

LUCAS JESUS DA SILVEIRA

**SELEÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E ELEIÇÃO DE MICROBACIAS COM JAZIDAS
DE BAUXITA PARA FINS DE MONITORAMENTO AUTOMATIZADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S587s
2022
Silveira, Lucas Jesus da, 1990-
Seleção, caracterização e eleição de microbacias com
jazidas de bauxita para fins de monitoramento automatizado /
Lucas Jesus da Silveira. – Viçosa, MG, 2022.
1 tese eletrônica (103 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal, 2022.
Referências bibliográficas: f. 78-103.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.108>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Bacias hidrográficas. 2. Bauxita Minas e mineração.
3. Morfometria. 4. Nascentes. 5. Hidrologia florestal. I. Dias,
Herly Carlos Teixeira, 1965-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 22. ed. 634.9116

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto Pires CRB-6/2523

LUCAS JESUS DA SILVEIRA

SELEÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E ELEIÇÃO DE MICROBACIAS COM JAZIDAS
DE BAUXITA PARA FINS DE MONITORAMENTO AUTOMATIZADO

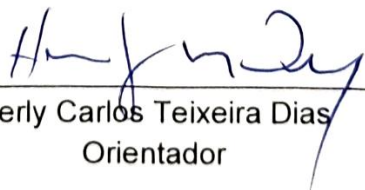
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 16 de dezembro de 2022.

Assentimento:



Lucas Jesus da Silveira
Autor



Herly Carlos Teixeira Dias
Orientador

À Érica, minha esposa.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha esposa, Érica Luiza, pela companhia, cumplicidade e amor.

Aos meus pais, irmãos e sobrinhos, pelas orações e torcida.

Ao professor Herly Dias, pelos incentivos e orientação.

À banca examinadora, pelo aceite e contribuições.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao Departamento de Engenharia Florestal e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, pela oportunidade de pesquisa.

Ao Laboratório de Hidrologia Florestal, pela confiança no trabalho.

À Companhia Brasileira de Alumínio – CBA, pela oportunidade de trabalho e apoio financeiro.

À Sociedade de Investigações Florestais – SIF, pelo apoio administrativo.

Aos produtores rurais, superficiários e seus familiares, pela parceria e confiança nesta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao contribuinte.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2009-2014), atuou como estagiário nas áreas de Técnicas Silviculturais e Viveiros Florestais, Botânica e Manejo Florestal, tendo defendido sua monografia nas áreas de Paisagismo e Fitopatologia, intitulada “A estética na dendrocirurgia”.

Defendeu sua Dissertação em Ciência Florestal, “Escoamento superficial em áreas de mineração de bauxita, pré e pós lavra, na Zona da Mata Mineira”, em 2017, na mesma universidade, sendo premiada no 20º Prêmio de Excelência da Indústria Minero-metalúrgica Brasileira 2018, na Categoria Meio Ambiente, pela Revista Minérios & Minerales.

Ingressou no Doutorado em 2018, no Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, continuando os estudos de Hidrologia Florestal e Manejo de Bacias Hidrográficas com foco na indústria de mineração de bauxita, desenvolvendo seu Projeto de Pesquisa dentro do Programa de Estudos Hidrológicos na CBA, do Laboratório de Hidrologia Florestal da UFV, cujo escopo foi a seleção e monitoramento de nascentes em área de mineração de bauxita.

RESUMO

SILVEIRA, Lucas Jesus da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2022. **Seleção, caracterização e eleição de microbacias com jazidas de bauxita para fins de monitoramento automatizado.** Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.

A mineração pode ocasionar alterações na qualidade e quantidade de água produzida pelas microbacias, por ocasião da alteração temporária ou permanente do uso do solo. Neste sentido, torna-se necessário priorizar e monitorar as microbacias afetadas para verificar a natureza e a magnitude da influência da mineração sobre a dinâmica e qualidade hídrica, uma vez que essas áreas possuem maior interdependência entre os recursos ambientais. O objetivo geral foi selecionar, caracterizar e monitorar um conjunto de microbacias (BH) com jazidas de bauxita em sua área de drenagem com previsão de lavra entre 2022 a 2027, e indicar, ao final, quatro BH prioritárias ao monitoramento automatizado, na região da Zona da Mata de Minas Gerais, Brasil. Também foram levantados os principais parâmetros de qualidade de água a serem indicados ao monitoramento, bem como, as oportunidades de publicações internacionais sobre o tema. Foi verificado que há espaço e oportunidade de publicação em periódicos internacionais com alto fator de impacto para estudos que investigam a mineração de bauxita e a qualidade de água, sobretudo em microbacias. A qualidade da água pode depreciar com o despejo de minério, ocasionada pela solubilização de prótons e suspensão de particulados. A prospecção em ambiente SIG levantou 74 microbacias que foram submetidas a uma metodologia de seleção própria, sendo selecionadas sete microbacias: BH03, BH06, BH11, BH29, BH31, BH41 e BH61. A análise morfométrica caracterizou com significativa precisão o comportamento hidrológico das microbacias selecionadas, como a susceptibilidade a ocorrência de picos de vazão, indicado pelo formato mais compacto (BH06, BH29 e BH61), maior inclinação média e amplitude altimétrica (BH03, BH29 e BH31) e mal drenadas (BH11 e BH41). O monitoramento da vazão e pluviometria ocorreu durante 82 semanas e possibilitou validar as expectativas do comportamento das microbacias selecionadas. Menor variação na vazão média durante os períodos de chuva e seca, bem como, menor vazão de pico durante as chuvas foi observado para BH03 e BH41. Maior variação na vazão média foi constatada para BH06, BH11, BH29 e BH61. Maior vazão de pico foi observada para BH06, BH11, BH29, BH31 e BH61. Com isso,

sugere-se que as microbacias BH03, BH06, BH11 e BH29 são prioritárias ao monitoramento hídrico automatizado, dado as acentuadas inclinações do terreno, o formato compacto, a expressiva variação na vazão média, aos picos de vazão durante as chuvas ou tendência de seca durante estiagens e má drenagem.

Palavras-chave: Bacias hidrográficas. Mineração. Morfometria. Nascentes. Hidrologia florestal.

ABSTRACT

SILVEIRA, Lucas Jesus da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2022. **Selection, characterization, and election of watersheds with bauxite deposits for automated monitoring purposes.** Adviser: Herly Carlos Teixeira Dias.

Mining can cause changes in the quality and quantity of water produced by microbasins, due to temporary or permanent changes in land use. In this sense, it becomes necessary to prioritize and monitor the affected microbasins to verify the nature and magnitude of the influence of mining on the dynamics and water quality, since these areas have greater interdependence between environmental resources. The general objective was to select, characterize and monitor a set of microbasins (BH) with bauxite deposits in their drainage area with mining forecast between 2022 to 2027, and to indicate, in the end, four priority BH for automated monitoring, in the region of Zona da Mata de Minas Gerais, Brazil. The main water quality parameters to be indicated for monitoring were also raised, as well as the opportunities for international publications on the subject. It was verified that there is space and opportunity for publication in international journals with a high impact factor for studies that investigate bauxite mining and water quality, especially in microbasins. Water quality can deteriorate with ore discharge, caused by proton solubilization and particulate suspension. Prospecting in a GIS environment raised 74 watersheds that were submitted to a specific selection methodology, with seven watersheds being selected: BH03, BH06, BH11, BH29, BH31, BH41 and BH61. The morphometric analysis characterized with significant precision the hydrological behavior of the selected microbasins, such as the susceptibility to the occurrence of flow peaks, indicated by the more compact format (BH06, BH29 and BH61), greater slope and altimetric amplitude (BH03, BH29 and BH31) and poorly drained (BH11 and BH41). The monitoring of flow and pluviometry occurred for 82 weeks and made it possible to validate the expectations of the behavior of the selected microbasins. Less variation in the average flow during the rainy and dry periods, as well as a lower peak flow during the rains was observed for BH03 and BH41. Greater variation in the average flow was found for BH06, BH11, BH29 and BH61. Higher peak flow was observed for BH06, BH11, BH29, BH31 and BH61. With this, it is suggested that the BH03, BH06, BH11 and BH29 microbasins are a priority for automated water monitoring, given the steep

slopes, the compact format, the expressive variation in the average flow, the flow peaks during the rains or drought tendency during droughts and poor drainage.

Keywords: Watersheds. Mining. Morphometry. Springs. Forest Hydrology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 – Número de publicações e locais do estudo por ano, no período de 2000 a 2020-novembro | 27 |
| Figura 1.2 – Principais primeiros autores dos artigos revisados, em ordem alfabética e do número de publicações | 29 |
| Figura 1.3 – Metais, metaloides e não-metais analisados nos artigos revisados | 30 |
| Figura 1.4 – Parâmetros e indicador (IQA – índice de qualidade de água) de qualidade de água presentes nos artigos revisados, sendo: pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; OD – oxigênio dissolvido; SDT – sólidos dissolvidos totais; HCO ₃ ⁻ – bicarbonato (alcalinidade); NH ₃ -N – nitrogênio amoniacal; DBO – demanda bioquímica por oxigênio; DQO – demanda química por oxigênio; SO ₄ – sulfatos; SST – sólidos solúveis totais; CO ₃ dissolvido – carbonato de cálcio dissolvido (alcalinidade); NO ₃ – nitrato; Eh – potencial redox; Comp. princ. íons – composição dos principais íons; TH – dureza total; P-total – fósforo total | 32 |
| Figura 2.1– Mapa de localização da área de estudo e das jazidas de bauxita analisadas, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil | 40 |
| Figura 2.2 – Fluxograma das operações de seleção (A) e morfometria (B) das microbacias sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil..... | 42 |
| Figura 2.3 – Medição da vazão instantânea em uma das microbacias selecionadas, com uso de balde, proveta e cronômetro, Muriaé-MG, 2021 | 47 |
| Figura 2.4 – Pluviômetro instalado na microbacia BH29 (A) e procedimento de medição da pluviometria acumulada com uso de proveta (B; C), Muriaé-MG, 2021 | 48 |
| Figura 2.5 – Localização e identificação das microbacias selecionadas para o monitoramento hidrológico sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil | 54 |
| Figura 2.6 – Rota de deslocamento pré-estabelecida para coleta de dados do monitoramento semanal | 55 |
| Figura 2.7 – Nível de sombreamento do terreno das microbacias selecionadas para o monitoramento hidrológico sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil | 61 |
| Figura 2.8. Inclinações e classes de relevo (EMBRAPA, 1979) das microbacias selecionadas para o monitoramento hidrológico sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil | 64 |
| Figura 2.9: Curva hipsométrica percentual (CH) e integral hipsométrica (Hi) das microbacias hidrográficas selecionadas para monitoramento hidrológico com jazidas de bauxita ainda não exploradas em sua área de drenagem, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2022 | 66 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.10: Vazão média mensal (l/s) e precipitação acumulada mensal (mm) para as sete microbacias selecionadas com jazida de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, setembro de 2020 a março de 2022..... | 69 |
| Quadro 1.1 – Palavras-chave e seu número de aparições (Nº Artigos) nos artigos revisados, em ordem alfabética e de número de publicações | 25 |
| Quadro 1.2: Autores e seu número de publicações (Publi.) dos artigos revisados, em ordem alfabética e do número de publicações | 28 |
| Quadro 2.1 – Aplicação remota de nove subcritérios referentes às jazidas de bauxita, às áreas e aos canais de drenagem para as 74 microbacias prospectadas e seleção das microbacias, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2020 ... | 50 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1.1 - Resumo do número de artigos encontrados, selecionados, repetidos, excluídos e incluídos e dos termos descritores utilizados na revisão sistemática na base de dados Web of Science, entre os dias 20 a 21 de novembro de 2020..... | 22 |
| Tabela 1.2 – Nome dos periódicos, número de publicações, uso de método de revisão por pares e fator de impacto das revistas dos artigos revisados, em ordem alfabética e do número de publicações | 23 |
| Tabela 2.1 – Critérios, subcritérios, pesos e formas de uso para a seleção das microbacias hidrográficas sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil | 44 |
| Tabela 2.2 – Parâmetros morfométricos analisados nas microbacias selecionadas sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil..... | 46 |
| Tabela 2.3 – Resultado da seleção, identificação das microbacias hidrográficas, dos respectivos proprietários e os subcritérios utilizados na segunda etapa da seleção, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2020 | 53 |
| Tabela 2.4 – Horário médio de coleta de dados nas microbacias monitoradas semanalmente | 55 |
| Tabela 2.5 – Parâmetros morfométricos analisados das microbacias selecionadas, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2022 | 56 |
| Tabela 2.6 – Parâmetros das jazidas de bauxita contidas nos limites das áreas de drenagens das microbacias selecionadas, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2022 | 57 |
| Tabela 2.7 – Percentual do nível de sombreamento da área de cada microbacia selecionada sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2022 | 61 |
| Tabela 2.8 – Percentual de distribuição das classes de declividade, Adaptado de EMBRAPA (1979), para cada microbacia selecionada sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2022..... | 63 |
| Tabela 2.9 – Vazões de pico e mínimas observadas para cada microbacia selecionada sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, setembro de 2020 a março de 2022..... | 70 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO GERAL | 15 |
| OBJETIVO GERAL | 17 |
| 1. CAPÍTULO I ANÁLISE DA PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE QUALIDADE DE ÁGUA EM ÁREAS DE MINERAÇÃO DE BAUXITA | 18 |
| RESUMO | 18 |
| ABSTRACT | 19 |
| 1.1. INTRODUÇÃO | 20 |
| 1.2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 21 |
| 1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 22 |
| 1.4. CONCLUSÕES..... | 33 |
| 2. CAPÍTULO II SELEÇÃO, MORFOMETRIA, VAZÃO E ELEIÇÃO DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS SOB INFLUÊNCIA DE JAZIDAS DE BAUXITA | 35 |
| RESUMO | 35 |
| ABSTRACT | 36 |
| 2.1. INTRODUÇÃO | 37 |
| 2.2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 38 |
| 2.2.1. Área de estudo | 39 |
| 2.2.2. Prospecção e seleção das microbacias hidrográficas | 41 |
| 2.2.2.1. Processamento dos dados | 41 |
| 2.2.2.2. Critérios de seleção | 43 |
| 2.2.2.3. Análise da seleção..... | 44 |
| 2.2.3. Morfometria das microbacias hidrográficas | 45 |
| 2.2.4. Vazão e Pluviometria..... | 47 |
| 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 48 |
| 2.3.1. Seleção das microbacias hidrográficas | 49 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.3.2. | Morfometria das microbacias hidrográficas | 56 |
| 2.3.3. | Vazão e Pluviometria..... | 68 |
| 1.5. | Eleição e indicações ao monitoramento hidrológico automatizado | 72 |
| 2.4. | CONCLUSÕES..... | 75 |
| | CONCLUSÕES GERAIS..... | 76 |
| | REFERÊNCIAS..... | 78 |

INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso essencial à vida e sua conservação é essencial ao desenvolvimento sustentável, mantendo os serviços ecossistêmicos, os processos produtivos e o suprimento de água doce às populações (KUMARI; ESLAMIAN, 2021). Alterações no uso do solo, como a mineração, geram perturbações nos processos hidrológicos pré-existentes, prejudicando a manutenção desses serviços ecossistêmicos (YOUNGER; BANWART; HEDIN, 2002; KUMARI; ESLAMIAN, 2021).

