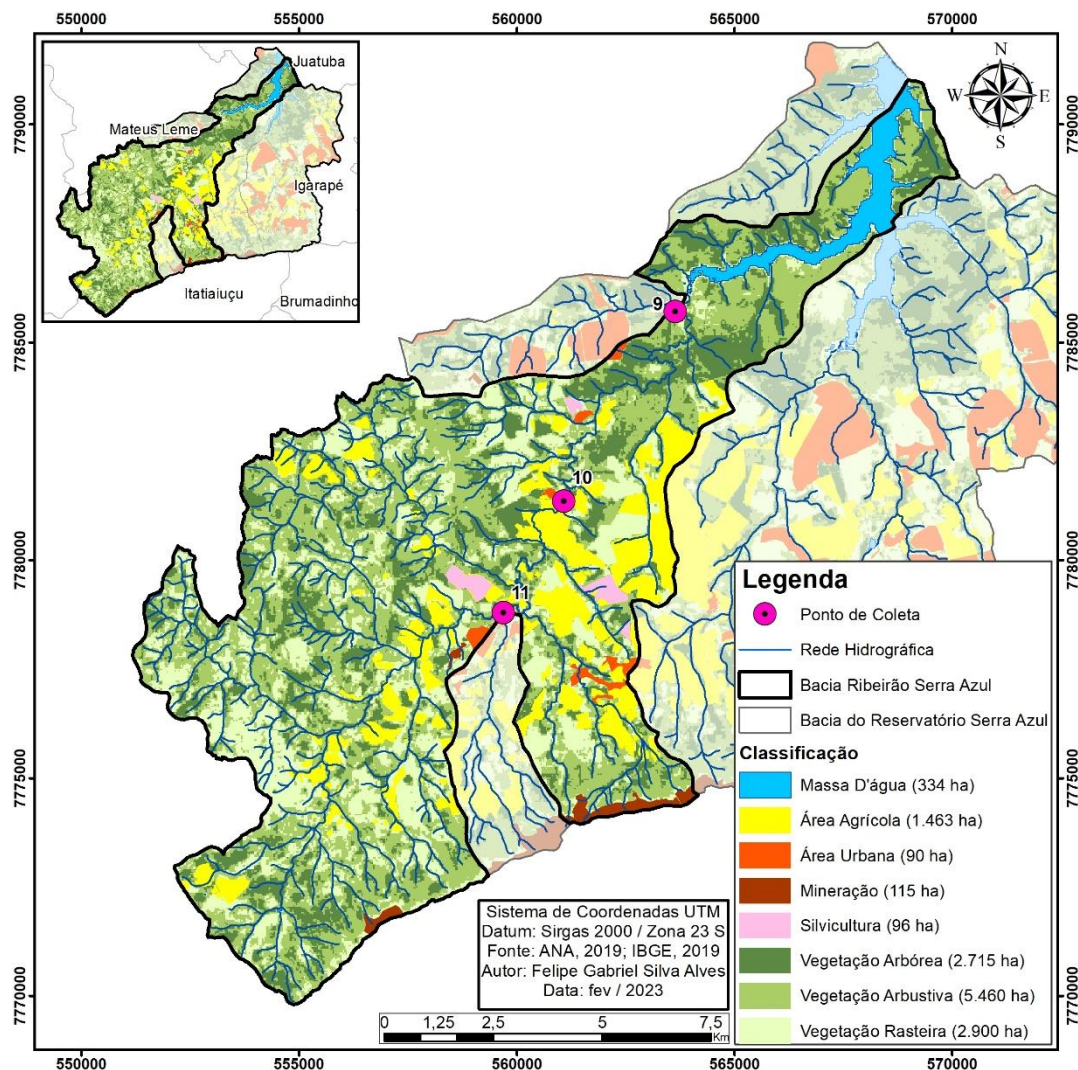


Figura 53 – Uso e ocupação da terra na bacia do Ribeirão Serra Azul.

Fonte: Autoria Própria.

Embora se tenha grande maioria do uso da terra derivado de vegetação nativa e secundária, os parâmetros analisados da água denotam preocupações importantes acerca da saúde do curso-d'água. Conforme o mapa anterior, todos os pontos estão no curso-d'água principal do Ribeirão Serra Azul, todavia existem diferenças importantes nos resultados analisados entre eles.

O ponto 11 é o mais a montante no curso-d'água, as análises nele evidenciaram problemas na DBO, no Fósforo e na Turbidez ao longo das campanhas, principalmente no período chuvoso. Na campanha de janeiro/2022 foram registrados 164,67 NTU de turbidez, sendo que o valor esperado era de no máximo 40 NTU, ou seja, mais de quatro vezes o valor máximo esperado para o curso-d'água. Nesse ponto, o curso-d'água recebe muita influência da mineração de grafite e da atividade agrícola a montante da bacia, o que poderia explicar o alto valor do parâmetro em períodos chuvosos. Não obstante a isso, foi detectado um valor anômalo do

Fósforo para o ponto na campanha de janeiro/2022, corroborando a presença da atividade agrícola a montante da bacia.

Por fim, a incompatibilidade da DBO registrada foi na campanha de julho/2022, ou seja, mesmo em período seco o curso-d'água possui presença de matéria orgânica o suficiente para elevar a demanda bioquímica de oxigênio, caracterizada por fertilizantes ou agrotóxicos a montante do curso-d'água. Contudo, pelo parâmetro analisado, também é possível que os valores elevados sejam derivados de lançamentos de esgotos pluviais pela área urbana a montante do ponto, no bairro Serra Azul.

Já o ponto 10 (a jusante) apresentou problemas somente no período chuvoso por meio do parâmetro da turbidez, na campanha de janeiro/2022. O ponto fica a cerca de 3 km do ponto 11 e possui influências adicionais apenas dos córregos Ponte de Palha, Leôncio e Alto da Boa Vista, sendo que o último possui influência da atividade minerária na Serra Azul (margem direita) e o penúltimo tem influências de áreas agrícolas nas cabeceiras (margem esquerda). Dessa forma, acredita-se que essas atividades influenciaram no registro de turbidez anômalo no ponto, já que o valor foi 25,15% maior do que no ponto anterior.

Por fim, o ponto 9 é o ponto mais a jusante do Ribeirão Serra Azul e, como tal, reflete toda a dinâmica registrada a montante. Por isso, esse ponto é um ponto de atenção, pois sintetiza a evolução dos parâmetros já analisados anteriormente, além do acréscimo de informações no trecho entre os pontos a montante.

Dessa forma, foram registrados problemas nos parâmetros de pH, Turbidez, OD, DBO e Fósforo ao longo das três primeiras campanhas. Assim, a turbidez foi anômala em todos os pontos analisados e somente na campanha de janeiro/2022, na qual se teve a primeira chuva após o período de estiagem, revelando problemas na retirada da cobertura vegetal em época de seca. Vale destacar que no trecho analisado entre os pontos 10 e 9 não existem influências ativas da mineração, nesse caso, há uma dissolução do parâmetro pelo menos quatro vezes menor do que no registrado anteriormente, ou seja, com a ausência da mineração, o parâmetro de turbidez diminui ao longo do curso-d'água.

## 12 DESAFIOS DA SEGURANÇA HÍDRICA NOS PROCESSOS DE GESTÃO

Como dito anteriormente, a segurança hídrica no PNSH visa atender quantitativamente e qualitativamente às demandas das necessidades humanas, das práticas econômicas e da conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um grau de risco aceitável relacionado às secas e às cheias.

O PNSH vem como uma medida importante para a perpetuação do conceito de segurança hídrica em território nacional. É fato que após a sua efetivação, em 2019, o rumo das ações de gestão de recursos hídricos se tornou mais focado na conservação e na proteção dos recursos hídricos. Entretanto, ainda existem aspectos do plano que carecem de atenção e aprimoramento para que o seu objetivo seja alcançado.

Os problemas de integração do PNSH com as unidades de gestão, proteção e conservação do meio ambiente se mostram como um ponto de atenção a ser melhorado. No ISH não está considerada a presença de UCs nas bacias dos mananciais, que seria de extrema importância para indicar, nas dimensões Ecológica e de Resiliência, a saúde dos mananciais da RMBH. Além disso, não basta apenas haver uma unidade de conservação em dada área para que a finalidade dela seja cumprida, já que existem diversas condições objetivas para que sua implementação seja pragmática e efetiva.

Como exemplo, na bacia do reservatório Serra Azul estão a APE Serra Azul e a APA Igarapé, que não possuem efetivação legal e pragmática em função da sua fragilidade de implementação. A primeira não possui arcabouço legislativo coerente e funcional, enquanto a segunda, apesar de ser contemplada pelo SNUC e já ter 20 anos de existência, ainda não possui conselho gestor e plano de manejo, instrumentos fundamentais para direcionar a finalidade e a efetividade da UC.

Além disso, embora as unidades de conservação possam ser direcionadas para a proteção dos recursos hídricos, não há, ainda, uma tipologia específica para a conservação de mananciais no país. Dessa forma, a proteção geralmente visa a cobertura vegetal e desconsidera, em partes, o manancial que está a jusante, como as tipologias mencionadas anteriormente. A tipologia de APE, embora tenha sido criada para contemplar esse panorama em Minas Gerais, não se efetiva como unidade cabível de gestão, sendo reduzida então a uma ferramenta de gestão por parte da empresa de saneamento do estado, como citado nos casos da APE Taboões e da APE Várzea das Flores (ALVES, 2019b; LIMA, 2018).