A necessidade de acompanhar e de avaliar qualquer alteração instantânea ou a longo prazo na qualidade e na dinâmica hídrica das microbacias afetadas por atividade minerária, exige a instalação de sistemas de monitoramento anterior à perturbação (JARVIS *et al.*, 2019), acompanhando até a fase de reabilitação (MAYES *et al.*, 2021).

Dados na literatura de monitoramento hidroquímico em bacias hidrográficas sob grandes perturbações, como com mineração, ainda são escassos (MAYES *et al.*, 2021), o que exige uma investigação e análise aprofundada dos impactos, dos desafios e das oportunidades de ação para proteção desses ambientes (ADAME *et al.*, 2019). A caracterização e avaliação hidrológica também norteiam e apoiam a sustentabilidade das atividades econômicas e sociais exercidas na bacia hidrográfica (KUMARI; ESLAMIAN, 2021).

A bauxita é o principal minério do qual o alumínio metálico é extraído (ABAL, 2019), entretanto, os impactos na qualidade dos recursos hídricos são mais investigados na indústria de alumina (SUN *et al.*, 2019; ABUQUERQUE *et al.*, 2020; NGUYEN *et al.*, 2021;) do que durante a exploração do minério, que pode apresentar parâmetros diferentes daquele observado pelo efluente do processamento Bayer (KUSIN *et al.*, 2017).

O Brasil tem participação de destaque no cenário mundial, tanto na quantidade de reservas como na produção de bauxita (ABAL, 2019). Os

depósitos de bauxita da Zona da Mata mineira são os mais antigos e se estendem em um grande cinturão aluminoso, da cidade de São João Nepomuceno a Espera Feliz (LOPES; CARVALHO, 1990; CARVALHO *et al.*, 1997), sendo representado por uma área contendo um gigantesco universo de nascentes com possibilidade de monitoramento.

É reconhecido que os processos ambientais são mais intimamente interligados e geograficamente isolados nas microbacias, o que as torna áreas frágeis, sendo consideradas prioritárias a conservação (CALIJURI; BUBEL, 2006). Contudo, a definição das microbacias prioritárias exige a caracterização e seleção de diferentes áreas (KETEMA; DWARAKISH, 2020; YU *et al.*, 2020).

As características morfométricas das bacias hidrográficas, como forma, relevo e padrão de drenagem, apresentam alta correlação com seu comportamento hidrológico, como picos de vazão, e susceptibilidade à erosão do solo (SUHARYANTO; SUHARTANTO; LESMANA, 2020), consistindo numa ferramenta imprescindível de priorização de manejo hidrológico (CASTRO; CARVALHO, 2009).

Por sua vez, a conferência do real comportamento hidrológico das microbacias se dará pelo monitoramento hídrico, sendo possível medir as vazões durante o ano hidrológico. Essas informações geradas, correlacionadas com as características morfométricas e ambientais das microbacias, auxiliam na indicação e implementação das melhores técnicas de manejo para cada área específica, mas, sobretudo, com o sucesso da conservação dos recursos hídricos (GOMES *et al.*, 2012;).

Tendo em vista a extensão de área ocupada pelos depósitos de bauxita na Zona da Mata, quase sempre situados a montante das nascentes de água, nossa hipótese é que é possível apresentar uma metodologia de seleção e eleição de microbacias para fins de monitoramento hídrico automatizado, chegando a um pequeno grupo a partir de um grande universo de microbacias disponíveis.

OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse estudo foi propor uma metodologia de seleção e eleição de microbacias hidrográficas, para fins de monitoramento hídrico automatizado, possível de alcançar a um pequeno grupo prioritário a partir de um grande universo de microbacias disponíveis, na região da Zona da Mata de Minas Geras, Brasil, com jazidas de bauxita em sua área de drenagem.

Os objetivos específicos são:

- Investigar e identificar lacunas e oportunidades de pesquisa sobre mineração de bauxita e a qualidade de água de nascentes;
- Pesquisar os principais parâmetros de qualidade de água superficial impactados pela mineração de bauxita;
- Prospectar e selecionar microbacias hidrográficas sob influência de jazidas de bauxita com previsão de lavra a médio prazo;
- Caracterizar o comportamento hidrológico das microbacias selecionadas através de análise morfométrica;
- Monitorar semanalmente e analisar a precipitação e a vazão de água das microbacias selecionadas, durante dois períodos de chuva;
- Elegir um pequeno grupo de microbacias prioritárias ao monitoramento automatizado;
- Indicar plano de monitoramento hidrológicos automatizado para as microbacias eleitas;
- Verificar possibilidades de melhorias nas etapas de abertura, lavra e fechamento de mina, visando uma mineração cada vez mais sustentável hidrológicamente.

1. CAPÍTULO I

ANÁLISE DA PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE QUALIDADE DE ÁGUA EM ÁREAS DE MINERAÇÃO DE BAUXITA

RESUMO

A qualidade da água e a preservação dos recursos hídricos estão intimamente relacionados com a saúde pública e a conservação da biodiversidade, principalmente em regiões com presença de mineração. Uma revisão sistemática da literatura foi realizada na base *Web of Science*, selecionando artigos em inglês disponíveis na íntegra, publicados nos últimos 20 anos. Os termos de busca foram *Bauxite*, *Water quality*, *Spring water*, *Watershed* e *Catchment*. As buscas retornaram 32 artigos e o critério de inclusão elegeu 12 artigos para a revisão. Os artigos revisados apresentaram uma média de publicação de 0,6 artigo.ano⁻¹. Uma tendência de aumento de publicações nos últimos 5 anos com predominância asiática foi verificada. Periódicos internacionais de alto fator de impacto representaram 66% dos artigos revisados. Nenhuma palavra-chave com o termo ou sinônimo de bacia hidrográfica foi observada. Os artigos revisados investigaram, ao todo, 20 metais e metaloides e 21 parâmetros de qualidade de água. Suspeita-se que a tendência verificada se deva às oportunidades e financiamento exclusivo de cada grupo de pesquisa. Existe um nicho ainda pouco explorado por publicações em periódicos internacionais que investiguem a influência da mineração de bauxita na qualidade da água dos corpos e cursos hídricos, com boa receptividade e interesse da comunidade científica. Há indícios que algumas mineradoras ainda não reconhecem a microbacia hidrográfica como unidade de planejamento de lavra, podendo gerar impactos não considerados na avaliação de riscos. Os parâmetros a serem investigados devem ser sensíveis à solubilização de prótons e à dispersão de particulados na água, sendo que, a definição de quais metais e metaloides presentes varia de acordo com a natureza do minério.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; Elementos principais e traço; Nascente; Parâmetros de qualidade de água; Revisão sistemática.

ABSTRACT

Water quality and preservation of water resources are closely related to public health and biodiversity conservation, especially in regions with mining presence. A systematic review of the literature was carried out on the Web of Science database, selecting articles in English available in full, published in the last 20 years. The search terms were 'Bauxite', 'Water quality', 'Spring water', 'Watershed' and 'Catchment'. The searches returned 32 articles and the inclusion criterion elected 12 articles for review. The revised articles showed a publication average of 0.6 article.year⁻¹. An upward trend in publications in the last 5 years with a predominance of Asian was observed. International journals with a high impact factor represented 66% of the reviewed articles. No keywords with the term or synonym for watershed were observed. The reviewed articles analyzed a total of 20 metals and metalloids and 21 water quality parameters. It is suspected that the verified trend is due to the exclusive opportunities and funding of each research group. There is a niche still little explored by publications that investigate the influence of bauxite mining on the water quality of bodies and water courses, with good receptivity and interest from the scientific community. There are indications that some mining companies still do not recognize the watershed as a mine planning unit, which could generate impacts not considered in the risk assessment. The parameters to be investigated must be sensitive to proton solubilization and to the dispersion of particulates in the water, and the definition of which metals and metalloids present varies according to the nature of the ore.

Keywords: Watershed; Main elements and trace; Spring water; Water quality parameters; Systematic review.

1.1. INTRODUÇÃO

A bauxita é o principal minério do qual se extrai o alumínio, apresentando distribuição mundial, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais (ABAL, 2019). O Brasil se destaca no cenário mundial como um dos principais países detentores de grandes volumes e produtores do minério, ocupando a terceira posição (CARVALHO *et al.*, 1997; ABAL, 2017).

Em todo o mundo, estudos são realizados para compreender melhor os impactos causados pela atividade minerária no meio ambiente, principalmente pela contaminação da água, do ar e do solo, a fim de mitigar a deterioração da saúde e o prejuízo à biodiversidade (LU *et al.*, 2019; OBASI; AKUDINOBI, 2020; SANTANA *et al.*, 2020). De modo geral, a atividade minerária altera os processos hidrológicos pré-existentes (YOUNGER; BANWART; HEDIN, 2002), como com a supressão da vegetação e decapeamento do solo (CAVALCANTE *et al.*, 2019), causando perdas significativas de recursos ambientais, como água, solo e nutrientes, e impactos como degradação do solo, cheias, assoreamento e eutrofização dos cursos d'água, por aumento do escoamento superficial (ALEMU, 2014; ASGARI, 2020; AYELE; NAQVI; ALEMAYEHU, 2020; KUMAR PRADHAN *et al.*, 2020), prejudicando a qualidade da água.

Com efeito, muito se investiga sobre os impactos da indústria de alumina nos recursos hídricos, tanto no Brasil (OLIVEIRA; LAFON; DE OLIVEIRA LIMA, 2016; ABUQUERQUE *et al.*, 2020) quanto no mundo (OZERSKIY, 2016; SUN *et al.*, 2019). De fato, os impactos causados pelo efluente do processamento Bayer (lama vermelha) no refino da bauxita tem grande potencial de poluição, em virtude da sua característica cáustica e da grande concentração de sódio (Na), assim como demais metais, inclusive metais pesados (KLEBERCZ *et al.*, 2012; MORA *et al.*, 2015; NGUYEN *et al.*, 2021).

Entretanto, as características físicas e químicas do rejeito do refino da bauxita podem ser diferentes daquelas que ocorrem nas minas, durante a extração do minério, tendo em vista a presença, em maior quantidade, de partículas muito finas e o enriquecimento de elementos principais e traço na lama vermelha (ANTON *et al.*, 2014; KUSIN *et al.*, 2017).

Verificando a necessidade de investigar a influência das jazidas de bauxita no Sudeste do Brasil na vazão e a qualidade das águas das nascentes (FREITAS, 2018), o propósito deste trabalho foi identificar lacunas e oportunidades de pesquisa sobre o tema mineração de bauxita e a qualidade de água de nascentes no cenário nacional e internacional, por meio de uma revisão sistemática da literatura disponível no período de 2000 a 2020.

Os objetivos específicos foram identificar a existência de estudos que associam a mineração de bauxita com a qualidade de água de nascentes e investigar quais são os principais parâmetros de qualidade de água impactados pela mineração de bauxita.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

Uma revisão sistemática foi realizada na base de dados *Web of Science* – WOS, fazendo uma busca avançada na coleção principal do WOS e no *SciELO Citations Index*, entre os dias 20 e 21 de novembro de 2020, por artigos nacionais e internacionais publicados nos últimos 20 anos (2000-2020 - novembro).

Os termos de busca foram referentes ao tópico (TS), compreendendo o título, o resumo e as palavras-chave, com descritores no idioma inglês, apenas. O descritor primário foi “*Bauxite*” (bauxita) e os descritores secundários foram, em ordem, “*Water quality*” (qualidade da água), “*Spring water*” (nascente), “*Watershed*” (bacia hidrográfica) e “*Catchment*” (bacia/captação). Cada um dos descritores secundários foi pesquisado individualmente em adição ao descritor primário, que foi mantido em todos os termos (p.ex.: TS=(*bauxite AND “water quality”*)).

Os artigos relacionados com os termos foram selecionados quanto à presença dos descritores no tópico com a verificação se o estudo foi conduzido em área de mineração de bauxita e se fazia referência à qualidade da água, disponíveis na íntegra com o acesso institucional da Universidade Federal de Viçosa – UFV na Comunidade Acadêmica Federal – CAFE, pelo Portal de Periódicos CAPES/MEC (www.periodicos.capes.gov.br).

Os artigos selecionados foram lidos e o critério de inclusão foi eleger apenas os estudos que investigaram a relação entre a qualidade de água de

nascentes, cursos d'água e bacias hidrográficas de cabeceira com a presença ou sob influência de jazidas de bauxita (mineração de bauxita). O critério de exclusão foi demais estudos fora desse escopo e que não satisfaziam o critério de inclusão.

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mudanças nas propriedades organolépticas da água, como cor, cheiro e sabor, estão entre as principais percepções da deterioração da qualidade da água por proprietários de poços, entretanto, diversas substâncias químicas e patogênicas, imperceptíveis, podem estar solúveis e representar risco à saúde dos consumidores e banhistas (MANNOCCHI *et al.*, 2016; MUNENE; HALL, 2019).

Os termos retornaram 32 artigos com descritores presentes no tópico (título, resumo e palavras-chave). Após análise integral desses artigos selecionados, verificou-se que 20 deles estavam fora do escopo e foram excluídos. Doze (12) artigos estavam dentro do escopo e foram incluídos e revisados. O termo descritor “‘Bauxite’ AND ‘Water quality’” foi aquele que retornou maior número de artigos selecionados (27) e o único do qual foram incluídos artigos para a revisão. Os demais termos descritores retornaram 5 novos artigos selecionados (e excluídos) e 9 artigos repetidos (Tabela 1.1).

Tabela 1.1 - Resumo do número de artigos encontrados, selecionados, repetidos, excluídos e incluídos e dos termos descritores utilizados na revisão sistemática na base de dados Web of Science, entre os dias 20 a 21 de novembro de 2020

| Termos Descritores | Artigos | | | | |
|-----------------------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| | Encontrados | Selecionados | Repetidos | Excluídos | Incluídos |
| Bauxite AND "Water quality" | 94 | 27 | 0 | 15 | 12 |
| Bauxite AND "Spring water" | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Bauxite AND Watershed | 11 | 2 | 2 | 2 | 0 |
| Bauxite AND Catchment | 23 | 2 | 6 | 2 | 0 |
| Total: | 131 | 32 | 9 | 20 | 12 |

Fonte: os autores.

Os trabalhos selecionados e excluídos investigavam o tratamento de lama vermelha, o uso da bauxita como catalizador (adsorção) na remediação de íons no solo e água (GOURLEY; WEAVER, 2012; HYSLOP; NESBETH, 2012;

VILHENA *et al.*, 2016; HADDAD *et al.*, 2019) e outros estudos. Acredita-se que a precisa investigação na base de dados, os claros critérios de inclusão e exclusão e o escrutínio dos trabalhos selecionados permitiu a eleição de artigos alinhados com o objetivo deste estudo, dentro dos princípios da revisão sistemática (DANYER; TRANFIELD, 2009), reduzindo ao máximo o viés de inclusão. Por outro lado, vieses de intervalo de tempo e de idioma podem ter ocorrido devido à seleção de artigos publicados em inglês no período dos últimos 20 anos (EGGER; DICKERSIN; SMITH, 2007).

Os artigos revisados foram publicados em 8 periódicos distintos. Os periódicos *Environmental Science and Pollution Research* e *Hydrobiologia* apresentaram o maior número de publicações, com 3 artigos cada. Os demais, contribuíram com 1 artigo cada. Todos os periódicos foram revisados por pares (duplo-cega), com exceção de um, que publica anais já revisados pelos editores das conferências. Cinco (5) periódicos possuem fator de impacto (JIF), dos quais os internacionais apresentam expressivo valor, variando entre 5,080 a 2,401 e um nacional (*Journal of the Geological Society of India*) com menor valor (0,895) no cálculo dos últimos 5 anos. Três (3) periódicos não possuíam JIF no período de avaliação. Todos esses dados estão resumidos na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Nome dos periódicos, número de publicações, uso de método de revisão por pares e fator de impacto das revistas dos artigos revisados, em ordem alfabética e do número de publicações

| Nome do Periódico | Número de Artigos Publicados | Revisão por Pares (Duplo-cega) | Fator de Impacto (5 anos) |
|---|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| <i>Environmental Science and Pollution Research</i> | 3 | Sim | 3,306 |
| <i>Hydrobiologia</i> | 3 | Sim | 2,401 |
| <i>E3S Web of Conferences</i> | 1 | — | — |
| <i>Environmental Geochemistry and Health</i> | 1 | Sim | 3,662 |
| <i>Journal of Fundamental and Applied Sciences</i> | 1 | Sim | — |
| <i>Journal of Hydrology</i> | 1 | Sim | 5,080 |
| <i>Journal of the Geological Society of India</i> | 1 | Sim | 0,895 |
| <i>Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis</i> | 1 | Sim | — |

Fonte: os autores.

Na inspeção dos artigos foi verificado que as publicações do periódico *Environmental Science and Pollution Research*, quando comparadas às

publicações do periódico *Hydrobiologia*, estavam mais bem correlacionadas com o escopo do presente estudo, dado sua ênfase nos impactos causados pelos compostos químicos no meio-ambiente. As três publicações no periódico *Environmental Science and Pollution Research* foram de estudos em Ciência Ambiental realizados na Malásia no ramo da geoquímica (KRISHNANKUTTY *et al.*, 2019; KUSIN *et al.*, 2017, 2020). Para o periódico *Hydrobiologia*, as três publicações foram de estudos em Ciências Biológicas realizados na Amazônia brasileira no ramo da limnologia (GUENTHER; BOZELLI, 2004a, 2004b; ENRICH-PRAST *et al.*, 2006). Os artigos dos periódicos *Environmental Geochemistry and Health*, *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, *Journal of Hydrology* e *Journal of the Geological Society of India* também apresentaram grande correlação com o escopo do presente estudo, com ênfase em geoquímica e hidrologia (LEBLANC *et al.*, 2015; YAAKUB *et al.*, 2018; PHAN *et al.*, 2019; MALI; THABAJ; PURANDARA, 2020). Os artigos dos demais periódicos (*E3S Web of Conferences* e *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*) apresentaram ênfase em geoquímica, ecologia, limnologia e oceanografia (DWIRAMA PUTRA *et al.*, 2018; MUZAHAR; HAKIM, 2018).

Ainda que seja preferida pelos autores, trabalhos publicados em periódicos que utilizam revisão duplo-cega podem conter viés de publicação, uma vez que os revisores cegos podem realizar buscas por informações sobre autores e instituições, sendo propensos a aceitarem artigos de instituições importantes e de autores famosos, embora o método duplo-cego oculte tais informações (EGGER; DICKERSIN; SMITH, 2007; MOYLAN *et al.*, 2014; TOMKINS; ZHANG; HEAVLIN, 2017), justificando, dessa forma, a preferência dos dois principais grupos de pesquisa por determinados periódicos (mais citados) (Tabela 1.2). Dos periódicos revisados que possuíam fator de impacto (9), as revistas internacionais (88,9%) apresentaram um valor bem superior ao daquela nacional (*Journal of the Geological Society of India*). Esse expressivo número de periódicos com alto fator de impacto indica a relevância desse tipo de publicação para a comunidade científica internacional e a existência de um nicho ainda pouco explorado (NEVES; TONELLO; BRAMORSKI, 2020).

Cinquenta (50) palavras-chave foram encontradas nos artigos revisados, sendo que apenas 6 delas apareceram duas vezes (*Amazon*, *Bauxite*,

Hydrogeochemistry, Sediment, Turbidity e Water quality). Apenas 2 palavras-chave dos artigos foram semelhantes aos descritores utilizados nos termos, sendo elas os descritores do primeiro termo: *Bauxite* (descritor primário) e “*Water quality*” (descritor secundário). Outras 6 palavras-chave (*Bauxite tailings, Mine water, Springs, Water chemistry, Water quality index e Water resources*) apresentaram alguma palavra usada ou provinda como descritor no termo, como *Bauxite* (primário), “*Water quality*” e “*Spring water*” (secundários). Vale destacar que nenhum dos artigos revisados apresentaram palavras-chave que fizessem referência ao termo bacia ou microbacia hidrográfica (Quadro 1.1).

Quadro 1.1 – Palavras-chave e seu número de aparições (Nº Artigos) nos artigos revisados, em ordem alfabética e de número de publicações

| Palavras-chave | Nº Artigos | Palavras-chave | Nº Artigos |
|-----------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| Amazon | 2 | Lake Chini | 1 |
| Bauxite | 2 | Larvae | 1 |
| Hydrogeochemistry | 2 | Metal | 1 |
| Sediment | 2 | Mine water | 1 |
| Turbidity | 2 | Mineral weathering | 1 |
| Water quality | 2 | Mining | 1 |
| Abandoned mine | 1 | Mondolkiri | 1 |
| Aggregation | 1 | Northeastern Cambodia | 1 |
| Algae | 1 | Oryza glumaepatula | 1 |
| Anthropogenic impact | 1 | Pahang | 1 |
| Bauxite tailings | 1 | Phytoplankton | 1 |
| Biometry | 1 | Plant density mortality | 1 |
| Clay | 1 | Primary production | 1 |
| CO ₂ consumption | 1 | Remote sensing | 1 |
| Conductivity | 1 | Risk assessment | 1 |
| Development | 1 | Sinking | 1 |
| Dog conch | 1 | Spawning | 1 |
| Ecohydrology | 1 | Speciation | 1 |
| Ecological risk index | 1 | Springs | 1 |
| Flood pulse | 1 | Strombus sp. | 1 |
| Geochemical index | 1 | Tasik Chini | 1 |
| Groundwater dating | 1 | Trace metals | 1 |
| Heavy metal | 1 | Water chemistry | 1 |
| Jemberau | 1 | Water quality index | 1 |
| Kaolin | 1 | Water resources | 1 |

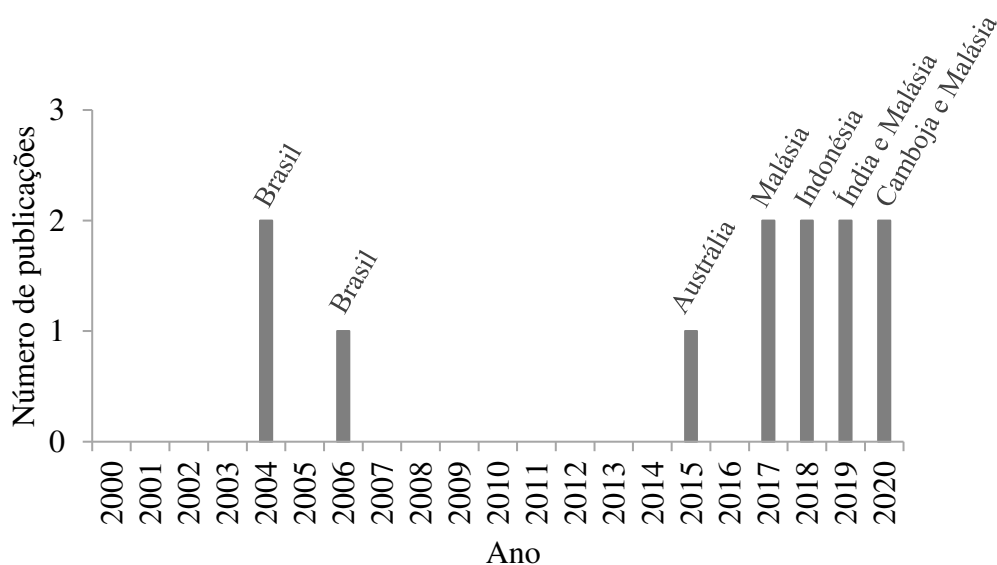
Fonte: os autores.

A adição das palavras-chave nos termos melhorou a eficiência da pesquisa, embora apenas 2 palavras-chaves foram exatas aos descritores (DANYER; TRANFIELD, 2009). As palavras-chave têm funções de pesquisa e recuperação, devendo facilitar a busca e colaborar com a compreensão da área de conhecimento e o campo científico do estudo (RADHAKRISHNAN *et al.*, 2017), mesmo assim, 14% das palavras-chave encontradas faziam referência a localidades e regiões, não colaborando com esta revisão sistemática.

Nesse contexto foi possível verificar que o setor minerário não tem considerado, ou pouco tem, o uso das bacias hidrográficas como unidades de planejamento de lavra, o que pode gerar impactos não previstos, principalmente nos recursos hídricos (FREITAS, 2018; CARVALHO, 2020). Esse costume talvez provenha das famosas minerações pontuais, como carvão e ferro, habitualmente estacionárias, e do desenho dos polígonos de concessão minerária, mas nas minerações itinerantes, como da bauxita de Miraí, torna prejudicial quando não considerado devido a interferência em diversas microbacias, considerando a exaustão das minas com 3 a 6 meses.

Os doze (12) artigos revisados (Apêndice A) representam uma média anual de publicação de 0,6 artigo, em todo o mundo, sendo os últimos 5 anos (2016-2020) o período de maior produção bibliográfica, com 8 artigos. Uma lacuna de oito anos (2007-2014) sem publicações foi observada, sendo as duas publicações mais antigas correspondentes ao ano de 2004, no período de 20 anos definido neste estudo. A área de estudo dos 12 artigos revisados compreendeu um total de seis países. A localidade mais produtiva foi a Malásia, na Ásia, com quatro artigos, todos publicados nos últimos cinco anos. A Indonésia (2), a Índia (1) e o Camboja (1), todos na Ásia, também contribuíram com as publicações dos últimos cinco anos. A Austrália (Oceania) possui apenas um (1) artigo publicado no ano de 2015 e o Brasil (América do Sul) apresenta três (3) artigos, porém, com mais de 15 anos de publicação (Figura 1.1).

Figura 1.1 – Número de publicações e locais do estudo por ano, no período de 2000 a 2020-novembro



Fonte: Os autores.

Demais estudos de revisão sistemática na área de hidrologia e mineração encontraram maior produtividade anual média (0,95 a 67,12), para um período semelhante, quando comparados ao presente estudo, indicando carência de trabalhos desse tipo em todo o mundo (MARIA PARRON *et al.*, 2019; ELSHALL *et al.*, 2020; MCKENNA *et al.*, 2020; NEVES; TONELLO; BRAMORSKI, 2020; PARK *et al.*, 2020). Provavelmente, a maior produtividade observada nestes outros estudos esteja relacionada com a quantidade de bases de busca utilizadas (MARIA PARRON *et al.*, 2019; MCKENNA *et al.*, 2020; PARK *et al.*, 2020), com o maior volume de publicações sobre o tema (ELSHALL *et al.*, 2020; NEVES; TONELLO; BRAMORSKI, 2020) e/ou com o maior período de publicação de artigos (MCKENNA *et al.*, 2020). As tendências observadas de queda de publicações no Brasil, de estagnação (2007 a 2014) e de aumento de publicações, a partir de 2015, na Oceania e Ásia são de difícil compreensão. Acredita-se que esse comportamento nas publicações reflitam a existência ou não de oportunidades de trabalho e de financiamento dos grupos de pesquisa (ROSENBLOOM *et al.*, 2015), bem como as limitações nas indexações de periódicos em definidas bases de dados (DANYER; TRANFIELD, 2009; ASTANEH; MASOUMI, 2018; MEMON; WAQAS, 2018).

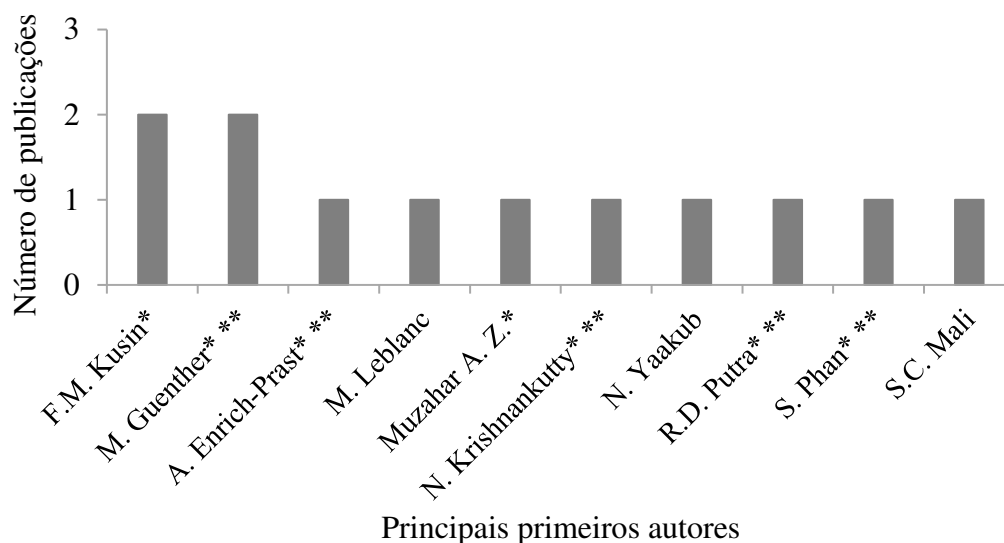
Ao todo, foram encontrados 51 autores, sendo apenas 4 autores com duas ou três publicações. Destes, R. L. Bozelli (Brasil) se destaca como coautor de três artigos e J. Shamshuddin (Malásia) como coautor de dois artigos (Quadro 1.2). Os primeiros autores com mais publicações foram F. M. Kusin (Malásia) e M. Guenther (Brasil), com duas publicações cada, sendo os oito demais primeiros autores com uma publicação cada. Sete (7) primeiros autores possuíam perfil ativo na rede social acadêmica *ResearchGate* (www.researchgate.net), desses, 5 também possuíam perfil ativo na rede social *LinkedIn* (www.linkedin.com) no período da pesquisa (Figura 1.2).

Quadro 1.2: Autores e seu número de publicações (Publi.) dos artigos revisados, em ordem alfabética e do número de publicações

| Autores | Publi. | Autores | Publi. | Autores | Publi. |
|-------------------|---------------|--------------------|---------------|------------------|---------------|
| R. L. Bozelli | 3 | F. N. A. Affandi | 1 | Muzahar | 1 |
| F. M. Kusin | 2 | G. Harrington | 1 | N. Krishnankutty | 1 |
| M. Guenther | 2 | H. Irawan | 1 | N. Yaakub | 1 |
| J. Shamshuddin | 2 | H. Sieng | 1 | N. A. Sulong | 1 |
| A. Enrich-Prast | 1 | J. Bailey | 1 | R. D. Putra | 1 |
| A. Suckow | 1 | K. Phan | 1 | S. Phan | 1 |
| A. Suryanti | 1 | K. A. Thabaj | 1 | S. Se | 1 |
| A. A. Hakim | 1 | K. W. Kim | 1 | S. Tweed | 1 |
| A. A. A. Halim | 1 | L. Huoy | 1 | S. C. Mali | 1 |
| B. J. Lyon | 1 | M. Ariffin | 1 | T. Apriadi | 1 |
| B. K. Purandara | 1 | M. Idris | 1 | T. Yulianto | 1 |
| C. E. Franklin | 1 | M. Leblanc | 1 | T. S. Raja'l | 1 |
| C. J. Koenawan | 1 | M. K. A. Kamarudin | 1 | V. F. Farjalla | 1 |
| D. D. Biesboer | 1 | M. N. Haris | 1 | V. L.M. Molahid | 1 |
| F. Mohamat-Yusuff | 1 | M. N. A. Raoff | 1 | W. K. Atmadja | 1 |
| F. A. de Esteves | 1 | M. S. Md Z | 1 | Y. Manan | 1 |
| F. M. Hamzah | 1 | M. S. A. Rahman | 1 | Z. Madzin | 1 |

Fonte: Os autores.