Nesse caso, fazendo um contraponto entre a melhora da qualidade ambiental e a dimensão ecossistêmica do PNSH para a bacia de contribuição do reservatório Serra Azul, os resultados mostram que a única porção da APE Serra Azul efetivamente protegida é a área cercada e administrada pela COPASA, ou seja, a APE não induz a proteção ambiental do manancial se não houver a intervenção direta de alguma instituição. Esse panorama se confirma com a evolução do uso e da ocupação da terra, que desde a criação da APE Serra Azul demonstra um crescimento exponencial da ocupação da bacia por classes de usos antrópicos. Não obstante, as áreas de sobreposição entre APE Serra Azul e APA Igarapé apresentam as maiores taxas de ocupação urbana ao longo de toda a bacia e em todo o período de evolução do uso e da ocupação da terra.

Um dos desafios evidenciados pelo PNSH é o crescimento populacional nas metrópoles do país e, por consequência, o crescimento da demanda hídrica para as dimensões humanas e econômicas (PNSH, 2019). Contudo, ações de gestão primárias, como a efetivação das unidades de conservação como mecanismos estratégicos de proteção dos recursos hídricos, se apresentam como alternativa importante para a proteção de mananciais de abastecimento.

O crescimento populacional e a crescente demanda de água na bacia podem ser diretamente ligados aos tipos de UCs no território do manancial, como é o caso da APA Igarapé, que pode contemplar no seu plano de manejo diretrizes para revitalização e aprimoramento da planta de saneamento da área. Dessa forma, o controle de desperdício, poluição e aproveitamento dos recursos hídricos podem oferecer um horizonte positivo para a bacia do reservatório Serra Azul.

Conforme apresentado no capítulo 3, a interação entre disponibilidade da água e crescimento populacional está diretamente ligada com a infraestrutura de distribuição e a manutenção dessa operação hídrica. Assim, o principal objetivo deve ser melhorar a infraestrutura de gestão, e não somente aumentar a oferta hídrica, como comumente é feito no país. Portanto, em grande parte dos casos, a melhoria de distribuição e constante manutenção da infraestrutura já seriam um grande ganho para a segurança hídrica regional, principalmente em áreas urbanas, onde há importantes perdas de água entre a captação e a entrega final.

Ademais, o recurso que é captado perpassa por uma série de processos químicos e físicos até que adquira o padrão de potabilidade necessário e seja distribuído para o consumidor final. Nesse caminho, a chegada do recurso hídrico ao reservatório é fundamental, já que, como visto no caso da Lagoa da Pampulha em Belo Horizonte, a conservação da bacia dos reservatórios de captação pode significar a longevidade do recurso para a região. Assim, em vez de se buscar o

aumento contínuo da oferta de água via construção de novos reservatórios ou captações, deve-se focar na gestão eficiente das fontes dos recursos hídricos atuais, evitando escassez hídrica relativa e mantendo as finalidades primárias dos reservatórios.

Dito isto, os parâmetros físico-químicos, conforme mencionado, procuram evidenciar a qualidade da água no curso-d'água em detrimento do período pluviométrico, sendo que as interações entre uso da terra e da água influenciam diretamente no resultado desses parâmetros. No estudo realizado, foram identificados pontos importantes para serem considerados no cálculo da segurança hídrica.

Pelo ISH, o parâmetro responsável pela qualidade da água é a DBO, o qual evidencia preferencialmente a influência da poluição orgânica nos corpos hídricos a partir de fontes como esgotos domésticos, agroquímicos e escoamento pluvial em áreas rurais. Contudo, a percepção da qualidade dos recursos hídricos considerando somente esse parâmetro é deficitária, já que existem outros elementos que devem ser considerados na composição do cálculo, como demonstrado neste trabalho.

As influências de processos de carreamento de sedimentos e produtos químicos inorgânicos são exemplos de interações determinantes para a qualidade ambiental dos cursos-d'água. No ISH, porém, esses processos são desconsiderados. Como apresentado anteriormente, a presença desses poluentes na água pode influenciar diretamente a saúde humana e animal, sendo que o tratamento da água no tocante a esses parâmetros, para atendimento a consumidores domésticos, é dificultoso e caro. Portanto, se outros parâmetros, além da DBO, não forem contemplados e monitorados nos processos de gestão da água, o atendimento das demandas tende a tornar-se mais difícil, oneroso e ineficaz.

A pesquisa perpassa, assim, pela explicitação da importância da investigação das conexões entre usos da água, usos da terra e gestão territorial das bacias de mananciais para a sua proteção. A identificação de zonas e trechos da rede de drenagem mais susceptíveis à degradação é fundamental para a manutenção da segurança hídrica regional, subsidiando os processos de gestão em questões, por exemplo, a melhoria da infraestrutura de saneamento e a criação de unidades de conservação. Para isto, o uso e a ocupação da terra é fundamental e deve ser incorporado ao PNSH ou ao ISH, já que funciona como um indicador ambiental importante para a bacia, como demonstrado neste trabalho.

A exemplo disso, as classes de usos antrópicos são consideradas apenas na dimensão econômica como fontes de demanda hídrica, mas são desconsideradas na dimensão ecossistêmica como fontes que contribuem para a redução da oferta hídrica, principalmente em qualidade. Isto porque o parâmetro DBO não contempla fundamentalmente as interações entre atividades agrícolas e os cursos-d'água, conforme mencionado no capítulo 4 deste trabalho.

Além disso, o uso e a ocupação da terra pode fornecer áreas de atenção crítica na bacia, seja por influência direta na saúde dos corpos-d'água ou por monitoramento de riscos. Exemplo disso são as barragens de mineração que podem, em um evento de ruptura, inviabilizar totalmente a captação de água a jusante, como descrito por Neves-Silva e Heller (2020) no caso do rompimento da barragem de Brumadinho-MG, da Vale.

Já a Mina de Serra Azul, na vertente oposta da área de estudo deste trabalho, possui uma barragem extensa que foi classificada como nível 3 de emergência em 2019 e que, em caso de rompimento, atingiria o maior reservatório de água para abastecimento público da RMBH. No entanto, no ISH calculado até 2035 pela ANA, a área possui segurança hídrica alta ou máxima, ou seja, o cálculo desconsidera o risco que, como em 2019, houve o alerta de emergência e evacuação, e ainda assim classifica essa área com notas máximas para a segurança hídrica, mas que, na verdade, deveria se contemplar o peso de uma barragem em alto grau/risco de rompimento e enquadrar a segurança hídrica dessas áreas em níveis mais baixos.

Além disso, vale destacar que embora o ISH seja calculado levando em consideração os limites municipais, no caso do sistema integrado de Belo Horizonte, os efeitos desses eventos podem ser sentidos ao longo de toda a RMBH, já que as consequências da inutilização desses reservatórios não são sentidas apenas nas suas respectivas bacias ou municípios, mas sim em toda a região metropolitana.

Dessa forma, o PNSH e, sobretudo, o PMSH, devem considerar a abordagem em relação à dimensão de risco, atribuindo maior peso para casos específicos de usos que podem inviabilizar diretamente a fonte de recursos hídricos por pequenos ou grandes períodos. Assim, não é possível existir uma alta segurança hídrica para casos em que as estruturas estão em estado de alerta ou de emergência, ou seja, não existe segurança hídrica para fontes que a qualquer momento podem ser inutilizadas por uma ação abrupta de alguma estrutura específica.

Vale ressaltar que essa dimensão já está prevista também na dimensão ecossistêmica, contudo, para a RMBH, o que se vê é um panorama em que os riscos de barragens de rejeito nos



mananciais não são determinantes para o cálculo do ISH e, portanto, devem ser considerados para representar o real risco da presença dessas estruturas a montante dessas fontes de água.

Por tudo isso, as abordagens sistêmicas de manejo e gestão das águas para abastecimento público devem ser tratadas de forma distintas entre áreas urbanas e rurais, sobretudo no estado de Minas Gerais. As especificidades e as condições objetivas de cada relação espacial nessas regiões levam a planos distintos, em que em um ponto as práticas urbanas e adensamento populacional da RMBH tendem a elevar os níveis de estresse nos mananciais e que, com o passar do tempo, podem ressignificar a insegurança hídrica da região.

### 13 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou investigar a gestão dos recursos hídricos da RMBH à luz da Segurança Hídrica preconizada pelo PNSH em 2019 por meio de métodos científicos críticos e adaptados para as condições objetivas da região estudada. Para isso, levou-se como modelo a área de estudo da bacia do reservatório Serra Azul, responsável por cerca de 13% do abastecimento da RMBH.

Os usos e a ocupação da terra, bem como os usos da água se mostraram de extrema relevância para os estudos da segurança hídrica na RMBH, já que cada alteração antrópica nas bacias de contribuição dos mananciais de abastecimento público pode alterar a qualidade e a quantidade dos recursos disponíveis. Assim, é de suma importância o controle da dinâmica de ocupação e expansão das atividades humanas na bacia do reservatório, verificando-se a vocação da área e a limitação de usos incompatíveis com a função de manancial de abastecimento público.

Esse panorama é agravado principalmente pela localização do reservatório frente à expansão urbana e agrícola na RMBH, mostrando-se necessária uma divisão por parte da gestão da água na RMBH e no restante do estado, onde as práticas e os manejos da água tendem a obedecer a condições objetivas diferentes. Essa medida deve ser contemplada pelo PMSH em virtude do planejamento e da longevidade dos recursos para os próximos anos.

Ademais, as políticas públicas carecem de efetivação e integração dos mecanismos de gestão que utiliza, em virtude da representatividade desses mecanismos. Dessa forma, as pesquisas acadêmicas que permeiam o tema podem trazer relatos e vivências aprofundadas que são capazes de ajudar na gestão e na melhoria desses mecanismos.

Destaca-se que modelos de análise podem ser ferramentas importantes para a interpretação de conjuntos de dados complexos, contudo, esse modelo deve ter aderência adequada com o espaço em estudo. No caso do ISH, o modelo possui boa construção técnica e universo de dados, mas ainda carece de atributos que interprete os impactos ambientais causados pelos usos econômicos, principalmente na qualidade da água das bacias. Assim, a complementação dos indicadores e das variáveis de análise dentro da estrutura do ISH são essenciais para maior aderência do modelo à realidade.