Figura 1.2 – Principais primeiros autores dos artigos revisados, em ordem alfabética e do número de publicações



*autores com perfil na rede social acadêmica ResearchGate (www.researchgate.net);

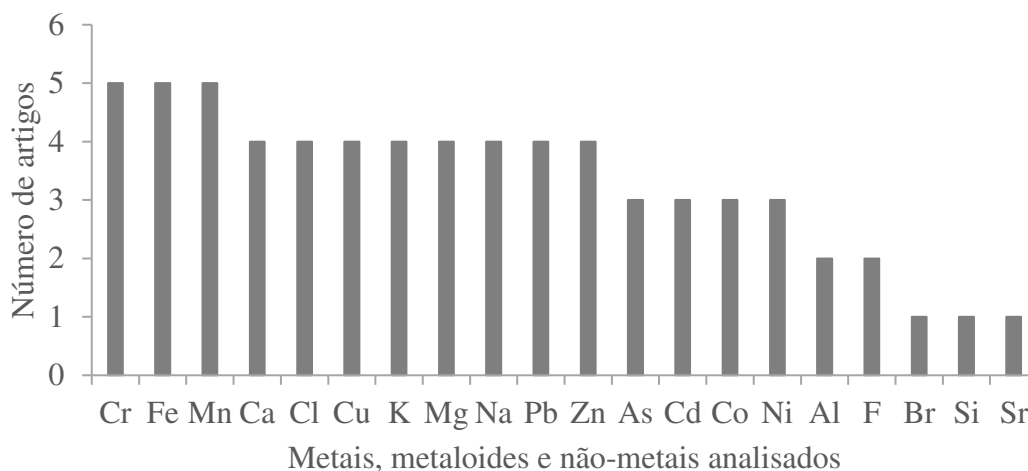
**autores com perfil na rede social LinkedIn (www.linkedin.com);

Fonte: os autores.

As mídias sociais acadêmicas representam, atualmente, uma importante ferramenta na construção de cooperações de pesquisas internacionais por conferir visibilidade e classificação nacional e internacional, ainda mais quando o primeiro autor possui perfil ativo (GORSKA *et al.*, 2020). Ademais, fazem parte de um mesmo time de pesquisadores os autores F. M. Kusun e J. Shamshuddin, trabalhando com meio-ambiente, qualidade de água e geoquímica, assim como M. Guenther e R. L. Bozelli, trabalhando com biodiversidade, ecologia e limnologia (GUENTHER; BOZELLI, 2004b, a; KUSIN *et al.*, 2017, 2020).

Como apresentado na Figura 1.3, ao todo, vinte (20) metais, metaloides e não-metais foram analisados nos artigos. A saber, os elementos crômio – Cr, ferro – Fe e manganês – Mn foram os mais avaliados, presentes em 5 artigos. Em seguida, presentes em 4 artigos, os elementos cálcio – Ca, cloro – Cl, cobre – Cu, potássio – K, magnésio – Mg, sódio – Na, chumbo – Pb e zinco – Zn. Foram avaliados em 3 artigos o arsênio – As, cádmio – Cd, cobalto – Co e níquel – Ni, seguidos do alumínio – Al e do flúor – F, em 2 artigos cada. O bromo – Br, Silício – Si e estrôncio – Sr foram avaliados em apenas 1 artigo.

Figura 1.3 – Metais, metaloides e não-metais analisados nos artigos revisados



Legenda: Cr – cromo; Fe – ferro; Mn – manganês; Ca – cálcio; Cl – cloro; Cu – cobre; K – potássio; Mg – magnésio; Na – sódio; Pb – chumbo; Zn – zinco; As – arsênio; Cd – cádmio; Co – cobalto; Ni – níquel; Al – alumínio; F – flúor; Br – bromo; Si – silício; Sr – estrôncio.

Fonte: Os autores.

As bauxitas tem distribuição mundial, com as maiores reservas localizadas nas regiões tropicais e subtropicais do planeta (ABAL, 2019), onde um intenso e longo processo de intemperismo ocasionou a bauxitização das rochas matrizes (IQHLIMA NAJWA *et al.*, 2019). A constituição química do minério é variável de região para região do planeta, mas, de modo geral, a bauxita é composta por hidróxido ou oxi-hidróxido de alumínio (Al_2O_3) acompanhado de frações de sílica (SiO_2) e óxidos e oxi-hidróxido de ferro (Fe_2O_3) e titânio (TiO_2) (ANGÉLICA; KAHN; PAZ, 2018; KIAESHKEVARIAN *et al.*, 2020).

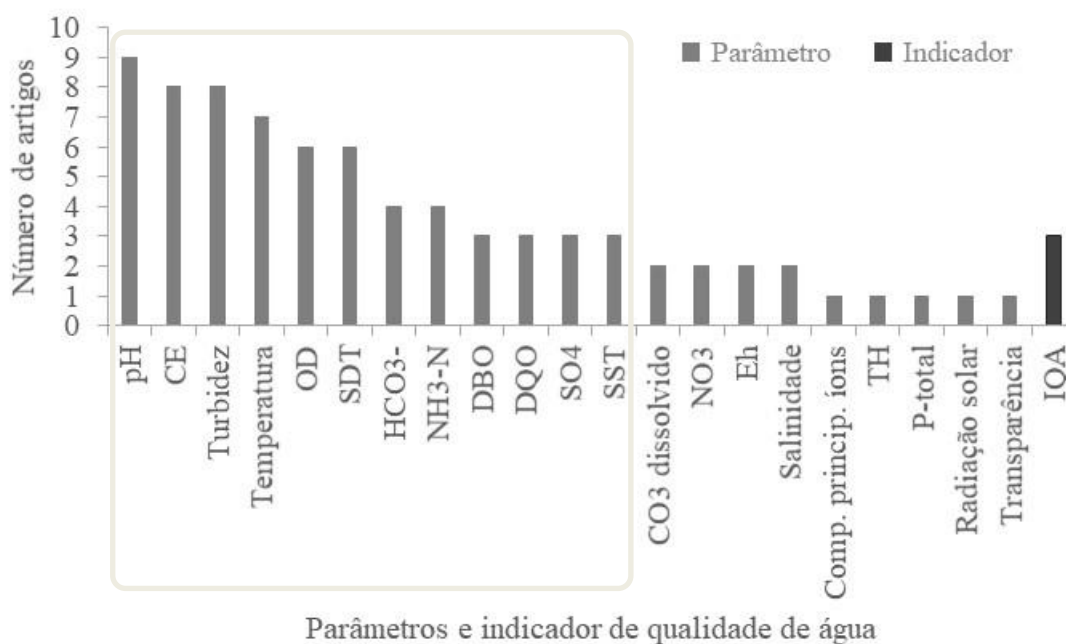
Nesse sentido, a partir dessa revisão, foi possível verificar que na Malásia foram detectados na água os elementos SO_4 , Cl, Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn, Zn, Sr, Cu e Co, com traços de As, Cd, Ni e Pb em apenas alguns pontos próximos à drenagem de mina e do ROM (Run-of-Mine - estoque) (KUSIN *et al.*, 2018). Já nos depósitos de bauxita cárstica do norte do Irã foram detectados em amostras de minério os elementos principais Si, Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Ti, P e Mn e enriquecimento dos elementos traços Rb, Ba, Sr, Co, Zr, Nb, Cr, Ni, Hf, V, Y, Th, Ga, Sc, La, Ce, U, Nd e Sm (AHMADNEJAD *et al.*, 2017; KIAESHKEVARIAN *et al.*, 2020).

Diversos depósitos de bauxita de distintas constituições ocorrem de Norte a Sul do Brasil, podendo citar os depósitos em Porto Trombetas (PA) e Cataguases e Miraí (MG). Em Porto Trombetas, além dos elementos principais, são encontrados no minério os elementos traços V (vanádio), Cr, Ga (gálio), K, Zr (zircônio), Nb (nióbio) e Y (ítrio) e os elementos de terras raras La (lantânio), Ce (cério), Nd (neodímio), Sm (samário), Eu (európio), Gd (gadolínio), Dy (disprósio), Yb (itérbio), e Lu (lutécio). Na região de Cataguases e Miraí, os principais elementos detectados no minério são Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K, Ti e P e os elementos traços Ba (bário), Cu, Nb, Ni, Sr e Y com enriquecimento de Ce, Cr, Ga, La, Nd, V, Zn e Zr (CARVALHO, A. *et al.*, 1997; VALETON; MELFIO, 1988).

Temporariamente, por ocasião da exposição do minério ao ar e do contato com a água das chuvas, metais e metaloides podem se tornar solúveis com a acidificação das águas, lixiviar e contaminar os aquíferos, representando riscos à saúde e à biodiversidade (WOLKERSDORFER, 2008; WANG *et al.*, 2019).

Vale salientar que os artigos apresentaram um total de 21 parâmetros de qualidade de água analisados, dos quais 8 são parâmetros físicos e 13 são químicos. Os parâmetros com presença em mais de três artigos foram, em ordem decrescente, o potencial hidrogeniônico – pH (9), a condutividade elétrica – CE e a turbidez (8), a temperatura (7), o oxigênio dissolvido – OD e os sólidos dissolvidos totais – SDT (6), o teor de bicarbonato (alcalinidade) – HCO_3^- e o nitrogênio amoniacal – $\text{NH}_3\text{-N}$ (4) e, por fim, a demanda bioquímica por oxigênio – DBO, a demanda química por oxigênio – DQO, o teor de sulfatos – SO_4 e os sólidos solúveis totais – SST (3). Apenas 3 artigos utilizaram algum tipo de índice de qualidade da água – IQA na predição da poluição ou não das águas pela atividade de mineração de bauxita (Figura 1.4).

Figura 1.4 – Parâmetros e indicador (IQA – índice de qualidade de água) de qualidade de água presentes nos artigos revisados, sendo: pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; OD – oxigênio dissolvido; SDT – sólidos dissolvidos totais; HCO_3^- – bicarbonato (alcalinidade); $\text{NH}_3\text{-N}$ – nitrogênio amoniacal; DBO – demanda bioquímica por oxigênio; DQO – demanda química por oxigênio; SO_4 – sulfatos; SST – sólidos solúveis totais; CO_3 dissolvido – carbonato de cálcio dissolvido (alcalinidade); NO_3 – nitrato; Eh – potencial redox; Comp. princ. íons – composição dos principais íons; TH – dureza total; P-total – fósforo total



Fonte: Os autores.

As bauxitas lateríticas mais antigas começaram a se formar no período do Cretáceo Superior (há 94 milhões de anos) e são envoltas em matriz argilosa (MONDILLO; HERRINGTON; BONI, 2021), sendo essas as principais características que irão alterar determinados parâmetros de qualidade em caso de despejo de minério e estéreis no curso d'água. O contato do minério com o ambiente oxidativo, por exemplo, produz e solubiliza prótons na água, reduzindo ligeiramente o pH, assim como o OD e a DQO, e aumentando a CE, HCO_3^- , SO_4 e Eh (igualmente acoplado, porém, citado em apenas 2 artigos). A suspensão de particulados irá limitar a incidência de radiação solar na água, reduzindo a temperatura e aumentando a turbidez e a quantidade (volume) de SDT e SST (WOLKERSDORFER, 2008; KUSIN *et al.*, 2017, 2020). Os parâmetros $\text{NH}_3\text{-N}$ e DBO, assim como fósforo total (P-total), estão associados à contaminantes

orgânicos, como domésticos e agrícolas (MUTLU; UNCUMUSAOĞLU, 2016). O IQA é uma ferramenta da gestão de recursos hídricos que visa quantificar o nível de contaminação e a sua potabilidade, utilizando parâmetros de fácil obtenção. Muitos tipos de IQA existem em todo o mundo, cada um considerando diversos parâmetros, segundo as legislações locais ou de referência (LUMB *et al.*, 2011; MADZIN *et al.*, 2017). Fato é que nenhum IQA considera a geoquímica de elementos principais e traços para esclarecer seu comportamento nas microbacias hidrográficas e nascentes sob influência de jazidas e minas (KUSIN *et al.*, 2016).

1.4. CONCLUSÕES

Poucos são os artigos que investigam a influência da mineração de bauxita na qualidade da água dos corpos e cursos hídricos, sobretudo aqueles que investigam essa influência nas bacias hidrográficas de cabeceira (nascentes de água). Portanto, há oportunidades de publicações de artigos que relacionem a qualidade de água com a atividade minerária de bauxita e a geoquímica, devida a boa receptividade e interesse da comunidade científica, evidenciado pelo crescimento do número de publicações nos últimos 5 anos, em periódicos internacionais de alto fator de impacto.

Alterações na qualidade da água podem ocorrer devido ao despejo de minério e estéreis no curso ou corpo de água. Os principais parâmetros químicos indicados ao monitoramento são aqueles associados com a solubilização de prótons na água: pH, CE, OD, HCO₃, DQO, SO₄ e Eh; e os parâmetros físicos são aqueles correlacionados à suspensão de particulados: cor verdadeira, turbidez, temperatura, e a quantificação de sólidos (SDT e SST).

Embora o despejo de minério (inorgânico) não altere diretamente os parâmetros orgânicos e biológicos, o uso do IQA como ferramenta de gestão é importante, uma vez que sinaliza a potabilidade das águas. Maior aprofundamento na qualidade de água em áreas de mineração de bauxita é indicado, com a definição de um índice de qualidade de água específico para essas regiões de produção de bauxita que considere a toxidez pela solubilização de prótons e níveis adequados de suspensão de particulados.

A presença e o teor dos metais e metaloides enriquecidos após a ocorrência de despejo de bauxita nos cursos d'água depende muito da natureza e origem da jazida em questão, devendo ser considerada sua rocha matriz e gênese na definição dos elementos a serem investigados, bem como a sua concentração de natural ocorrência. Para o caso dos depósitos de Cataguases e Miraí, os principais elementos detectados no minério são Si (sílica), Al (alumínio), Fe (ferro), Mg (magnésio), Mn (manganês), Ca (cálcio), Na (sódio), K (potássio), Ti (titânio) e P (fósforo), com traços de Ba (bário), Cu (cobre), Nb (nióbio), Ni (níquel), Sr (estrôncio) e Y (ítrio) e enriquecimento de Ce (cério), Cr (cromio), Ga (gálio), La (lantânio), Nd (neodímio), V (vanádio), Zn (zinco) e Zr (zircônio).