Dessa forma, foi possível estabelecer uma relação entre os usos da terra e a qualidade dos recursos hídricos que chegam ao reservatório, à luz da gestão territorial, na tentativa de prevenir casos como o do reservatório da Pampulha. Essas áreas a montante dos reservatórios estão

sofrendo pressões, principalmente do espectro urbano, que podem inviabilizar a segurança hídrica na RMBH nas próximas décadas.

Por fim, os estudos revelaram que existe uma relação de evolução histórica entre os casos de pressões sobre os reservatórios em regiões de adensamento urbano que seguem o mesmo processo. Primeiro o reservatório é construído para atender uma demanda de crescimento antrópico, posteriormente a bacia desse reservatório é ocupada por usos antrópicos, sejam eles de caráter humano ou produtivo, até que o reservatório se torne um problema derivado de descargas de poluição a montante e, por fim, deixe de ser viável economicamente e passe a ser um passivo para os municípios e para as bacias hidrográficas em que ele está inserido.

É necessário que esse cenário seja contemplado em virtude do PNSH, sobretudo do PMSH, para que não ocorra o panorama citado. Atualmente, o reservatório Pampulha está sendo recuperado pela gestão territorial da bacia em consonância com tratamento das águas que sofreram pressões em décadas passadas, já o reservatório Várzea das Flores está na terceira etapa de evolução, se tornando um problema para a sociedade do entorno e, por fim, o reservatório Serra Azul, que está na segunda etapa, está sofrendo pressões antrópicas na bacia sem controle e gestão efetiva pelos órgãos competentes.

## REFERÊNCIAS

- ABDON, M. M. **Os impactos Ambientais no meio físico – Erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio taquari, MS, em decorrência da pecuária.** 2004. 319 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-09062016-091734/publico/Tese\\_Abdon\\_MyrianM.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-09062016-091734/publico/Tese_Abdon_MyrianM.pdf). Acesso em: 10 jun. 2022.
- ABPA. **Produção Brasileira de Carne de Frango (Mil Ton).** 2020. Associação Brasileira de Proteína Animal. Disponível em: <https://abpa-br.org/mercados/>. Acesso em: 09 jun. 2022.
- ABRAPCH. **Crise hídrica: uso de termelétricas tem impacto em setores da economia.** 2021. Disponível em: <https://abrapch.org.br/2021/08/crise-hidrica-uso-de-termeletricas-tem-impacto-em-setores-da-economia/>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- AEDAS. **A barragem Serra Azul da ArcelorMittal, em Itatiaiuçu, subiu para o nível 3 de emergência!** 2022. Disponível em: <https://aedasmg.org/a-barragem-serra-azul-da-arcelormittal-em-itatiaiuçu-subiu-para-o-nível-3-de-emergencia/>. Acesso em: 18 jun. 2022.
- AGÊNCIA MINAS. **IDE-Sisema completa quatro anos com 1,2 milhão de acessos em 81 países.** 2022. Disponível em: <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/ide-sisema-completa-quatro-anos-com-1-2-milhao-de-acessos-em-81-paises>. Acesso em: 22 jun. 2023.
- ALMEIDA, E. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes. **Conexão Água**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 1-18, dez. 2016. Disponível em: <https://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2016/01-a-industria-textil-no-brasil-uma-revisao-dos-seus-impactos-ambientais-e-possiveis-tratamentos-para-os-seus-efluentes.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2022.
- ALVES, F. G. S. **ATIVIDADE MINERÁRIA E ROMPIMENTOS DE BARRAGENS: panorama teórico e estudo de caso do Parque da Cachoeira, Brumadinho (MG).** 2019a. 91 f. TCC (Graduação) – Curso de Geografia, UFMG, Belo Horizonte, 2019.
- ALVES, F. G. S. Proteção de mananciais na Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG): os desafios de compatibilização entre usos da terra e da água na Área de Proteção Especial (APE) Taboões. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v. 27, n. 1, p. 8-25, dez. 2019b.
- ALVIM, A. T. B. **Contribuição do Comitê do Alto Tietê à Gestão da Bacia Metropolitana, 1994- 2001.** Tese de Doutorado. São Paulo, Universidade de São Paulo. 2003.
- ALVIM, A. T. B. *et al.* Assentamentos irregulares e proteção ambiental: impasses e desafios da nova legislação estadual de proteção e recuperação dos mananciais na Região Metropolitana de São Paulo. 2010. In: BOGUS, L. M. M. *et al.* (orgs.). **Reconversão e reinserção urbana de loteamento de gênese ilegal: análise comparativa Brasil-Portugal.** São Paulo, Educação.
- ALVIM, A. T. B.; KATO, V. R. C.; ROSIN, J. R. G. A urgência das águas: intervenções urbanas em áreas de mananciais. **Cadernos MetrÓpole**, [S.L.], v. 17, n. 33, p. 83-107, maio

2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2015-3304>.

AMENGOL, B. P. C. **AVALIAÇÃO DO USO DE PROCESSOS QUÍMICOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL**. 2017. 72 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

ANA. **Atlas Esgoto 2017: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. 1. ed. Brasília: Ana, 2017a.

ANA. **Atlas Irrigação 2017: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. 1. ed. Brasília: Ana, 2017b.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, 2013**. Brasília: Ana, 2013. 434 p. Disponível em: [https://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/ANA\\_Conjuntura\\_Recursos\\_Hidricos\\_Brasil/ANA\\_Conjuntura\\_Recursos\\_Hidricos\\_Brasil\\_2013\\_Final.pdf](https://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil_2013_Final.pdf). Acesso em: 29 jul. 2022.

ANA. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: Ana, 2019a. 75 p. Disponível em: [http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana\\_manual\\_de\\_usos\\_consuntivos\\_da\\_agua\\_no\\_brasil.pdf/view](http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf/view). Acesso em: 09 jun. 2022.

ANA. **MANUAL METODOLÓGICO DO ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA**. Brasília: Ana, 2019b. 42 p.

ANA. Agência Nacional das Águas. Governo Federal. **Plano Nacional de Segurança Hídrica – PNSH**. Brasília: Ana, 2019c. 116 p.

ANM. **Plano Nacional de Mineração 2030**. Brasília: ANM, 2015. Disponível em: [https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/pnm\\_2030.pdf](https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/pnm_2030.pdf). Acesso em: 22 jun. 2022

ANVISA. **Principais tipos de agrotóxicos e os riscos no uso**. 2020. Disponível em: <https://summitagro.estadao.com.br/saude-no-campo/principais-tipos-de-agrotoxicos-e-os-riscos-no-uso>. Acesso em: 22 jun. 2022.

ARAÚJO, V. C. **A QUALIDADE DA ÁGUA DO Córrego do Jacu - Mateus Leme / MG e suas possíveis implicações no manancial de Abastecimento Serra Azul -RMBH**. 2022. 76 f. TCC (Graduação) – Curso de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

ARSAE. Agência Reguladora dos Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. Serviços de abastecimento de água da sede do município de Ibitiré. **Relatório de Fiscalização nº gfo-51/2016**, [S.l.: s.n.], 2016. 32 p.

ARSAE MG. **Relatório de Fiscalização do Sistema Integrado de Abastecimento de água da RMBH**. Belo Horizonte: ArsaE, 2013. Disponível em: [http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/rf\\_tec\\_op\\_saa\\_sistema\\_bacia\\_paraopeba.pdf](http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/rf_tec_op_saa_sistema_bacia_paraopeba.pdf) Acesso em: 21 jun. 2023.

AS MINAS GERAIS. **O QUADRILÁTERO FERRÍFERO**. 2022. Disponível em: <http://www.asminasgerais.com.br/?item=ALBUM&codAlbum=119>. Acesso em: 18 jun. 2022.

BAKKER, K., Water security: research challenges and opportunities: *Science*, 337 (6097), 2012, p. 914-915.

BARBOSA, A. L. M. 1968. **Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero**. SBG-MG, reimpressão (1985): UFMG.

BARBOSA, D. M.; GARCÍA, F. E. S. Região-Empreendimento: planejamento, reorganização territorial e grandes projetos no Alto Paraopeba, Minas Gerais. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, v. 122, p. 71-93, 2012.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 75-108, abr. 2008. Disponível em: <https://rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/116/106>. Acesso em: 21 jul. 2022.

BERNARDO, S. **Impacto Ambiental da Irrigação no Brasil**. 2008. Disponível em: [http://www.agr.feis.unesp.br/imagens/winotec\\_2008/winotec2008\\_palestras/Impacto\\_ambiental\\_da\\_irrigacao\\_no\\_Brasil\\_Salassier\\_Bernardo\\_winotec2008.pdf](http://www.agr.feis.unesp.br/imagens/winotec_2008/winotec2008_palestras/Impacto_ambiental_da_irrigacao_no_Brasil_Salassier_Bernardo_winotec2008.pdf). Acesso em: 05 maio 2022.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. p. 11-93; 320-343.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: um esboço metodológico. *Revista IGEOG/USP*, São Paulo: USP, n. 13, 1971. Caderno de ciências da terra.

BIANCHETTI, M. **Vale investirá R\$ 450 milhões na captação de água para RMBH**. 2019. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/economia/vale-investira-r-450-milhoes-na-captacao-de-agua-para-rmbh/>. Acesso em: 24 mar. 2023.

BIBOCA AMBIENTAL. **MEDIDAS QUE PRESERVAM NASCENTES E MANANCIAS**. 2016. Disponível em: <http://bibocaambiental.blogspot.com/2016/08/medidas-que-preservam-nascentes-e.html>. Acesso em: 13 jun. 2022.

BICHUETI, R. S. *et al.* O USO DA ÁGUA NA MINERAÇÃO: UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – Geas*, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 58-73, ago. 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4716/471647054004.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2022.