2. CAPÍTULO II

SELEÇÃO, MORFOMETRIA, VAZÃO E ELEIÇÃO DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS SOB INFLUÊNCIA DE JAZIDAS DE BAUXITA

RESUMO

A mineração gera alterações na dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas onde está inserida, sendo mais acentuadas nas microbacias de cabeceira de cursos d'água. Nosso escopo foi propor uma metodologia de seleção de microbacias sob influência de jazidas de bauxita no Sudeste de Minas Gerais, Brasil, assim como analisar a morfometria, o comportamento hidrológico e eleger um grupo de quatro microbacias para fins de monitoramento hídrico automatizado. Em ambiente de Sistema de Informação Geográfica foram prospectadas um total de 74 microbacias sob influência de jazidas com previsão de lavra em médio prazo, sendo selecionadas 7 microbacias que satisfizeram todos os critérios remotos e *in loco* de seleção. As microbacias selecionadas (BH) foram caracterizadas quanto a sua morfometria e vazão para a eleição das prioritárias ao monitoramento automatizado. A análise dos parâmetros morfométricos indicou formato compacto e susceptibilidade a ocorrência de picos de vazão para as BH06, BH29 e BH61. Maior densidade de drenagem foi observada para BH41 e BH11, indicando serem mais mal drenadas. Maior susceptibilidade a perdas causadas por escoamento superficial foi observado para BH03, BH11 e BH31, as quais apresentaram maiores amplitude altimétrica, inclinação, razão de relevo e número de rugosidade. Menor nível de sombreamento foi constatado para BH41, BH29, BH31 e BH11, sendo sujeitas a maior evaporação de água do solo. Maiores inclinações médias foram observadas para BH03, BH29 e BH31, variando de forte ondulado a escarpado. A integral hipsométrica e o diagrama da curva hipsométrica percentual indicaram que as BH61 e BH31 estão em estágio de desequilíbrio, com grande percentual da massa de rocha original ainda não intemperizada. O monitoramento da vazão e pluviometria das microbacias selecionadas totalizou 82 observações. A pluviometria média acumulada foi de 2.685 mm nos 19 meses monitorados. Menor variação na vazão média mensal foi verificada para BH03 e BH41, que também apresentaram os menores picos de vazão. Enquanto BH06, BH11, BH29 e BH61 apresentaram maiores variações nas vazões médias mensais entre os períodos de chuva e seca e os maiores picos de vazão durante chuvas, sendo relacionada com o formato mais compacto (BH06, BH29 e BH61) e com a maior impermeabilidade do solo (BH11). Sendo assim, foram eleitas ao monitoramento hídrico automatizado as BH03, BH06, BH11 e BH29, considerando sua vulnerabilidade hídrica à ocorrência de impactos negativos durante a mineração e a possibilidade de instalação de um sistema automatizado de monitoramento hídrico.

Palavras-chave: Análise morfométrica. Mineração. Monitoramento hídrico. Nascentes. Priorização.

ABSTRACT

Mining generates changes in the hydrological dynamics of the watersheds where it operates, being more pronounced in the headwater basins of watercourses. Our scope was to propose a methodology for the selection of watersheds under the influence of bauxite deposits in the Southeast of Minas Gerais, Brazil, as well as to analyze the morphometry, the hydrological behavior and to elect a group of four watersheds for the purpose of automated water monitoring. In a Geographic Information System environment, a total of 74 watersheds were prospected under the influence of deposits with a forecast of mining in the medium term, and 7 watersheds were selected that satisfied all the remote and in loco selection criteria. The selected watersheds (BH) were characterized in terms of their morphometry and flow for the election of priority ones for automated monitoring. The analysis of the morphometric parameters indicated a compact shape and susceptibility to the occurrence of flow peaks for BH06, BH29 and BH61. Higher drainage density was observed for BH41 and BH11, indicating that they are more poorly drained. Greater susceptibility to losses caused by surface runoff was observed for BH03, BH11 and BH31, which presented greater altimetric amplitude, inclination, relief ratio and roughness number. Lower shading level was found for BH41, BH29, BH31 and BH11, being subject to greater evaporation of water from the soil. Greater slopes were observed for BH03, BH29 and BH31, ranging from steeply undulating to mountainous. The hypsometric integral and the percentage hypsometric curve diagram indicates that BH61 and BH31 are in an unbalanced stage, with a large percentage of the original rock mass not yet weathered. The monitoring of flow and pluviometry of the selected watersheds totaled 82 observations. The average accumulated rainfall was 2,685 mm in the 19 months monitored. Less variation in the average monthly flow was verified for BH03 and BH41, which also presented the lowest flow peaks. While BH06, BH11, BH29 and BH61 showed greater variations in the average monthly flows between the rainy and dry periods and the highest flow peaks during rains, being related to the more compact format (BH06, BH29 and BH61) and with the greater impermeability from the ground (BH11). Therefore, BH03, BH06, BH11 and BH29 were chosen for automated water monitoring, considering their water vulnerability to the occurrence of negative impacts during mining and the possibility of installing an automated water monitoring system.

Keywords: Mining. Morphometric analysis. Prioritization. Springs. Water monitoring.

2.1. INTRODUÇÃO

A exploração de recursos minerários gera impactos nos diversos meios (DOMÍNGUEZ-HAYDAR *et al.*, 2019), apontando a intensidade daqueles negativos como reflexo de uma mineração predatória, que vem se desenvolvendo e mudando seu antigo legado (CUEVA, 2017; ZHANG, M.; WANG; ZHOU, 2020). Entre os diversos impactos no meio físico causados pela mineração, estão os impactos nos recursos hídricos (MARTURANO; SILVA, 2012). Com isso, muitos estudos tem investigado o reestabelecimento da dinâmica hidrológica nas bacias hidrográficas nos projetos de recuperação ambiental (KOCH; HOBBS, 2007; PIRES *et al.*, 2017; DUNCAN *et al.*, 2020^a; ZHANG, M.; WANG; ZHOU, 2020).

Como cada jazida de minério apresenta uma singular e complexa interação com o ambiente, o planejamento da abertura de novas minas exige uma compreensão integral da interação entre os processos físicos e químicos, fazendo-se necessária uma caracterização ambiental completa, incluindo estudos geológicos, topográficos, climáticos e hidrológicos (PARBHAKAR-FOX; LOTTERMOSER, 2017). A interação desses múltiplos fatores podem alterar negativamente a vazão das bacias hidrográficas, como destaque para a alteração temporária do uso do solo, que apresenta maior influência no deflúvio anual ao longo prazo do que a variabilidade climática (DUAN *et al.*, 2017).

Além disso, é esperado que os efeitos da mineração sobre as mudanças na qualidade e quantidade da água sejam mais pronunciados nas menores bacias hidrográficas (CALIJURI; BUBEL, 2006; HOULE *et al.*, 2020; PENG; LI, 2021), por essa razão que as microbacias são consideradas prioritárias para o manejo e conservação do solo e água (KETEMA; DWARAKISH, 2020).

No contexto da mineração de bauxita, principal minério para produção de alumínio metálico, o Brasil se destaca no cenário mundial, tanto na quantidade de reservas como na produção de bauxita (ABAL, 2019), sendo os depósitos de bauxita da Zona da Mata mineira os mais antigos do país (CARVALHO *et al.*, 1997). Entretanto, essa extensa área que vai de São João Nepomuceno a Espera Feliz abrange um universo gigantesco de microbacias presentes no cinturão aluminoso (LOPES; CARVALHO, 1990C; CARVALHO *et*

al., 1997), sendo necessário definir uma metodologia de seleção das melhores microbacias, analisando critérios relativos à área, ao apoio, interesse, à operacionalidade, representatividade (SILVEIRA *et al.*, 2020) e, não menos importante, a morfometria (SUTRADHAR, 2020).

Para tanto, a análise morfométrica é uma técnica de orientação e consiste numa etapa importante do planejamento e do manejo dos recursos ambientais das bacias hidrográficas (CASTRO; CARVALHO, 2009; SUTRADHAR, 2020). Da mesma forma como os parâmetros morfométricos apresentam forte influência direta na quantidade e qualidade da água dos corpos e cursos d'água, os diferentes tipos de uso do solo também irão influenciá-las (YOUNG-SEUK *et al.*, 2014; HOULE *et al.*, 2020).

Por sua vez, o monitoramento hídrico, associado à análise morfométrica, gera informações suficientes para auxiliar na melhor indicação de técnicas de manejo das microbacias, visando a melhoria da qualidade das águas e regularização da vazão, contribuindo com a conservação dos recursos hídricos (TONELLO, 2005; GOMES *et al.*, 2012).

Diante das evidências mencionadas, o objetivo geral do presente estudo foi propor uma metodologia de seleção, análise da morfometria e do comportamento hidrológico e eleição de um grupo de até quatro microbacias sob influência de jazidas de bauxita com previsão de lavra entre 2022 a 2027, no Sudeste de Minas Gerais, Brasil para fins de monitoramento automatizado.

Os objetivos específicos foram prospectar e selecionar as melhores microbacias para a caracterização hidrológica e monitoramento hídrico, caracterizar seu comportamento hidrológico através da análise morfométrica, monitorar e analisar a vazão e pluviometria das microbacias selecionadas, indicar a melhor metodologia de monitoramento para cada área e propor procedimentos operacionais durante a lavra da bauxita visando a conservação dos recursos hídricos.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

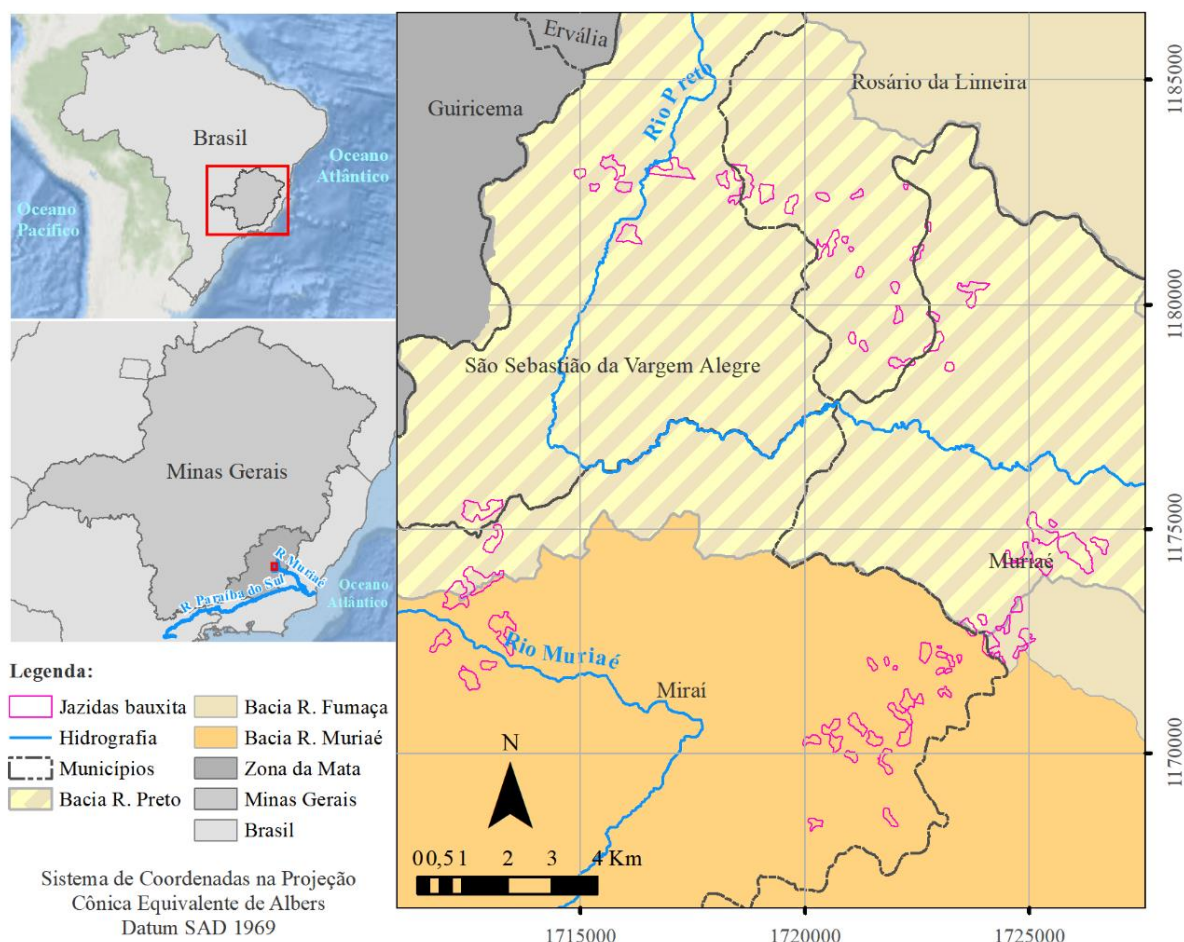
As jazidas de minério de bauxita consideradas neste estudo foram aquelas com previsão de lavra entre os anos 2022 a 2027, conforme dados

fornecidos pela companhia mineradora detentora da concessão da Agência Nacional de Mineração – ANM de lavar, beneficiar e comercializar a bauxita na região (BRASIL, 1967, 2017). Os arquivos geoespaciais das áreas de concessão e das jazidas foram tratados pela companhia mineradora e nenhuma menção sobre data de expectativa de lavra foi repassado aos pesquisadores, apenas os códigos e números de identificação de cada polígono, essenciais para o rastreo e reconhecimento, após a seleção, das microbacias hidrográficas.

2.2.1. Área de estudo

As jazidas de minério selecionadas estão localizadas nos municípios de Mirai, Muriaé, Rosário da Limeira e São Sebastião da Vargem Alegre, na Mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil (Figura 1.1). A região é cabeceira do Rio Muriaé, que escoar para Oceano Atlântico após desembocar no Rio Paraíba do Sul à noroeste da cidade de Campos dos Goytacazes-RJ. As jazidas estão localizadas na parte alta da bacia hidrográfica do Rio Muriaé e na bacia hidrográfica do Rio Preto, afluente do Rio Fumaça, que também é afluente do Rio Muriaé. Neste estudo consideramos o ponto de encontro dos rios Fumaça e Muriaé como sendo a foz do Rio Muriaé.

Figura 2.1– Mapa de localização da área de estudo e das jazidas de bauxita analisadas, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil



Fonte: Os autores.

O relevo é acidentado com morros arredondados de topos bauxitizados, desenvolvidos dos granulitos do Complexo Juiz de Fora (LOPES; CARVALHO, 1990). Os solos predominantes são Latossolos Vermelho-Amarelo distrófico típico e a vegetação original é de Floresta Estacional Semidecidual, fisionomia estratificada da Mata Atlântica com deciduidade de 25-50% das folhas do dossel no período seco (ARRUDA *et al.*, 2018; CAVALCANTE *et al.*, 2019). O clima é subtropical com invernos secos e verões úmidos (Cwb) na classificação de Köppen. A altitude média é de 755 metros, com 1.391 mm de precipitação pluviométrica anual e temperatura média de 20°C (ALVARES *et al.*, 2013).