BLACKBURN, W. H. (1984) Impacts of grazing intensity and specialized grazing systems on watershed characteristics and responses. In: Developing strategies for rangeland management. Bolder, CO, and London: **Natural Research Council/National Academy of Sciences**, Westview Press, 927-983

BRASIL. **Lei 9985, de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União. 2000.

BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. Disponível em: [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6766.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm). Acesso em: 14 jun. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012.** Brasília, DF, Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm). Acesso em: 13 jun. 2022.

BRASIL. **Lei nº 1989, de 11 de julho de 1989.** Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Brasília, Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/17802.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/17802.htm). Acesso em: 22 jun. 2022.

BRASIL. **Lei Nº 4.771 de 15 de setembro de 1965.** Brasília, DF, Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/14771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/14771.htm). Acesso em: 13 jun. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm). Acesso em: 16 jun. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm). Acesso em: 17 set. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução do CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf). Acesso em: 21 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução do CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011.** Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 09 jun. 2022.

BRASIL. **O Projeto original – Transposição do Rio São Francisco.** 2006. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/transposicao-sao-francisco>. Acesso em: 21 jun. 2023.

BRASIL. **Plano de Fechamento de Mina.** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/aceso-a-informacao/perguntas-frequentes/plano-de-fechamento-de-mina>. Acesso em: 03 jun. 2022.

BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade da Organização da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável.** Brasília: Fundação Alexandre Gusmão, 2012. 75 p. Disponível em: [http://www.rio20.gov.br/documentos/relatorio-rio-20/1.-relatorio-rio-20/at\\_download/relatorio\\_rio20.pdf](http://www.rio20.gov.br/documentos/relatorio-rio-20/1.-relatorio-rio-20/at_download/relatorio_rio20.pdf). Acesso em: 07 set. 2022.



BRITO, L. T. L.; BRAGA, M. B.; NASCIMENTO, T. Impactos ambientais da irrigação no Semiárido brasileiro. In: BRITO, L. T. L.; MELO, R. F.; GIONGO, V. **Impactos ambientais causados pela agricultura no semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, cap. 5, p. 137-169, 2010.

CANTELE, T. D.; LIMA, Eudes de Castro; BORGES, L. A. C. PANORAMA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO MUNDO E NO BRASIL. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 1259, 28 dez. 2018. Centro Universitário de Maringá. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n4p1259-1282>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CASTRO, C. N. **PLANO NACIONAL DE SEGURANÇA HÍDRICA, PROBLEMAS COMPLEXOS E PARTICIPAÇÃO SOCIAL**. 2021. 303 f. Tese (Doutorado) – Curso de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/41419/1/2021\\_CesarNunesdeCastro.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/41419/1/2021_CesarNunesdeCastro.pdf). Acesso em: 16 jun. 2022.

CASTRO, K. J. S. X. *et al.* SIG aplicado à gestão de Áreas Protegidas: identificação e correção de inconsistências na delimitação da Área de Proteção Especial Vargem das Flores. **I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias – Sasgeo – 2015**, Uberaba, v. 1, n. 1, p. 1-9, nov. 2015. Disponível em: <https://www.institutopristino.org.br/wp-content/uploads/2016/07/Resumo-I.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2022.

CBHSF. **O que é um Comitê de Bacia**. 2022. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/ocbhsf/o-que-e-um-comite-de-bacia/>. Acesso em: 16 jun. 2022.

CHAMPS, J. R. B. (1992). Algumas Considerações Sobre a Situação Sanitária da Bacia da Pampulha. **Anais do Seminário Bacia Hidrográfica da Pampulha**. p. 134-142.

CHEVALIER, J.; GHEERBRANT, A. **Dicionário de símbolos: mitos, sonhos, costumes, gestos, formas, figuras, cores, números**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1988. 996 p.

CONEXOS. **Exportações 2021: Panorama da Exportação de Carne Bovina**. 2022. Disponível em: <https://www.conexos.com.br/exportacao-de-carne-bovina-panorama-2021/#:~:text=Segundo%20o%20Comexvis%2C%20ao%20longo,a%20mais%20que%20em%202019>. Acesso em: 09 jun. 2022.

COPASA. Copasa inicia obra de captação de água do Rio Paraopeba em Brumadinho. **Companhia de Saneamento de Minas Gerais**. 2015. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/media2/Noticia2015/CaptacaoParaopebaBrumadinho.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022.

COPASA. **ESTATUTO SOCIAL – COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS COPASA MG**. Belo Horizonte: Copasa, 2020. 33 p. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/8bdb3906-0618-4e78-bbe3-a0be9f02d8cc/13d4a91b-d7a9-4354-b291-abe276007d25?origin=2>. Acesso em: 17 set. 2022.

CORRÊA, A. **Formação ferrífera e principais províncias no Brasil**. 2020. Disponível em: [https://igeologico.com.br/formacao-ferrifera-e-principais-provincias-no-brasil/#:~:text=Forma%C3%A7%C3%B5es%20Ferr%C3%ADferas%20Bandadas%20\(Figura%2001,ricas%20em%20Ferro%20\(Fe\)](https://igeologico.com.br/formacao-ferrifera-e-principais-provincias-no-brasil/#:~:text=Forma%C3%A7%C3%B5es%20Ferr%C3%ADferas%20Bandadas%20(Figura%2001,ricas%20em%20Ferro%20(Fe)). Acesso em: 18 jun. 2022.

COSTA, D. M. A.; BARROS JR., A. C. **Avaliação da necessidade do reuso de águas residuais**. *Holos*, v. 2, p. 81-101, 2007.

CASAGRANDE, E. **O que significa pH e qual sua influência na Qualidade da Água?** Disponível em: <<https://2engenheiros.com/2018/03/20/ph-e-qualidade-da-agua/>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

CSR. **Pecuária brasileira no mundo**. 2014. Disponível em: <https://csr.ufmg.br/pecuaria/portfolio-item/pecuaria-brasileira-no-mundo-2/>. Acesso em: 09 jun. 2022.

DALAGNOL, R.; GRAMCIANINOV, C. B.; CRESPO, N. M.; LUIZ, R.; CHIQUETTO, J. B.; MARQUES, M. T. A.; DOLIF NETO, G.; ABREU, R. C.; LI, S.; LOTT, F. C. Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: can we blame climate change? **Climate Resilience and Sustainability**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-8, 14 ago. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/cli2.15>. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cli2.15#:~:text=We%20estimated%20that%2041%25%20of,to%20human%2Dinduced%20climate%20change>. Acesso em: 25 mar. 2023.

DAMASCENO, R. Moradores vivem horas de medo. **Correio Braziliense**. Brasília, p. 1-2. jan. 2019. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/556625/noticia.html?sequence=1>. Acesso em: 06 jun. 2022.

DE LUCA, G.; SILVA, J. M. N.; CERASOLI, S.; ARAËJO, J.; CAMPOS, J.; FAZIO, S.; MODICA, G. Object-Based Land Cover Classification of Cork Oak Woodlands using UAV Imagery and Orfeo ToolBox. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 11, n. 10, p. 1238, 24 maio 2019. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/rs11101238>. Acesso em: 18 jun. 2023.

DIAS, C. A.; COSTA, A. S. V.; GUEDES, G. R.; UMBELINO, G. J. M.; SOUSA, L. G.; ALVES, J. H.; SILVA, T. G. M. Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do rio Doce. **Espinhaço**, [S.L.], v. 1, n. 7, p. 21-35, 14 ago. 2018. Zenodo. <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.3952940>. Disponível em: <http://www.revistaespinhaco.com/index.php/revista/article/view/141/146>. Acesso em: 22 jun. 2022.

DORR, J. V. N. **Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero**, Minas Gerais, Brazil. 1969. Disponível em: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp641A>. Acesso em: 09 abr. 2019.

DOUROJEANNY, A. Las cuencas hidrográficas: una opción territorial para dirigir acciones tiendes la sustentabilidad ambiental. **TERCERA CONVENCION NACIONAL DE REGENTES Y USUARIOS DEL AGUA**. Los Angeles, Chile, Conferencia de Canalistas Del Chile, 1993.

DUARTE, F. **O caso Samarco e a responsabilidade ambiental**. 2015. Disponível em: <https://fellipesd.jusbrasil.com.br/artigos/255747257/o-caso-samarco-e-a-responsabilidade-ambiental>. Acesso em: 06 jun. 2022.

EMBRAPA. **Central de Inteligência de Aves e Suínos**. 2022a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/mundo>. Acesso em: 09 jun. 2022.

EMBRAPA. **LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite**. 2022b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat#:~:text=A%20s%C3%A9rie%20LANDSAT%20teve%20in%C3%ADcio,passou%20a%20se%20chamar%20Landsat>. Acesso em: 17 jun. 2022.

ERTHAL, E. S.; BERTICELLI, R. Sustentabilidade: Agricultura Irrigada e seus Impactos Ambientais. **CIENTEC**, v. 2, n. 1, p. 64-74, ago./2018.

ESCOBAR, H. **IPCC: se nada for feito, colapso climático é iminente**. 2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/ipcc-se-nada-for-feito-colapso-climatico-e-iminente/>. Acesso em: 25 jul. 2022.

EUCLYDES, A. C. P. O que há de especial na proteção dos mananciais? Um estudo sobre as Áreas de Proteção Especial – APEs – do Eixo Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Geografias**. Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 29-43, 2011.

EUCLYDES, A. C. P. **Proteção da Natureza e Produção da Natureza: Política, ideologias e diversidade na criação de unidades de conservação na periferia sul da metrópole belo-horizontina**. 2012. 222 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2012.

EVANS, R. (1998). The erosional impacts of grazing animals. **Progress in Physical Geography**, 22 (2): 251-268.

FALKENMARK, M; LUNDQUIST, J. 1998. Towards Security: Political determination and human adaptation crucial. **Natural Resources Forum**. v. 21, n. 1, p. 37-51.

FARAH, J. Y.; EL-GENDY, N. S.; FARAHAT, L. A. Biosorption of astrazone blue basic dye from an aqueous solution using dried biomass of Baker's yeast. **Journal of Hazardous Materials**, v. 148, p. 402-408, 2007.

FELIPPE, M. F. **Gênese e dinâmica de nascentes: contribuições a partir da investigação hidrogeomorfológica em região tropical**. 2013. 254f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

FELIPPE, M. *et al.* **ESPACIALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS NASCENTES EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE BELO HORIZONTE-MG. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Campo Grande, v. 6, n. 1, p. 1-18, 26 nov. 2009. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/ce53f01dd96a42fd4e86dc865404979f\\_f095d2d84dcd56320085481cb75d29a6.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/ce53f01dd96a42fd4e86dc865404979f_f095d2d84dcd56320085481cb75d29a6.pdf). Acesso em: 25 mar. 2023.

FERREIRA, L. A. **ESCAVAÇÃO E EPLORAÇÃO DE MINAS A CÉU ABERTO**. 2013. 134 f. TCC (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. *et al.* **Análise da Vulnerabilidade Ambiental**. Fortaleza: Embrapa, 2010. 46 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/877885/1/DO10002.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2023.

FIOCRUZ. FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. 2021. **Mapa de conflitos envolvendo injustiça**.

FREITAS, R. O. M. **Análise do abastecimento hídrico de Belo Horizonte e Região Metropolitana: uma abordagem por meio de dinâmica de sistemas**. 2017. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas) – Instituto de Educação Tecnológica (IETEC), Belo Horizonte. 2017.

FURTADO, A. P. F. V.; MONTE-MOR, R. C. A.; COUTO, E. A. AVALIAÇÃO DAS AÇÕES DE REABILITAÇÃO DA LAGOA DA PAMPULHA EM BELO HORIZONTE-MG. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: Abrhidro, 2019. p. 1-10. Disponível em: <http://abr.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/107/XXIII-SBRH0281-1-20191119-230313.pdf>. Acesso em: 17 out. 2022.

GERAIS, Minas. **PLANO DE MANEJO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE VARGEM DAS FLORES, CONTAGEM E BETIM – MINAS GERAIS – BRASIL**. Belo Horizonte: Ief, 2021. Disponível em: [http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/COPAM/Reuni%C3%B5es\\_remotas\\_/55%C2%AA\\_RO\\_CPB/Item\\_07\\_-\\_PM\\_APAVF\\_Enc.1.pdf](http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/COPAM/Reuni%C3%B5es_remotas_/55%C2%AA_RO_CPB/Item_07_-_PM_APAVF_Enc.1.pdf). Acesso em: 22 out. 2022.

GESTA. UFMG. **CONFLITO E RESISTÊNCIA À INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO DA MINA E DO MINERODUTO DO PROJETO MINAS-RIO**. 2021. GESTA. Disponível em: <https://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/conflito/?id=582>. Acesso em: 06 jun. 2022.

GODOY, Emilio. **Seca e conflitos por água trazem instabilidade ao México**. 2021. Disponível em: <https://dialogochino.net/pt-br/mudanca-climatica-e-energia-pt-br/43991-mexico-vive-entre-a-seca-e-os-conflitos-por-agua/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

GOODWIN, K. L. (1997). **Dinâmica das populações de Cyanobacteria no reservatório da Pampulha (MG) em duas escalas temporais**. Dissertação de mestrado, ICB-UFMG, Belo Horizonte.

GOSS, D. W. Screening Procedure for Soils and Pesticides for Potential Water Quality Impacts. **Weed Technology**, v. 6, p. 701-708, 1992.

GRAY, D.; SODOFF, C. W.; 2007. **Sink or Swim? Water security for Growth and development Water Policy** 9 (2007) 545-571.

GWP. (2000). **Towards water security: a framework for action**. Global Water Partnership, Estocolmo.

GWP. (2012). **Rio + 20 Segurança Hídrica para crescimento e sustentabilidade**. Global Water Partnership.

HOCKMÜLLER, T. **Madrugada na Serra Catarinense teve temperatura de -5,8°C; em Criciúma termômetros marcaram 2 °C.** 2022. Disponível em: <https://www.engeplus.com.br/noticia/clima/2022/madrugada-na-serra-catarinense-teve-temperatura-de-5-8-c-em-criciuma-termometros-marcaram-2-c>. Acesso em: 25 jul. 2022.

ALLONDA. Estruturas para captação de água subsuperficial, superficial e pluvial. 2022. Disponível em: <https://allonda.com/estruturas-para-captacao-de-agua-subsuperficial-superficial-e-pluvial/#:~:text=Esta%20capta%C3%A7%C3%A3o%20pode%20ser%20de,capta%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%A1gua%20das%20chuvas>. Acesso em: 22 jun. 2023.

IBGE. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

IBGE. **Ranking – Pecuária – Rebanhos (2020)**. 2020. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em: 09 jun. 2022.

IBRAM. **Gestão para a sustentabilidade na mineração: 20 anos de história**. 2012. Disponível em: <https://xdocs.com.br/doc/gestao-sustentabilidade-mineracao-vo9e7xgx1pnj>. Acesso em: 22 jun. 2022.

IEF. **Institucional**. 2022a. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/instituicao>. Acesso em: 17 set. 2022.

IEF. **Unidades de Conservação**. 2022b. Atualizado dia 27 de julho de 2022. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/unidades-de-conservacao>. Acesso em: 17 set. 2022.

IGAM. **Arrecadação da Cobrança Pelo Uso de Recursos Hídricos**. 2021. Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/sem-categoria/578-arrecadacao-da-cobranca-pelo-uso-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 17 jun. 2022.

IGARAPÉ. **Decreto nº 1104, de 16 de maio de 2003**. Igarapé, MG, 16 maio 2003. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/mg/i/igarape/decreto/2003/110/1104/decreto-n-1104-2003-dispoe-sobre-a-regulamentacao-da-apa-area-de-protecao-ambiental-do-municipio-de-igarape-criada-pela-lei-n-1306-de-16-de-maio-de-2003-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 30 set. 2022.

IGARASHI, T. ALOS mission requirements and specifications. **Advances in Space Research**, v. 28, n. 1, p. 127-131, 2001.

INPE. **Os satélites LANDSAT 5 e 7**. 2022. Disponível em: [http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57\\_PT.php](http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php). Acesso em: 17 jun. 2022.

IPCC. (2007). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis-Working Group I Contribution to the IPCC Fourth Assessment Report**. Intergovernmental Panel for Climate Change.

IPEA. **Balança comercial do agronegócio brasileiro apresenta superávit de US\$ 105,1 bilhões em 2021**. 2021. Disponível em:

[https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=38868](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=38868). Acesso em: 21 jul. 2022.

JARENTCHUK JR., O. **Diagnóstico morfodinâmico para a delimitação de áreas prioritárias à recuperação e conservação ambiental na bacia hidrográfica do rio Cachoeira – Antonina/PR**. Curitiba, 2009. Monografia (Curso de Bacharel em Geografia) – Universidade Federal do Paraná.

KUIVILA, Kathryn M.; HLADIK, Michelle L. Understanding the Occurrence and Transport of Current-use Pesticides in the San Francisco Estuary Watershed. **San Francisco Estuary & Watershed**, San Francisco, v. 1, n. 1, p. 2-19, out. 2008. Disponível em: [https://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water\\_issues/programs/bay\\_delta/docs/cmmt081712/sldmwa/kuivilaandhladik2008.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/bay_delta/docs/cmmt081712/sldmwa/kuivilaandhladik2008.pdf). Acesso em: 22 jun. 2023.

LADEIRA, E. A. 1980. **Metallogenesis of Gold at the Morro Velho Mine and in the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. London. 272 p. (PhD Thesis, University of Western Ontario).

LAGOA DA PAMPULHA. **Lagoa da Pampulha**. 2021. Disponível em: <https://www.lagoadapampulha.com.br/quantos-litros-de-agua-tem-na-lagoa-da-pampulha/>. Acesso em: 20 maio 2023.

LIMA, A. O. **DINÂMICA DO USO E COBERTURA DO SOLO SOBRE A ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL VARGEM DAS FLORES E ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Bambuí, 2018.

LIMA, D. **Tragédia em Brumadinho: vítima é identificada após mais de 2 anos**. 2021. Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2021/10/06/interna\\_gerais,1311834/tragedia-em-brumadinho-vitima-e-identificada-apos-mais-de-2-anos.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2021/10/06/interna_gerais,1311834/tragedia-em-brumadinho-vitima-e-identificada-apos-mais-de-2-anos.shtml). Acesso em: 06 jun. 2022.

MAGALHÃES JR., A. Variáveis e desafios do processo decisório no contexto dos Comitês de Bacia Hidrográfica no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], n. 8, p. 21-48, jun. 2001. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1414-753x2001000800003>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; COTA, G. E. M.; LEMOS, R. S. CONTRADIÇÕES E DESAFIOS PARA A PROTEÇÃO DE MANANCIAS HÍDRICAS EM MINAS GERAIS – OS CASOS DAS ÁREAS DE PROTEÇÃO ESPECIAL DE VARGEM DAS FLORES E SERRA AZUL – REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 17, n. 60, p. 1-16, dez. 2016. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/0134/9ee23a5c58e7be378a8d39d2f686f6e7e538.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; FERREIRA, L. L. B.; FELIPPE, M. F.; COSTA, F. C.; HORN, A. H. RELAÇÕES ENTRE PERDAS GEOQUÍMICAS E CONFIGURAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DE BACIAS FLUVIAIS DE BAIXA ORDEM NA BORDA OESTE DO ESPINHAÇO MERIDIONAL (MINAS GERAIS). **Revista Brasileira de Geomorfologia**,

[S.L.], v. 19, n. 2, p. 303-317, 1 abr. 2018. Revista Brasileira de Geomorfologia. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1306>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; NETTO, O. M. C. Ciência, cognição e informação na operacionalização da gestão participativa da água no Brasil. **Sociedade e Estado**, [S.L.], v. 18, n. 1-2, p. 221-256, dez. 2003. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-69922003000100012>.