Os depósitos de bauxita são encontrados na subsuperfície de propriedades rurais particulares, apresentando profundidade de 0,2 a 1,0 metro

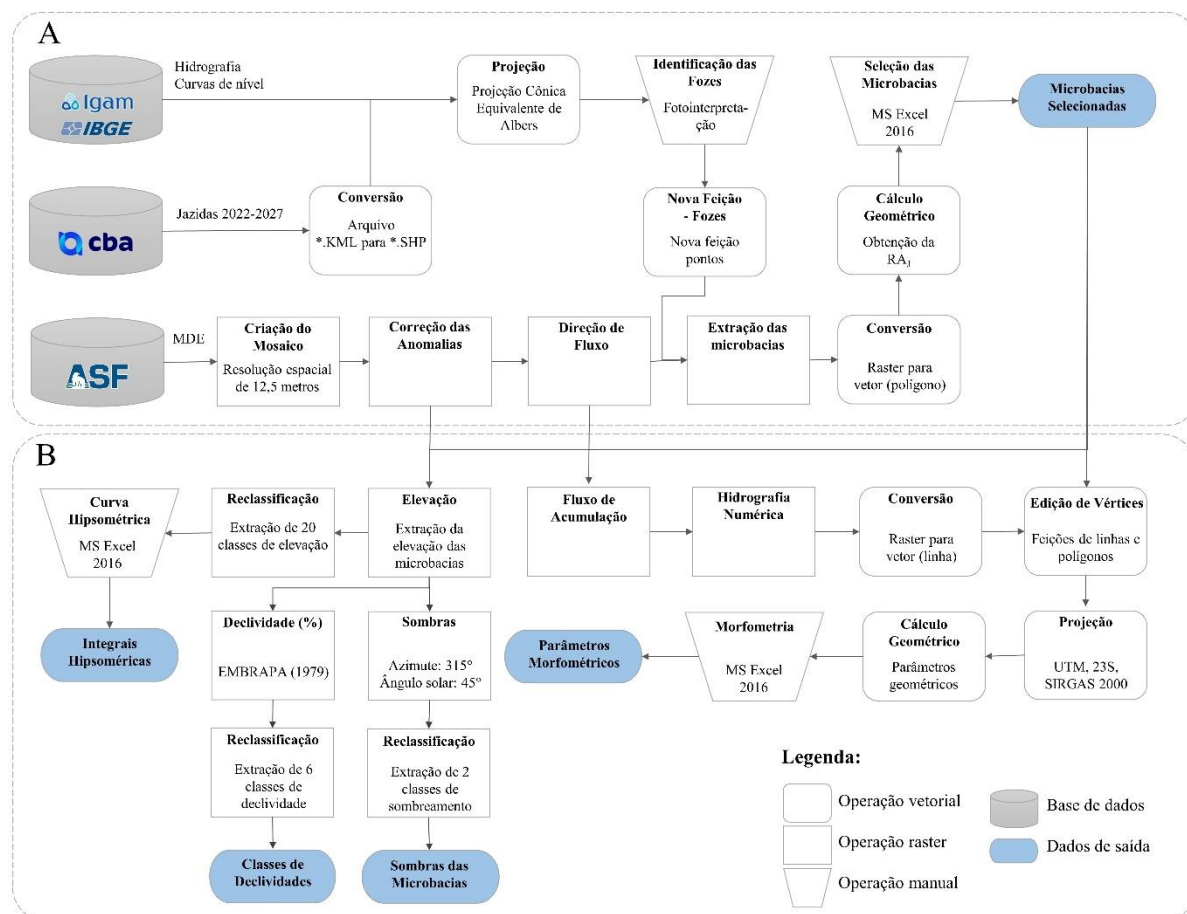
e espessura que varia de 5 a 20 metros. Sua exploração inicia com a supressão da vegetação, seguida do decapeamento e armazenamento do *topsoil*, expondo o minério. Após exaurida, a mina é reabilitada com o retorno do *topsoil*, o plantio de vegetação e o monitoramento da reabilitação (CARVALHO *et al.*, 1997; FREITAS, 2018; CAVALCANTE *et al.*, 2019).

2.2.2. Prospecção e seleção das microbacias hidrográficas

2.2.2.1. Processamento dos dados

A primeira etapa da seleção foi o processamento dos dados realizada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica – SIG, no software ArcGIS 10.2.2 (ESRI). A base de dados de arquivos vetoriais foi composta da hidrografia Ottocodificada da Bacia do Rio Paraíba do Sul multiescalar (1:50.000 e 1:100.000) (IGAM e IBGE), nas curvas de nível do Estado de Minas Gerais com equidistância de 30 metros, geradas do Modelo de Elevação Digital – MDE do projeto TOPODATA (INPE) e dos polígonos das jazidas de bauxita com previsão de lavra entre 2022 a 2027, cedidas pela companhia mineradora em 14/02/2020. Os dados foram reprojctados para a projeção cônica equivalente de Albers e os polígonos das jazidas foram convertidos para o formato shapefile (Figura 2.2-A).

Figura 2.2 – Fluxograma das operações de seleção (A) e morfometria (B) das microbacias sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil



Fonte: Os autores.

Um novo arquivo de pontos foi criado para adicionar as fozes de todas as microbacias hidrográficas localizadas a jusante das jazidas de bauxita. Para identificar as microbacias, a camada base de imagem global (World Imagery) do ArcGIS, com resolução de 0,5 metro, capturada em 26/03/2019 pela Maxar (Vivid), foi utilizada na fotointerpretação, sobreposta pelas camadas de hidrografia, curvas de nível e jazidas de bauxita (Figura 2.2).

A etapa de extração das microbacias hidrográficas no entorno das jazidas foi necessária para identificar a área de drenagem das fozes e, assim, possibilitar a análise de seleção. Três cenas de alta resolução de modelo digital de elevação – MDE foram obtidas do ALOS PALSAR RTC

(<https://search.asf.alaska.edu/>), pré-processadas do radar de abertura sintética – SAR pela Alaska Satellite Facility – ASF, com resolução espacial de 12,5 metros, capturadas no dia 27/02/2011 às 01:47:23 (Figura 2.2-A).

Em seguida, no software ArcGIS 10.2.2 (ESRI), um MDE contínuo foi gerado do mosaico composto pelo conjunto de cenas. As anomalias na superfície do MDE foram eliminadas e, a partir dela, a direção de fluxo foi criada. As microbacias hidrográficas foram extraídas automaticamente da direção de fluxo e convertidas para o formato vetorial (Figura 2.2-A). A área das jazidas de minério que sobrepujam a área de cada microbacia foi extraída e a razão entre elas obtida pela Equação 2.1:

$$RA_J = A_J/A_{BH} \quad \text{Equação 2.1}$$

Em que: RA_J a razão entre a área da jazida e a área da microbacia;

A_J a área da jazida;

A_{BH} a área da microbacia.

A partir da direção de fluxo, foi obtida a acumulação de fluxo, que teve seus valores reclassificados e, a partir das células com valor maior ou igual a 400 pixels, a hidrografia numérica foi extraída. Esse valor foi verificado e se mostrou condizente com a realidade da região. A classificação hierárquica dos cursos d'água, conforme Strahler (1964), foi realizada na hidrografia numérica e, em seguida, foi vetorizada (Figura 2.2-B).

2.2.2.2. Critérios de seleção

Na seleção das sete microbacias hidrográficas foi considerado cinco critérios adaptados de (SILVEIRA *et al.*, 2020), sendo cada critério representado por dois ou mais subcritérios, delineados com os objetivos desse trabalho (Tabela 2.1). Cada subcritério apresentou um peso ou valor binário, minimizando a subjetividade de exclusão ou inclusão da microbacia.

Tabela 2.1 – Critérios, subcritérios, pesos e formas de uso para a seleção das microbacias hidrográficas sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil

| Critério | Subcritério | Peso/Valor | Aplicação |
|--------------------|---|--|------------------|
| Apoio | Anuência do proprietário rural | Sim Ou Não | Remota |
| Área de drenagem | Curso d'água perene | Sim Ou Não | <i>in loco</i> |
| | Ordem do curso d'água | 1 ^a , 2 ^a , ..., n | Remota |
| | Razão entre área da jazida e da microbacia | Baixa OU Média OU Alta | Remota |
| Estratégico | Jazida de bauxita já minerada | Sim OU Não | Remota |
| | Jazida de bauxita sob vegetação nativa – mata | Sim OU Parcialmente OU Não | Remota |
| | Localização da foz no polígono de licenciamento | Dentro OU Fora | Remota |
| | Localização da jazida de bauxita | Montante OU Jusante | Remota |
| Operacional | Acesso por estrada | Fácil OU Difícil | Remota |
| | Possibilidade de monitoramento da vazão | Sim Ou Não | <i>in loco</i> |
| Representatividade | Presença de represas a montante da foz | Sim OU Não | Remota |
| | Urbanização na área de drenagem | Sim OU Não | Remota |

Fonte: Os autores.

2.2.2.3. Análise da seleção

A análise da seleção consistiu em duas etapas, sendo a primeira, de pré-seleção, realizada remotamente utilizando uma planilha eletrônica para registro dos pesos de cada subcritério e o *software* Google Earth Pro para fotointerpretação através do histórico das áreas das jazidas e microbacias. A segunda etapa, de seleção final, foi realizada em campo somente nas microbacias pré-selecionadas na etapa anterior, verificando os subcritérios que não eram possíveis de serem obtidos remotamente.

Na pré-seleção, os polígonos das microbacias e das jazidas foram exportados no formato KMZ para análise no Google Earth Pro. A planilha eletrônica continha as microbacias nas linhas e os subcritérios nas colunas. Utilizou uma escala de 0 a 2, sendo 0 para as microbacias excluídas, 1 para microbacias incluídas com restrições e 2 para microbacias incluídas e sem restrições. As restrições seriam quaisquer atributos que não atendessem aos

critérios de inclusão, mas que não eram impeditivos para o uso, como para os critérios de definição do valor 0.

As microbacias que receberam valor 0 foram aquelas que apresentaram jazida de bauxita à jusante do ponto da foz, jazida de bauxita minerada, jazida de bauxita integralmente sob vegetação nativa (mata), foz fora do polígono de licenciamento (ANM), área urbanizada e baixa razão ($RA_J < 0,1$) entre a área da jazida e a área da microbacia, sendo imediatamente retiradas na análise.

As microbacias que receberam valor 2 apresentaram alta razão ($RA_J > 0,35$) entre a área da jazida e da microbacia, proximidade com estradas (acesso), cursos d'água de 1ª ordem (STRAHLER, A. N., 1964) e ausência de represas à montante da foz. O valor 1 foi conferido para as demais microbacias. As melhores microbacias para o monitoramento (valor=2) foram pré-selecionadas, os proprietários rurais identificados pela companhia mineradora e, o contato foi realizado pelos autores.

Visitas em campo foram realizadas entre 03 de julho a 26 agosto de 2020, após agendamento com os proprietários, com o intuito de verificar a anuência do proprietário na condução do estudo em suas terras, a perenidade do curso d'água e a possibilidade de monitoramento hidrológico. As microbacias selecionadas foram aquelas cuja respostas foram positivas para todos os subcritérios de seleção final.

A partir da anuência do proprietário, era realizado agendamento de visitas à propriedade rural. A perenidade ou intermitência do curso d'água foi relatada pelos proprietários e a possibilidade de monitoramento foi feita verificando se o relevo e a calha natural do curso d'água permitiam a instalação de bicas, calhas ou vertedores para coletas de vazão (Figura 2.2-A). O melhor ponto para o monitoramento hídrico foi definido como a foz, que, em todos os casos, não coincidiram com a foz natural.

2.2.3. Morfometria das microbacias hidrográficas

A análise morfométrica foi realizada apenas nas microbacias selecionadas. Para isso, foram corrigidos os vértices da área de drenagem e da hidrografia vetorial para cada microbacia para coincidir com o divisor real, dado

que o MDE, do qual foram extraídos, apresentava resolução de 12,5 metros (Figura 2.2-B).

O novo conjunto de dados foi reprojetoado para UTM, fuso 23 S, datum SIRGAS 2000, e os parâmetros morfométricos foram coletados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica – SIG, no software ArcGIS 10.2.2 (ESRI), utilizando ferramentas de análises espaciais, e posteriormente calculados em planilha eletrônica no software MS Excel 2016 (Figura 2.2-B; Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Parâmetros morfométricos analisados nas microbacias selecionadas sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil

| Parâmetros morfométricos | Equações | Referências |
|---|-----------------------------------|------------------|
| Geométricos | | |
| Área (A) (km ²) | — | — |
| Perímetro (P) (km) | — | — |
| Eixo (Lb) (km) | — | Horton (1945) |
| Fator de forma (Rf) | $Ff = A / Lb^2$ | Horton (1932) |
| Índice de circularidade (Rc) | $Rc = 4\pi A / P^2$ | Miller (1953) |
| Coefficiente de compacidade (Cc) | $Cc = P / 2\sqrt{\pi A}$ | Grevelius (1914) |
| Rede de drenagem | | |
| Comprimento do canal principal (Lu) (km) | — | Horton (1945) |
| Densidade de drenagem (Dd) (km.km ⁻²) | $Dd = Lu / A$ | Horton (1932) |
| Relevo | | |
| Orientação | — | Tonello (2006) |
| Elevação na foz (e _{min}) (m) | — | — |
| Elevação máxima da bacia (e _{máx}) (m) | — | — |
| Elevação máxima do eixo (e _{Lb}) (m) | — | — |
| Amplitude altimétrica (H) (m) | $H = e_{máx} - e_{min}$ | Strahler (1952) |
| Inclinação do eixo (i) (%) | $i = 100 (e_{Lb} - e_{min}) / Lb$ | Tonello (2006) |
| Razão de relevo (Rr) (m.m ⁻¹) | $Rr = H / Lb$ | Melton (1957) |
| Número de rugosidade (Rn) | $Rn = H.Dd$ | Melton (1957) |

Fonte: Os autores.

Os mapas de nível de sombreamento e de declividades das microbacias foram extraídos do MDE corrigido no software ArcGIS 10.2.2 (ESRI), utilizando as funções automáticas de geração de sombras e de declividades, respectivamente. Ao modelo de sombreamento foi aplicado um ângulo azimutal de 315° e 45° de elevação do Sol, que foi posteriormente reclassificado em duas classes de sombreamento, correspondendo à maior ou menor nível. O modelo

de declividades foi gerado para valores percentuais (Figura 2.2-B), os quais foram reclassificados em seis classes, adaptado de EMBRAPA (1979), consistindo em relevo plano para inclinações médias menores que 3%, suave ondulado de 3 a 8% de inclinação média, ondulado de 8 a 20%, forte ondulado de 20 a 45%, escarpado de 45 a 75% e relevo forte escarpado para inclinações médias acima de 75%.

A fim de caracterizar o estágio de desenvolvimento geomorfológico e a susceptibilidade das microbacias à erosão, a curva hipsométrica foi plotada no software MS Excel 2016. Para isso, o MDE de cada microbacia foi extraído e reclassificado em 20 classes equidistantes, obtendo as alturas e áreas relativas, no software ArcGIS 10.2.2 (BARBOSA *et al.*, 2022) (Figura 2.2-B).

2.2.4. Vazão e Pluviometria

A coleta da vazão instantânea nas microbacias selecionadas se deu da forma direta em barramentos ou bicas construídas com tubos de PVC de 10 a 15 cm de bitola, terra e pedras coletadas no local, instalados na calha do curso d'água com baixo impacto para o ambiente, sendo utilizado balde e cronômetro na atividade, executada por duas pessoas. O volume coletado no balde, durante o período de acionamento do cronômetro, foi mensurado em uma proveta plástica de 2000 ml com intervalos de 20 ml (Figura 2.3).