MAGALHÃES, L. **Crise hídrica no Brasil**. 2016. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/crise-hidrica-no-brasil/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

MARINI, S. S. **CRISE HÍDRICA E O REGIME DE CHUVAS NA REGIÃO SUDESTE: A SECA DE 2013-2015**. 2018. 41 f. TCC (Graduação) – Curso de Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/9679/S%c3%82MIA%20SALDANHA%20MARIN%20I.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. Acesso em: 22 jul. 2022.

MARTINS, M. L. R. **Moradia e mananciais: Tensão e diálogo na metrópole**. São Paulo, FAUUSP/ Fapesp. 2006.

MATOS, A. C. S.; LEMOS, R. S.; SILVA, T. F. G.; ELEUTÉRIO, J. C.; NASCIMENTO, N. O. Evolução do uso e ocupação do solo em mananciais de abastecimento metropolitano na Região Metropolitana de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – SBRH, 2017, Florianópolis – SC. **Anais do XXII SBRH**. Florianópolis: [s. n.], 2017. p. 1-8.

MELO, L. D.; CONCEIÇÃO, C. D.; FERREIRA NETO, J. A.; ALEXANDRINO, J. S.; COTTA, J. A. O. O rompimento do mineroduto em Santo Antônio do Gramma/MG: impactos socioambientais na perspectiva da mídia nacional. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 16, p. 1-13, 17 dez. 2021. Research, Society and Development. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23930>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MELO, M. C.; JOHNSON, R. M. F. O CONCEITO EMERGENTE DE SEGURANÇA HÍDRICA. **Sustentare**, Três Corações, v. 1, n. 1, p. 72-92, dez. 2017.

MENDES, C. R.; DILARRI, G.; PELEGRINI, R. T. Aplicação da biomassa *Saccharomyces cerevisiae* como agente adsorvente do corante Direct Orange 2GL e os possíveis mecanismos de interações adsorbato/adsorvente. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 20, n. 4, p. 898-908, 2015.

METSUL. **EUA respondem pela maior parte dos danos de desastres em 2021**. 2022. Disponível em: <https://metsul.com/eua-respondem-pela-maior-parte-dos-danos-de-desastres-em-2021/>. Acesso em: 25 jul. 2022.

MILANEZ, B. MINERAÇÃO, AMBIENTE E SOCIEDADE: IMPACTOS COMPLEXOS E SIMPLIFICAÇÃO DA LEGISLAÇÃO. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, Juiz de Fora, v. 1, n. 16, p. 94-101, jun. 2017.

MINAS GERAIS (Estado). **Decreto Nº 20.793, de 08 de setembro de 1980**. Belo Horizonte, MG, 08 set. 1980. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=1096>. Acesso em: 25 mar. 2022.



MINAS GERAIS (Estado). **Deliberação Normativa nº 01, de 05 de maio de 2008.** 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. Belo Horizonte, MG, 13 maio 2008. Disponível em: <http://www.compe.org.br/estadual/deliberacoes/conjunta/1-2008.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2022.

MINAS Gerais Para o Mundo. **LAGOA DA PETROBRAS, CIDADE DE IBIRITÉ MINAS GERAIS BRASIL.** Ibirité: 2021. (10 min.), P&B. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jZGEZRZn1G8>. Acesso em: 10 jun. 2022.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 20.792, de 08 de setembro de 1980.** Belo Horizonte, MG.

MINAS GERAIS. **Lei nº 10.793, de 1992.** Belo Horizonte, MG, 03 jul. 1992.

MINAS GERAIS. **Lei nº 16.197, de 26 de junho de 2006.** Cria a Área de Proteção Ambiental de Vargem das Flores, situada nos Municípios de Betim e Contagem, e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, 26 jun. 2006. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5695>. Acesso em: 22 out. 2022.

MINAS, Agência. **IDE-Sisema completa quatro anos com 1,2 milhão de acessos em 81 países.** 2022. Disponível em: <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/ide-sisema-completa-quatro-anos-com-1-2-milhao-de-acessos-em-81-paises>. Acesso em: 25 mar. 2023.

MMA. **Mananciais.** 2022. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/8047-mananciais.html>. Acesso em: 22 jun. 2022.

MORAIS, J. L. M.; FADUL, E.; CERQUEIRA, L. S. LIMITES E DESAFIOS NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS POR COMITÊS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: um estudo nos estados do nordeste do brasil. **Read. Revista Eletrônica de Administração (Porto Alegre)**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 238-264, abr. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-2311.187.67528>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/read/a/nVyShJZgm9cJjknK6w3Vy8h/?lang=pt>. Acesso em: 17 jun. 2022.

MOVIMENTO PELAS SERRAS E ÁGUAS DE MINAS; Unidos Por Conceição; Associação Mato Dentro; Associação Comunitária Do Bairro Do Rosário; Laboratório De Cenários Socioambientais Em Municípios Com Mineração; Comissão Pastoral Da Terra; Associação Comunitária São Sebastião Do Bom Sucesso e Região. 2012. **Denúncia das violações de Direitos Humanos nas áreas pelo empreendimento Anglo Ferrous Minas-Rio Mineração S.A.**

MRN – MINERAÇÃO RIO DO NORTE. **Relatório anual de sustentabilidade 2014.** Porto Trombetas: MRN, 2015.

NASCIMENTO, J. F.; NASCIMENTO, A. P. B.; RAMOS, H. R. Análise de teorias e práticas relativas à governança ambiental de recursos hídricos. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, S.I., v. 7, n. 51, p. 128-142, fev. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Ana-Paula-Nascimento/publication/338168328\\_Analise\\_de\\_teorias\\_e\\_praticas\\_relativas\\_a\\_governanca](https://www.researchgate.net/profile/Ana-Paula-Nascimento/publication/338168328_Analise_de_teorias_e_praticas_relativas_a_governanca)

ambiental\_de\_recursos\_hidricos/links/5e13bbeb4585159aa4b82f55/Analise-de-teorias-e-praticas-relativas-a-governanca-ambiental-de-recursos-hidricos.pdf. Acesso em: 21 jul. 2022.

NETO, G. D. S. **AValiação DA GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS NA SUBBACIA HIDROGRÁFICA DO BOI BRANCO, MUNICÍPIO DE ITAÍ-SP**. 2016. 117 f. Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, 2016. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/148796/sampaioneto\\_gd\\_me\\_bot.pdf;jsessionid=B2D328C2BFEE23CCD408F7AAA8BBB360?sequence=3](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/148796/sampaioneto_gd_me_bot.pdf;jsessionid=B2D328C2BFEE23CCD408F7AAA8BBB360?sequence=3). Acesso em: 22 jun. 2022.

NETO, J. O. A.; COTA, G. E. M.; MENDES, L. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. M.; FELIPPE, M. F. Considerações sobre o ano hidrológico 2013-2014 e os seus reflexos nos caudais fluviais da bacia do rio Doce. **Geografias**, v. 1, n. Especial – Vale do Rio Doce: formação geo-histórica e questões atuais, p. 26-45, 2016.

NEVES-SILVA, P.; HELLER, L. Rompimento da barragem em Brumadinho e o acesso à água das comunidades atingidas: um caso de direitos humanos. **Ciência e Cultura**, [S.L.], v. 72, n. 2, p. 47-50, abr. 2020. FapUNIFESP. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602020000200013>. Acesso em: 18 jun. 2023.

NITHESHNIRMAL, S. Erosion risk assessment through morphometric indices for prioritisation of Arjuna watershed using ALOS-PALSAR DEM. **Springer**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 907-924, 06 mar. 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-019-00578-y>. Acesso em: 17 jun. 2022.

NONATO, V. S. B. **ANÁLISE DAS CHUVAS NA BAHIA, MINAS GERAIS E ESPÍRITO SANTO EM DEZEMBRO DE 2021**. 2021. INMET. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/an%C3%A1lise-das-chuvas-na-bahia-minas-gerais-e-espir%C3%ADto-santo-em-dezembro-de-2021>. Acesso em: 22 jun. 2022.

OCDE. (2013). Water Security for Better Lives, OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) **Studies on Water**, OECD Publishing.

OCDE. Water Resources Governance in Brazil. **Oecd Studies On Water**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-280, 2 set. 2015. OECD. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264238121-en>. Acesso em: 18 jun. 2023.

OLIVEIRA, J. **Comitê do Rio das Velhas teme colapso no uso da água que abastece BH e região**. 2018. Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2018/11/28/interna\\_gerais,1008643/comite-do-rio-das-velhas-teme-colapso-no-uso-da-agua-que-abastece-bh.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2018/11/28/interna_gerais,1008643/comite-do-rio-das-velhas-teme-colapso-no-uso-da-agua-que-abastece-bh.shtml). Acesso em: 25 mar. 2023.

OLIVEIRA, M. G. B.; BAPTISTA, M. B. (1997). Análise da evolução temporal da produção de sedimentos na bacia hidrográfica da Pampulha e avaliação do assoreamento do reservatório. Anais. **XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória**.

ONU. **O Direito Humano à Água e Saneamento**. 2013. Disponível em: [https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief\\_por.pdf](https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf). Acesso em: 22 jun. 2022.

OTB. **TrainImagesClassifier**. 2022. Disponível em: [https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook/Applications/app\\_TrainImagesClassifier.html](https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook/Applications/app_TrainImagesClassifier.html). Acesso em: 17 jun. 2022.

PEARSON, K. (1892). **The grammar of science**. London, J. M. Dent and Company.

PEIXOTO, F. F., MARINHO, G., RODRIGUES, K. Corantes têxteis: uma revisão. **Revista Holos**, 2013.

PESSOA, M. C. P. Y. **Modelagem**. 2022. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura\\_e\\_meio\\_ambiente/arvore/CONTA\\_G01\\_14\\_299200692526.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTA_G01_14_299200692526.html). Acesso em: 10 jun. 2022.

PONTES, P. M. M. A Índia no século XXI: desafios de uma potência em ascensão. **Cadernos de Política Exterior**, Brasília, v. 21, n. 9, p. 265-300, ago. 2020. Disponível em: [http://funag.gov.br/biblioteca/download/cadernos\\_n9\\_21ago20D.pdf#page=265](http://funag.gov.br/biblioteca/download/cadernos_n9_21ago20D.pdf#page=265). Acesso em: 25 jul. 2022.

PRIYA, E. S.; SELVAN, P. S.; UMayAL, A. N. Biodegradation studies on dye effluents and selective remazol dyes by indigenous bacterial species through spectral characterization. **Desalination and Water Treatment**, v. 55, p. 241-251, 2015.

PROPAM (2018). **Programa de Recuperação e Desenvolvimento Ambiental da Bacia da Pampulha – Relatório Técnico**.

PREFEITURA DE IGARAPÉ. APA. 2011. Disponível em: <https://www.igarape.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/apa/6524>. Acesso em: 22 jun. 2023.

QUIERATI, L. **TRAGÉDIA EM BRUMADINHO**. 2019. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2019/06/25/brumadinho-5-meses-apos-tragedia.ht>>. Acesso em: 02 jun. 2022.

RAMIREZ, R. **Estudo da ONU sobre incêndios florestais: é hora de “aprender a viver com fogo”**. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/estudo-da-onu-sobre-incendios-florestais-e-hora-de-aprender-a-viver-com-fogo/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, us e conservação**. 3. Ed. São Paulo: Escrituras editora. 2006. 748p.

REIS, M. O.; MOURA, A. C. M. B.; COTA, G. E. M.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Panorama dos rompimentos de barragens de rejeito de minério no mundo. **Caderno de Geografia**, [S.L.], v. 30, n. 61, p. 368, 5 abr. 2020. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2020v30n61p368>. Acesso em: 18 jun. 2023.

REIS, R. C.; SOUSA, W. T. Métodos de lavra de rochas ornamentais. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 3, n. 56, p. 207-209, set. 2003.

RESCK R. P. (2007). **Avaliação morfológica e estudo da variação horizontal de parâmetros limnológicos do reservatório da Pampulha**. Dissertação de mestrado, ICB/UFMG, Belo Horizonte.

RIBEIRO, M. C. M. **Avaliação da possibilidade de reuso de Efluentes Têxteis após tratamento complementar por Processos Oxidativos Avançados**. 2009. 93 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

RICE, E. W. **STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER**. New York: American Public Health Association, 2017.

RODRIGUES, C. C. **Casa de Pedra: sua história, suas histórias**. [s.l.]: Edição Independente, 2011.

RODRIGUES, J. E. R. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação**. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2005

RODRIGUES, N. C.; ELEUTERIO, J. C.; SILVA, T. F. G; NASCIMENTO, N. ADEQUABILIDADE QUANTO AO USO DO SOLO NA ÁREA DE DRENAGEM DO RESERVATÓRIO SERRA AZUL – MG. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**. Florianópolis, p. 1-8. dez. 2017.

ROSIÈRE, C. A., RIOS, F. J., 2004. The origin of hematite in high-grade iron ores based on infrared microscopy and fluid inclusion studies: the exemple of the Conceição mine, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Economic Geology**, 99, 611-624.

ROTONDANO, A. K. F.; MELO, B. **SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**. 2022. Disponível em: <http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/irriga4.html>. Acesso em: 22 jun. 2022.

RUBIRA, F. G.; DE MELO, G. D. V.; DE OLIVEIRA, F. K. S. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 33, n. 1, 2016.

SACRAMENTO, I. F.; MICHEL, R. F. M. IMPACTO DO NOVO CÓDIGO FLORESTAL NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DAS APAS SERRA DO OURO, LAGOA ENCANTADA E RIO ALMADA E COSTA DE ITACARÉ-SERRA GRANDE. **69<sup>o</sup> Reunião Anual da Sbpcc – 16 A 22 de Julho de 2017 – UFMG – Belo Horizonte/Mg**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 1-4, jul. 2017. Disponível em: [http://www.sbpccnet.org.br/livro/69ra/resumos/resumos/2253\\_1f8f1602ce0f261f2153e4e6cdfb4e47.pdf](http://www.sbpccnet.org.br/livro/69ra/resumos/resumos/2253_1f8f1602ce0f261f2153e4e6cdfb4e47.pdf). Acesso em: 25 jul. 2022.

SAMARCO – SAMARCO MINERAÇÃO S. A. **Relatório de Sustentabilidade 2014**.

SANO, E. E. *et al.* ANÁLISE DE IMAGENS DO SATÉLITE ALOS PALSAR PARA O MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA TERRA DO DISTRITO FEDERAL. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 441-451, dez. 2009. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/2976/3018>. Acesso em: 17 jun. 2022.

SANTORO, Marcelo. **Agricultura irrigada ideal e produtiva**. 2021. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/wp-content/uploads/2021/06/agricultura-irrigada-20210629133437.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2023.

SANTOS, B. B. M. Water security in the metropolitan region of Rio de Janeiro: contributions to the debate. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 103-120, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc150132r1v1912016>. Acesso em: 19 jun. 2023.

SANTOS, D.; CAMERA, R.; BERTICELLI, R. SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL: UM IMPORTANTE ALICERCE NA QUALIDADE DE VIDA. **Ciência e Tecnologia**, Cruz Alta, v. 2, n. 1, p. 23-43, ago. 2018.

SARAIVA, M. G. O. **Rio como Paisagem**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian/Fundação para a Ciência e Tecnologia, 1999.

SARTORI, M. P. L. **MÉTODO PARA ELABORAR CRITÉRIOS DE INVESTIMENTOS APLICÁVEL AOS COMITÊS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**. 2019. 156 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Unicamp, Campinas, 2019. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ceivap.org.br/downloads/Sartori\\_MarcosPauloLallo\\_D.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ceivap.org.br/downloads/Sartori_MarcosPauloLallo_D.pdf). Acesso em: 25 mar. 2023.

SCHIER, R. A. TRAJETÓRIAS DO CONCEITO DE PAISAGEM NA GEOGRAFIA. **R. Ra'e Ga**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 79-85, dez. 2003.

SCHOLEFIELD, D.; HALL, D. M. (1986) A recording penetrometer to measure the strength of soil in relation to the stresses exerted by a walking cow. **J. Soil Sci.**, 37: 165-176.

SILVA, A. F.; FAULHABER, P. Bento Rodrigues e a memória que a lama não apagou: o despertar para o patrimônio na (re)construção da identidade no contexto pós-desastre. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 1-11, abr. 2020. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2178-2547-bgoeldi-2019-0126>. Acesso em: 19 jun. 2023.

SILVA, D. R. O.; AVILA, L. A.; AGOSTINETTO, D.; BENDT, A. D. C.; PRIMEL, E. G.; CALDAS, S. S. Ocorrência de agrotóxicos em águas subterrâneas de áreas adjacentes a lavouras de arroz irrigado. **Química Nova**, v. 34, p. 748-752, 2011.

SILVA, D. A. A. C. **Estudo da análise temporal da ocupação urbana no rio Betim/MG, utilizando imagens orbitais do Satélite Landsat TM5 1997 a 2009**. Monografia (Especialista) – Especialização em Geoprocessamento, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SILVA, J. M.; SANTOS, J. R. Toxicologia de agrotóxicos em ambientes aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, p. 565-573, 2007.

SILVA, O. P. A MINERAÇÃO EM MINAS GERAIS: PASSADO, PRESENTE E FUTURO. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 3, n. 8, p. 77-86, 01 jul. 1995.

SILVA, S. M. O.; SOUZA FILHO, F. A.; CID, D. A. C.; AQUINO, S. H. S.; XAVIER, L. C. P. Proposta de gestão integrada das águas urbanas como estratégia de promoção da segurança hídrica: o caso de fortaleza. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 239-250, abr. 2019. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019181776>. Acesso em: 19 jun. 2023.

SILVIA; SHIMAKURA. **Interpretação do coeficiente de correlação**. 2006. Disponível em: <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html>. Acesso em: 12 abr. 2023.

SIMÕES, F. M. **Variabilidade da qualidade química das impurezas no processo de desaguamento da polpa de minério de ferro da Anglo American Brasil**. 2021. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Química, Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/14572/1/Dissertacao.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2022.

SINAI, L. **Random forest classifier from scratch in Python**. 2020. Disponível em: <https://liorsinai.github.io/coding/2020/09/29/random-forests.html>. Acesso em: 17 jun. 2022.

SOARES, C. J. F.; PASSOS, A. N. BARRAGENS DE REJEITOS: riscos e impactos da mineração na população do entorno. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, [S.L.], p. 121-136, 30 set. 2021. Servicios Académicos Intercontinentales S.L. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.51896/ccs/wqmt6395>. Acesso em: 19 jun. 2023.

SOUZA, A. A. **Qualidade da Água e Uso do Solo na Bacia do Ribeirão Serra Azul (MG)**. 2003. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Recursos Minerais e Hidrologia, USP, São Paulo, 2003a.

SOUZA, A. D. **Variações espaciais e temporais de parâmetros de qualidade de água em um reservatório tropical (Represa de Vargem das Flores – Contagem – MG) e suas implicações com aspectos limnológicos**. 2003. 153 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2003b.

THOMAZ, E. L.; DIAS, W. A. BIOEROSÃO – EVOLUÇÃO DO REBANHO BOVINO BRASILEIRO E IMPLICAÇÕES NOS PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Guarapuava, v. 10, n. 2, p. 3-11, nov. 2009.