Figura 2.3 – Medição da vazão instantânea em uma das microbacias selecionadas, com uso de balde, proveta e cronômetro, Muriaé-MG, 2021

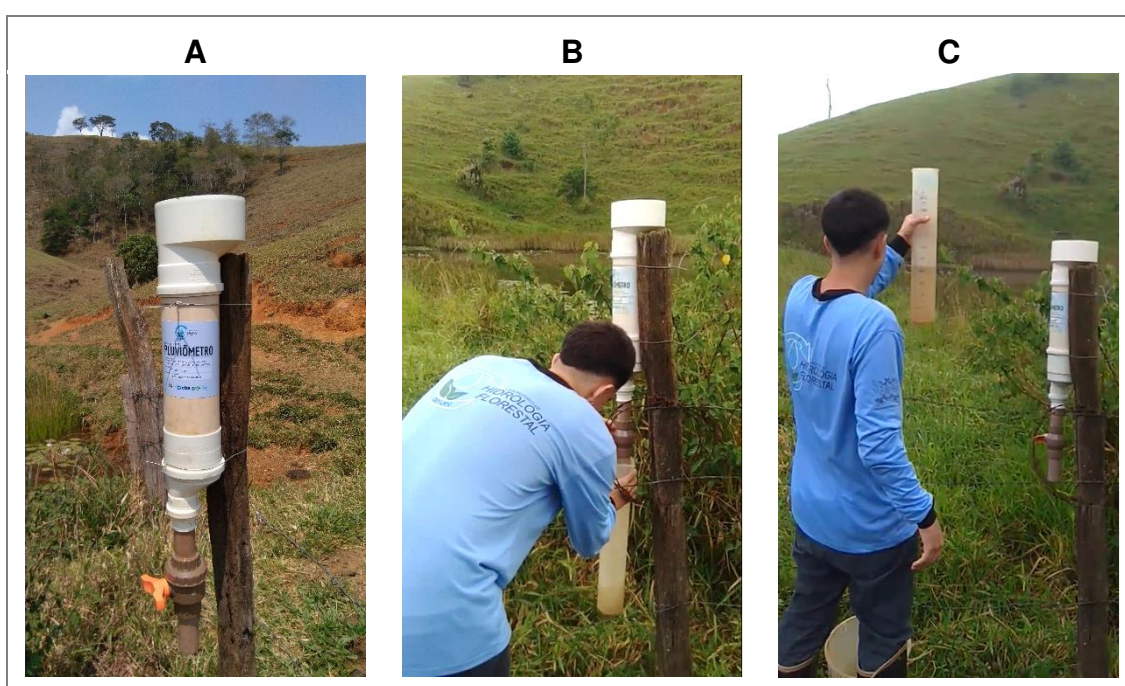


Fonte: O autor.

A vazão instantânea para cada microbacia correspondeu à média de 5 medições, no ponto de coleta (foz teórica). As coletas ocorreram semanalmente, procurando realizá-las nos mesmos horários da manhã, segundo rota de deslocamento pré-estabelecida.

A pluviometria semanal acumulada foi coletada em pluviômetros construídos de tubos e conexões de PVC com abertura circular de 150 mm e corpo de volume mínimo de 4 litros, instalados, sempre que possível, dentro das microbacias, conforme Barbosa *et al.* (2019), e mensurada com uma proveta plástica de 2000 ml com intervalos de 20 ml (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Pluviômetro instalado na microbacia BH29 (A) e procedimento de medição da pluviometria acumulada com uso de proveta (B; C), Muriaé-MG, 2021



Fonte: Os autores.

O período de monitoramento da vazão e pluviometria ocorreu durante 1 de setembro de 2020 a 31 de março de 2022, com campanhas semanais. Todos os dados foram anotados em caderneta de campo e digitados, na sequência, em escritório.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização morfométrica é a principal análise física das bacias hidrográficas de interesse, visto que os picos de vazão e o processo de erosão tem grande relação com seu formato (PRIETO-AMPARÁN *et al.*, 2019; SUHARYANTO; SUHARTANTO; LESMANA, 2020). A partir da morfometria é

possível comparar bacias com características homogêneas e predefinidas e, assim, selecionar aquelas prioritárias para conservação e monitoramento (VENDRUSCOLO; SCHMIDT, 2019; SUHARYANTO; SUHARTANTO; LESMANA, 2020).

2.3.1. Seleção das microbacias hidrográficas

No levantamento pré-seleção foram selecionadas 74 microbacias hidrográficas localizadas no entorno de 76 jazidas de minério de bauxita com lavra prevista entre 2022 a 2027 e área variando de 0,43 a 37,21 ha. Essas microbacias, potencialmente sob influência dessas jazidas, estão distribuídas em uma área de 16 x 14 km.

As jazidas de bauxita presentes na área de estudo estão localizadas nos topos e nas encostas dos morros convexizados e tabulares, apresentando perfis in-situ, de 5 a 20 m de espessura, ou alóctones, originários de deslocamentos por movimento em massa. O relevo é aplainado onde ocorrem os depósitos de bauxita, pois funcionam como estabilizadores do processo erosivo, apresentando uma descontinuidade do relevo na linha de limite da jazida e um relevo mais dessecado que se estende até os fundos de vale (LOPES; CARVALHO, 1990; CARVALHO *et al.*, 1997).

Vale ressaltar que, em uma bacia hidrográfica, os topos e encostas de morro aplainados (menos íngremes) são as principais áreas de recarga do lençol freático, por apresentarem maior capacidade de infiltração em comparação com os fundos de vale (ALMEIDA JÚNIOR; CASTRO; SANTOS, 2020). Por conseguinte, as alterações impostas nesse ambiente durante e após a mineração da bauxita, não apenas na topografia, mas inclusive pela retirada do minério e estéreis, podem causar impactos que comprometam o balanço hídrico dessas microbacias, como redução do volume de água armazenada no solo, principalmente daquelas de menor área, mais susceptíveis e frágeis (CALIJURI; BUBEL, 2006; FREITAS, 2018; SPLETOZER, 2018).

Na primeira etapa de seleção (remota), 37 microbacias (50,0%) receberam o valor 0 e foram prontamente excluídas, visto que apresentaram jazida de bauxita à jusante (7) da foz, jazida minerada (3), jazida sob vegetação

nativa (1), foz fora do polígono de licenciamento (7), urbanização (2) e baixa RAJ (24) (Quadro 2.1). Ao menos 18,9% das microbacias excluídas apresentaram resultado positivo para dois ou três critérios de exclusão.

Quadro 2.1 – Aplicação remota de nove subcritérios referentes às jazidas de bauxita, às áreas e aos canais de drenagem para as 74 microbacias prospectadas e seleção das microbacias, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2020

| BH | Seleção | Jazida | | | Área e Canais de Drenagem | | | | | |
|----|---------|----------|----------|----------|---------------------------|------|-----------------|---------|-------|---------|
| | | Localiz. | Minerada | Sob Mata | Foz | Urb. | RA _J | Acesso | Ordem | Represa |
| 1 | 0 | Jusante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 2 | 0 | Jusante | Não | Não | Fora | Não | Baixa | — | — | — |
| 3 | 2 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Fácil | 1 | Não |
| 4 | 2 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Fácil | 1 | Não |
| 5 | 0 | Montante | Sim | Não | Dentro | Não | Alta | — | — | — |
| 6 | 2 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Fácil | 1 | Não |
| 7 | 0 | Jusante | Não | Não | Dentro | Não | Média | — | — | — |
| 8 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Difícil | 1 | Não |
| 9 | 0 | Jusante | Não | Não | Dentro | Não | Média | — | — | — |
| 10 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 11 | 2 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Fácil | 1 | Não |
| 12 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Difícil | 1 | Não |
| 13 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Fácil | 1 | Não |
| 14 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 15 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 16 | 0 | Montante | Não | Não | Fora | Não | Baixa | — | — | — |
| 17 | 0 | Montante | Não | Não | Fora | Não | Média | — | — | — |
| 18 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 19 | 0 | Montante | Não | Não | Fora | Não | Baixa | — | — | — |
| 20 | 0 | Montante | Não | Parcial. | Fora | Não | Média | — | — | — |
| 21 | 0 | Montante | Não | Sim | Dentro | Não | Média | — | — | — |
| 22 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Sim | Baixa | — | — | — |
| 23 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 24 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Fácil | 1 | Sim |
| 25 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Difícil | 2 | Sim |
| 26 | 0 | Jusante | Não | Não | Dentro | Não | Média | — | — | — |
| 27 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Difícil | 1 | Não |
| 28 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Fácil | 2 | Sim |
| 29 | 2 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Fácil | 1 | Não |
| 30 | 1 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Alta | Difícil | 2 | Não |
| 31 | 2 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Fácil | 1 | Não |
| 32 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Fácil | 2 | Não |
| 33 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Difícil | 1 | Sim |

| BH | Seleção | Jazida | | | Área e Canais de Drenagem | | | | | |
|----|---------|----------|----------|----------|---------------------------|------|-----------------|---------|-------|---------|
| | | Localiz. | Minerada | Sob Mata | Foz | Urb. | RA _J | Acesso | Ordem | Represa |
| 34 | 1 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Média | Difícil | 1 | Sim |
| 35 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 36 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Difícil | 2 | Sim |
| 37 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 38 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 39 | 0 | Montante | Não | Não | Fora | Não | Média | — | — | — |
| 40 | 0 | Montante | Não | Não | Fora | Não | Baixa | — | — | — |
| 41 | 2 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Alta | Fácil | 1 | Não |
| 42 | 1 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Média | Difícil | 2 | Sim |
| 43 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Fácil | 1 | Sim |
| 44 | 0 | Montante | Não | Sim | Dentro | Não | Alta | — | — | — |
| 45 | 0 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 46 | 0 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 47 | 1 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Média | Fácil | 1 | Não |
| 48 | 2 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Fácil | 1 | Não |
| 49 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Fácil | 1 | Sim |
| 50 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 51 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 52 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 53 | 0 | Jusante | Não | Não | Dentro | Não | Média | — | — | — |
| 54 | 2 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Alta | Fácil | 1 | Não |
| 55 | 1 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Média | Fácil | 1 | Não |
| 56 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Difícil | 1 | Sim |
| 57 | 0 | Montante | Sim | Não | Dentro | Não | Média | — | — | — |
| 58 | 0 | Montante | Sim | Não | Dentro | Não | Média | — | — | — |
| 59 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Difícil | 2 | Não |
| 60 | 1 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Média | Difícil | 1 | Não |
| 61 | 2 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Alta | Fácil | 1 | Não |
| 62 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Fácil | 1 | Sim |
| 63 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 64 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Difícil | 1 | Sim |
| 65 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 66 | 0 | Jusante | Não | Não | Dentro | Não | Média | — | — | — |
| 67 | 2 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Fácil | 1 | Não |
| 68 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Fácil | 1 | Não |
| 69 | 1 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Média | Fácil | 1 | Sim |
| 70 | 0 | Montante | Não | Parcial. | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 71 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Baixa | — | — | — |
| 72 | 0 | Montante | Não | Não | Dentro | Sim | Baixa | — | — | — |
| 73 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Média | Fácil | 1 | Sim |
| 74 | 1 | Montante | Não | Não | Dentro | Não | Alta | Fácil | 1 | Sim |

Fonte: O autor.

Qualquer alteração nos recursos naturais, usos e coberturas presentes dentro dos divisores de água de uma bacia hidrográfica (a montante), pode influenciar na vazão da nascente (a jusante) (TONELLO *et al.*, 2009), motivo do qual as microbacias com jazidas localizadas à jusante foram excluídas (MAYES *et al.*, 2021), por não ser possível correlacionar o comportamento da vazão com a mineração. Neste mesmo raciocínio, as microbacias com jazidas já mineradas em sua área de drenagem foram excluídas, assim como aquelas com depósitos de bauxita sob vegetação nativa, uma vez que não há sua supressão para a lavra, atualmente (SILVEIRA, 2017).

Ainda, a matriz da área de estudo é composta por propriedades rurais com atividade agrícola, silvícola, pecuária e vegetação nativa (FREITAS, 2018), sendo excluídas as microbacias urbanizadas pelo fato de não serem representativas, apresentando superfícies impermeáveis, maiores concentrações de poluentes e menor tempo de concentração (LI *et al.*, 2020; TREMBLAY *et al.*, 2020).

Outro motivo de exclusão foi a foz (ponto de monitoramento hidrológico) estar localizada fora do polígono de licenciamento ambiental e de concessão da mina, inviabilizando legalmente o estudo (BRASIL, 1967). Por fim, com a intenção de controlar melhor os efeitos do objeto de estudo, dada a disponibilidade de microbacias com média e alta RA_J , decidiu-se pela exclusão daquelas que apresentassem baixa RA_J (PESSÔA; RAMIRES, 2013; PATINO; FERREIRA, 2016; FIGUEIREDO *et al.*, 2021).

O valor 2 foi atribuído para 11 microbacias (14,9%) por apresentarem alta RA_J , curso d'água de 1ª ordem, facilidade de acesso por estradas e ausência de represamento à montante da foz (Quadro 2.1) e, portanto, foram incluídas na segunda etapa de seleção. Por sua vez, 26 microbacias (35,1%) receberam valor 1 por apresentarem ao menos uma restrição ao monitoramento hidrológico (Quadro 2.1) e, por conseguinte, não foram incluídas na segunda etapa de seleção.

As microbacias de 1ª ordem (Strahler, 1957) tem seus processos hidrológicos, geomórficos e biológicos mais intimamente interligados em razão do seu isolamento geográfico, por isso foram assumidas como as principais

áreas de estudo, dado sua maior sensibilidade em indicar qualquer alteração nesses processos (CALIJURI; BUBEL, 2006). Represas, por outro lado, podem atuar como reservatórios de água e regularizar a vazão do curso, reduzindo a vazão de pico nos períodos úmidos e liberá-la a uma taxa mais constante, aumentando a vazão mínima nos períodos secos (LANNA, 2001; TUCCI, 2001). Sendo assim, a ocorrência de represas à montante do ponto de monitoramento tendem a regularizar a vazão, por isso foi priorizado a seleção de microbacias sem represas. A facilidade de acesso foi considerada para otimizar o tempo de deslocamento entre as microbacias e facilitar que as coletas fossem feitas na manhã de um mesmo dia, uma vez que o consumo de água numa bacia hidrográfica (transpiração) e a taxa de evaporação variam com as condições meteorológicas, sendo menor a vazão nos horários de maior temperatura atmosférica (MOLCHANOV, 1971a).

O proprietário H rejeitou a condução do estudo em seu imóvel rural e os proprietários I e K não retornaram aos contatos, não sendo obtida a anuência de nenhum deles (Tabela 2.3). Embora a população local se preocupe e haja consenso quanto a necessidade de investigar a influência da mineração de bauxita na vazão das nascentes, por direito de propriedade, o proprietário rural, dono da superfície, pode permitir, restringir ou limitar o acesso de pessoas em seu imóvel (BRASIL, 1988; FREITAS, 2018).