TIEPO, L. P. R. *et al.* AS FALHAS DA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Águas Aspectos Jurídicos e Ambientais**, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 1-14, dez. 2017. Disponível em: <http://www.site.ajes.edu.br/jornada/arquivos/20140429004318.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2022.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: Unesco, 2003. 178 p. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000129870>. Acesso em: 22 jun. 2022.

UNESCO; WWAP; UN-WATER. **O VALOR DA ÁGUA**. Perúgia: Unesco, 2021. 12 p. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por). Acesso em: 21 jul. 2022.

UNESCO. UNITED NATIONS EDUCATION, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **Managing Water under Uncertainty and Risk**. UNESCO, Parte 2. wwdr4, 2012. p. 230-370. Disponível em: <http://www.unesco.org>. Acesso em: 15 jun. 2022.

USDA. **Statistics for Meat and Poultry**. 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home/statsByCountry>. Acesso em: 09 jun. 2022.

USGS. **MINERAL COMMODITY SUMMARIES 2020**. Washington: Usgs, 2020. 204 p. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022.

VALE. **Relatório de Sustentabilidade 2015**. Rio de Janeiro: Vale S.A., 2016.

VASCONCELOS, J. A. *et al.* Estudos de caracterização e concentração de itabirito compacto do complexo serra azul, MG. **Tecnol. Metal. Mater. Miner**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 89-94, jun. 2012.

VICTORINO, V. I. P. Monopólio, conflito e participação na gestão dos recursos hídricos. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 47-62, dez. 2003. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1414-753x2003000300004>. Acesso em: 19 jun. 2023.

VELINI, E.D.; CORRÊA, M.R.; TANAKA, R.H.; BRAVIN, L.F.; ANTUNIASSI, U.R.; CARVALHO, F.T.; GALO, M.L.B.T.. Avaliação operacional do controle mecânico de plantas aquáticas imersas no reservatório de Jupiaá. **Planta Daninha**, [S.L.], v. 23, n. 2, p. 277-285, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582005000200015>

WALBERT, A. **ONU reforça tema da água na agenda do Conselho de Segurança**. 2013. Disponível em: <https://memoria.ebc.com.br/noticias/meio-ambiente/2013/03/onu-reforca-tema-da-agua-na-agenda-do-conselho-de-seguranca>. Acesso em: 22 jul. 2022.

WARD, M.; JONES, R; BRENDER, J; KOK, T.; WEYER, P.; NOLAN, B.; VILLANUEVA, C.; VAN BREDA, S. Drinking Water Nitrate and Human Health: an updated review. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 1557, 23 jul. 2018. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph15071557>. Acesso em: 19 jun. 2023.

WILKS, J. **Os fatores que levaram às cheias mortais na Alemanha e o desafio da reconstrução**. 2021. Disponível em: <https://pt.euronews.com/green/2021/10/18/os-fatores-que-levaram-as-cheias-mortais-na-alemanha-e-o-desafio-da-reconstrucao>. Acesso em: 22 jun. 2022.

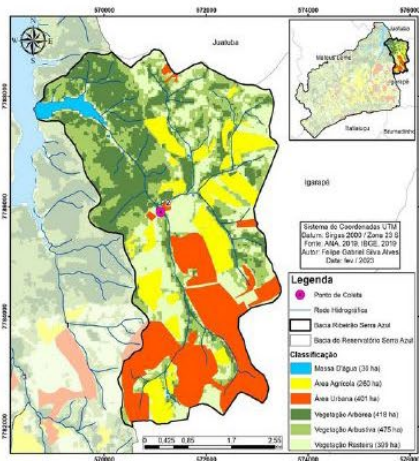
WWAP. **UN World Water Development Report 2017**. Paris: Unesco, 2017. 12 p. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por). Acesso em: 21 jul. 2022.

WWW. Natural water retention measures: Cost-Effectiveness. In: **WORLD WATER WEEK**, 1., 2022, Stockholm. **World Water Week**. Stockholm: Antea, 2022. p. 1-12. Disponível em: <https://worldwaterweek.org/event/10235-natural-water-retention-measures-cost-effectiveness>. Acesso em: 23 jul. 2022.



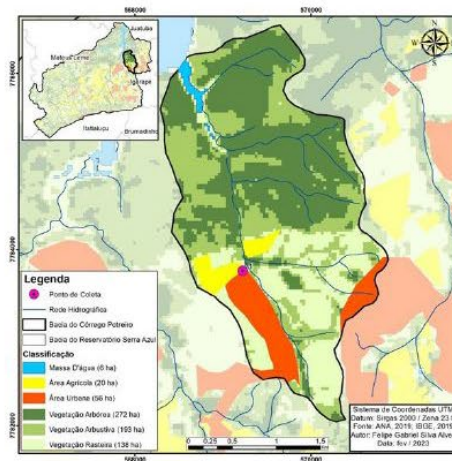
## APÊNDICE A – Síntese dos resultados nas bacias e sub-bacias do reservatório Serra Azul

### Ribeirão do Diogo



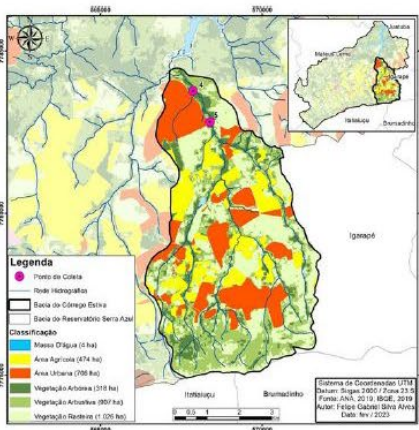
#### Córrego Curralinho (Ponto 2)

- Área total 1.983ha
- APA Igarapé
- 33% de Áreas Antrópicas;
- Entulhos e Pneus na calha
- Nenhum parâmetro foi reprovado



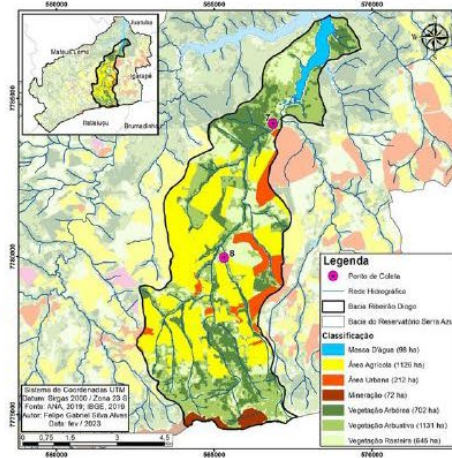
#### Córrego Potreiro (Ponto 1)

- Área total 686ha
- APA Igarapé
- 11% de Áreas Antrópicas;
- Área cercada pela COPASA (59%);
- COPASA possui 95% de Veg. Arbórea;
- Reprovações em Fósforo e Nitrato, OD, pH e Turbidez;



#### Córrego Estiva (Pontos 3 e 4)

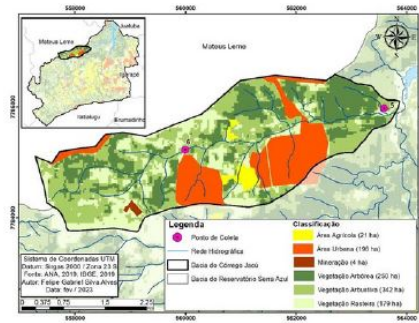
- Área total 3.438ha
- APA Igarapé
- Área cercada pela COPASA (2%)
- Usos Antrópicos (48%)
- Reprovações em Fósforo, pH, Turbidez;
- Presença de lagoas artificiais para paisagismo nos condomínios;



#### Ribeirão do Diogo (Pontos 7 e 8)

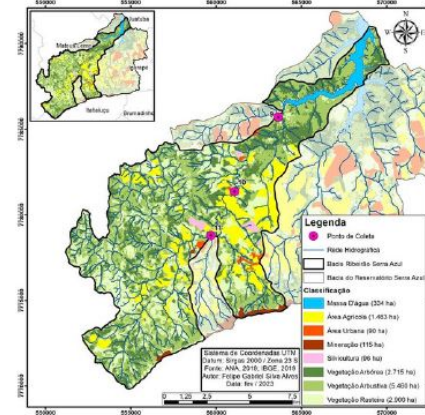
- Área total 10.097ha (3.990ha)
- APA Igarapé (Margem Direita)
- Usos Antrópicos (33%)
- Vegetação concentrada na área da COPASA e na escarpa da Serra Azul;
- Problemas no Fósforo, pH, Nitrato, OD, DBO e Turbidez;

Ribeirão Serra Azul



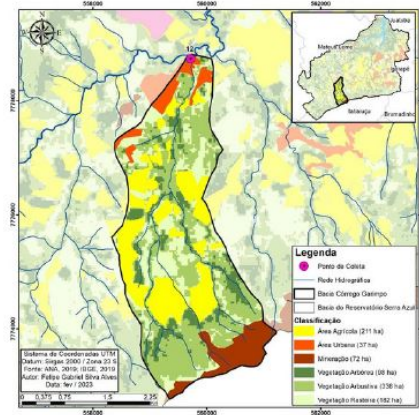
Córrego Jacú (Pontos 5 e 6)

- Área total 998ha
- 22% de Áreas Antrópicas;
- Parametros reprovados: Turbidez, OD, DBO e Fósforo



Ribeirão Serra Azul (Pontos 9, 10 e 11)

- Área total 15.146ha (13.210ha)
- 17% de Áreas Antrópicas;
- Área cercada pela COPASA (59%);
- COPASA possui 29% de Veg. Arbórea;
- Reprovações em DBO, Fósforo e Turbidez, pH e OD



Córrego Garimpo (Ponto 12)

- Área total 938ha;
- Bacia isolada (Próxima à Serra Azul);
- 34% de área antrópica;
- Mineração na cabeceira(ArcelorMittal);
- Problemas nos parâmetros de Turbidez (Chuva);

Fonte: Autoria Própria