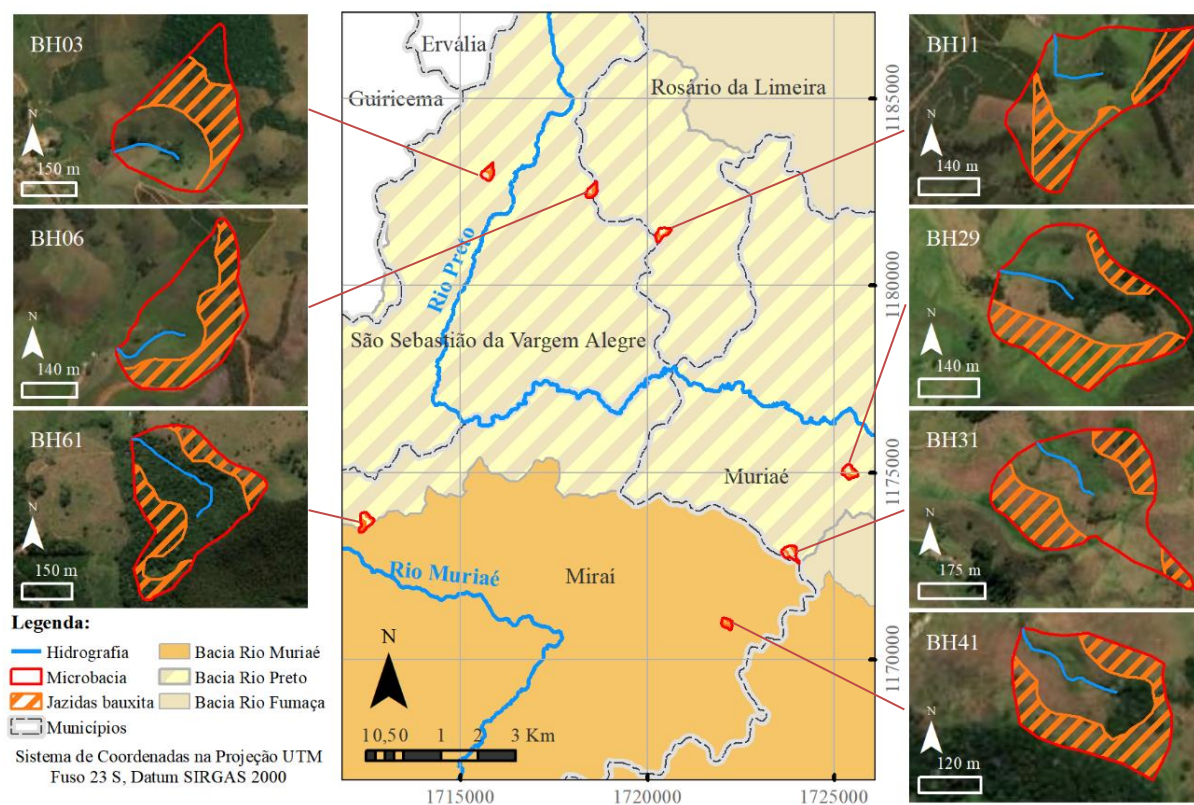
Tabela 2.3 – Resultado da seleção, identificação das microbacias hidrográficas, dos respectivos proprietários e os subcritérios utilizados na segunda etapa da seleção, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2020

| Microbacia | Proprietário | Subcritérios | | | Seleção |
|------------|--------------|--------------|--------|---------------|---------|
| | | Anuência | Perene | Monitoramento | |
| 03 | A | Sim | Sim | Sim | Sim |
| 04 | B | Sim | Não | Não | Não |
| 06 | C | Sim | Sim | Sim | Sim |
| 11 | D | Sim | Sim | Sim | Sim |
| 29 | E | Sim | Sim | Sim | Sim |
| 31 | F | Sim | Sim | Sim | Sim |
| 41 | G | Sim | Sim | Sim | Sim |
| 48 | H | Não | Sim | Sim | Não |
| 54 | I | Não | Sim | Sim | Não |
| 61 | J | Sim | Sim | Sim | Sim |
| 67 | K | Não | Sim | Sim | Não |

Fonte: O autor.

O curso d'água da microbacia nº.4 (BH04) é temporário, não havendo, segundo o proprietário B, fluxo superficial no inverno (período seco) e, também, não apresentou topografia que possibilitasse a instalação de bica, calha ou vertedor para coleta de dados de vazão, sendo excluída da seleção final (Tabela 2.3). Foram eleitas 7 microbacias para a condução do estudo hidrológico que satisfizeram todos critérios e subcritérios de seleção, sendo BH03 e BH06 em São Sebastião da Vargem Alegre, BH11 em Rosário da Limeira, BH29, BH31 e BH41 em Muriaé e BH61 em Mirai (Tabela 2.3 e Figura 2.5).

Figura 2.5 – Localização e identificação das microbacias selecionadas para o monitoramento hidrológico sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil



Fonte: Os autores.

As atividades minerárias tem se concentrado na cabeceira do Rio Muriaé e na bacia do Rio Preto (aflluente do Rio Fumaça) (FREITAS, 2018). Das microbacias selecionadas, somente a BH41 drena suas águas diretamente para o Rio Muriaé. As demais microbacias (BH03, BH06, BH11, BH29, BH31 e BH61) estão localizadas na área de drenagem do Rio Preto, estando a BH61 localizada

na divisa com a área de drenagem do alto rio Muriaé e a BH31 na divisa com as áreas de drenagens do alto Rio Muriaé e do Rio Fumaça (Figura 2.5).

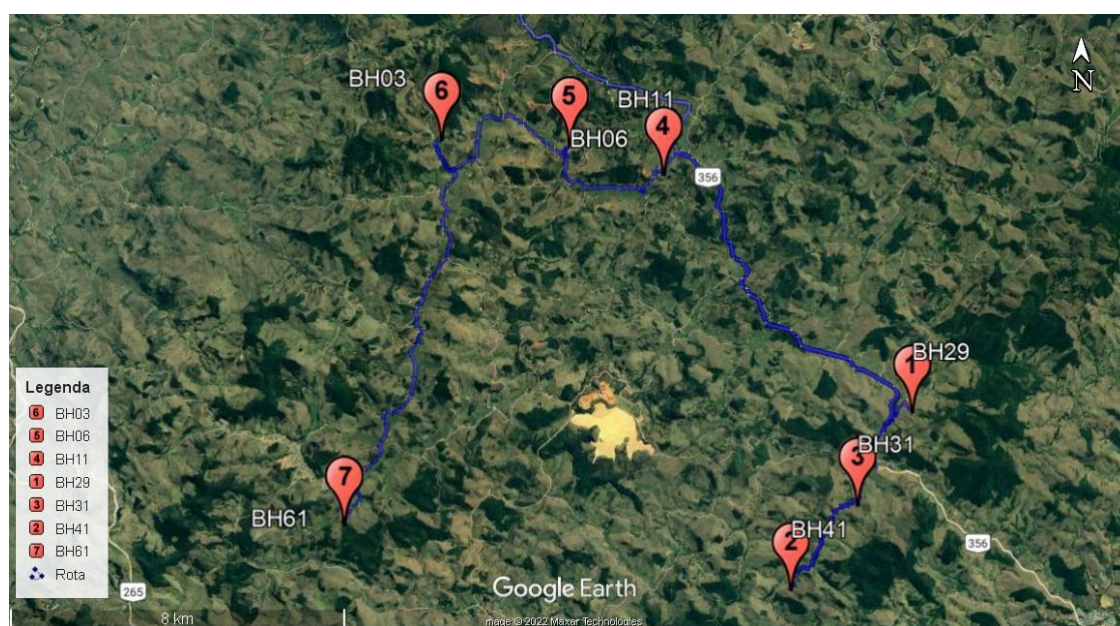
O monitoramento da vazão e pluviometria das sete microbacias selecionadas seguiu um roteiro de deslocamento semanal rigoroso, de maneira que as medições ocorressem num mesmo período da manhã, minimizando possível efeito da variação horária na vazão devido ao balanço de energia da vegetação e as perdas de água pela evapotranspiração (LIMA, 2008), sendo: BH29 → BH41 → BH31 → BH11 → BH06 → BH03 → BH61, conforme indicado pela Tabela 2.4 e Figura 2.6.

Tabela 2.4 – Horário médio de coleta de dados nas microbacias monitoradas semanalmente

| Horário de visita | Microbacia |
|-------------------|------------|
| 07:46 | BH29 |
| 08:27 | BH41 |
| 08:50 | BH31 |
| 09:46 | BH11 |
| 10:37 | BH06 |
| 10:56 | BH03 |
| 11:26 | BH61 |

Fonte: Os autores.

Figura 2.6 – Rota de deslocamento pré-estabelecida para coleta de dados do monitoramento semanal



Fonte: Os autores.

2.3.2. Morfometria das microbacias hidrográficas

As microbacias BH61, BH29 e BH31 apresentam as maiores área de drenagem, com 0,12, 0,11 e 0,11 km², respectivamente. A menor microbacia é a BH41 com área de drenagem e perímetro de 0,06 km². A área de drenagem para cada microbacia corresponde à área que contribui para geração da vazão no ponto (local) de monitoramento hídrico (Tabela 2.5). Por outro lado, embora a BH41 apresente a menor área de drenagem entre as microbacias selecionadas, ela apresenta maior proporção de área de jazida (0,51), juntamente com a BH03. As microbacias BH03 e BH61 apresentam as maiores áreas de jazida nos limites das áreas de drenagens das microbacias, com 0,05 km² (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 – Parâmetros morfométricos analisados das microbacias selecionadas, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2022

| Parâmetros Morfométricos | Microbacias Hidrográficas (BH) | | | | | | |
|--|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 03 | 06 | 11 | 29 | 31 | 41 | 61 |
| Geometria da Microbacia | | | | | | | |
| Área da microbacia (A) (km ²) | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,11 | 0,11 | 0,06 | 0,12 |
| Perímetro da microbacia (P) (km) | 1,49 | 1,31 | 1,32 | 1,32 | 1,51 | 1,07 | 1,50 |
| Comprimento do eixo (Lb) (km) | 0,40 | 0,32 | 0,31 | 0,47 | 0,52 | 0,38 | 0,42 |
| Fator de forma (Rf) | 0,67 | 0,84 | 0,78 | 0,48 | 0,42 | 0,41 | 0,70 |
| Índice de circularidade (Rc) | 0,59 | 0,63 | 0,56 | 0,77 | 0,61 | 0,65 | 0,69 |
| Coeficiente de compacidade (Cc) | 1,30 | 1,26 | 1,34 | 1,14 | 1,28 | 1,24 | 1,21 |
| Rede de Drenagem | | | | | | | |
| Comprimento do canal principal (Lu) (km) | 0,22 | 0,19 | 0,21 | 0,21 | 0,26 | 0,20 | 0,23 |
| Densidade drenagem (Dd) (km.km ⁻²) | 2,14 | 2,24 | 2,72 | 2,01 | 2,37 | 3,28 | 1,89 |
| Relevo | | | | | | | |
| Orientação | W | W | NW | NW | NW | NW | NW |
| Elevação na foz (e _{min}) (m) | 770 | 797 | 726 | 613 | 659 | 620 | 748 |
| Elevação máxima (e _{máx}) (m) | 964 | 880 | 842 | 752 | 830 | 736 | 894 |
| Elevação máxima do eixo (e _{Lb}) (m) | 905 | 857 | 820 | 752 | 830 | 735 | 884 |
| Amplitude altimétrica (H) (m) | 194 | 83 | 116 | 139 | 171 | 116 | 146 |
| Inclinação do eixo (i) (%) | 34 | 19 | 30 | 30 | 33 | 30 | 32 |
| Razão de relevo (Rr) (m.m ⁻¹) | 0,49 | 0,26 | 0,37 | 0,30 | 0,33 | 0,30 | 0,35 |
| Número de rugosidade (Rn) | 0,41 | 0,19 | 0,32 | 0,28 | 0,41 | 0,38 | 0,28 |

Fonte: O autor.

Tabela 2.6 – Parâmetros das jazidas de bauxita contidas nos limites das áreas de drenagens das microbacias selecionadas, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2022

| Parâmetros de Área das Jazidas | Microbacias Hidrográficas (BH) | | | | | | |
|--|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 03 | 06 | 11 | 29 | 31 | 41 | 61 |
| Área da microbacia (A) (km ²) | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,11 | 0,11 | 0,06 | 0,12 |
| Área de jazida (Aj) (km ²) | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,05 |
| Razão de área de jazida (RA _j) | 0,51 | 0,42 | 0,43 | 0,40 | 0,39 | 0,51 | 0,38 |

Fonte: O autor.

As bacias hidrográficas apresentam diferenças morfológicas entre si, seus tamanhos e formas estão relacionados com o relevo, a intensidade da drenagem e o grau dos processos erosivos da região, refletindo no seu potencial de produção de água (HORTON, 1945; GRAY, 1961; CALIJURI; BUBEL, 2006). Nesse contexto, controlado pelo relevo e forma da bacia (TONELLO *et al.*, 2006), o deflúvio pode ser maior em bacias de escalas menores (encostas de menor comprimento), onde ocorrem maior conectividade entre fluxos e variação na taxa de infiltração, principalmente sob excesso de intensidade de chuva, enquanto maiores comprimentos de encostas tendem a apresentar maior detenção de água de escoamento superficial em poças, dada sua maior rugosidade, facilitando a infiltração (GOMI *et al.*, 2008). Neste sentido, bacias de áreas menores são prioritárias ao monitoramento, devido a maior interação entre os recursos e o menor tempo de permanência da água (CALIJURI; BUBEL, 2006; SILVEIRA *et al.*, 2020).

Índices de forma indicam o grau de compactidade da área de drenagem de uma bacia, o tempo de concentração e a tendência de ocorrer eventos de cheias (ROMANOVSKI, 2001; BARBOSA, 2019). Eles relacionam a área da bacia com a área de uma forma geométrica compacta, sendo que, quanto mais próximo o índice estiver da unidade, mais compacta será esta bacia (BARBOSA, 2019). Á vista disso, o fator de forma (Rf) compara a área da bacia (A) com a de um quadrado de lado igual ao eixo da bacia (Lb) (HORTON, 1932, 1945). Por sua vez, o índice de circularidade (Rc) e o coeficiente de compactidade (Cc) relacionam a área da bacia com a de um círculo de perímetro (P) igual ao da bacia (GRAVELIUS, 1914; MILLER, 1953).

A partir dos parâmetros supracitados, tem-se que o fator de forma (R_f) para BH06 foi o mais próximo à unidade (0,84), indicando ser uma microbacia compacta de formato quadrado, com maior possibilidade de ocorrer picos de vazão. Por sua vez, BH41, BH31 e BH29 apresentaram R_f mais distantes da unidade, 0,41, 0,42 e 0,48, respectivamente, indicando maior tempo de concentração e formato mais retangular (Tabela 2.5). Os resultados do índice de circularidade (R_c) e coeficiente de compacidade (C_c) foram semelhantes entre si, com as BH29 e BH61 apresentando valores mais próximos à unidade para ambos os índices ($R_c=0,77$ e $0,69$; $C_c=1,14$ e $1,21$, respectivamente), apontando para um formato mais circular e compacto e uma tendência de menor tempo de concentração. Em contrapartida, BH11 e BH03 apresentaram valores mais distantes da unidade para ambos os índices ($R_c=0,56$ e $0,59$; $C_c=1,34$ e $1,30$, respectivamente), sugerindo formato mais alongado (Tabela 2.5).

Bacias com tendência a apresentar picos de vazão e susceptibilidade à erosão têm sido eleitas como as prioritárias ao monitoramento (RAWAT; TRIPATHI; MISHRA, 2014; PRIETO-AMPARÁN *et al.*, 2019), uma vez que estão ligadas a estes processos diversos prejuízos ambientais, sociais e econômicos. A ocorrência de escoamento superficial, por exemplo, causa transporte de solo, nutrientes, microrganismos e matéria orgânica, além de perdas de água, propriamente, que deixa de infiltrar no solo e reabastecer os aquíferos, causando degradação do solo, assoreamento e contaminação dos cursos de água e enchentes (ALEMU, 2014; ASGARI, 2020; AYELE; NAQVI; ALEMAYEHU, 2020; KUMAR PRADHAN *et al.*, 2020).

Medidas de mitigação de enchentes e aumento do tempo de concentração, como reflorestamento, retenção em tanques, construção de diques e reassentamento, vem sendo executadas em áreas que historicamente sofrem com inundações, visto que o enfrentamento à queda nos investimentos financeiros nestas localidades, dada as estimativas de riscos associadas, expõe essas populações a dificuldades socioeconômicas (KOUSKY, 2014; HOEPPE, 2016; CORDERI-NOVOA; HORI; YAMIN, 2020). Conforme os prejuízos decorrentes do escoamento superficial e da erosão do solo são mais graves nas bacias menores, é tendência que os estudos enfoquem em priorizá-las (ASGARI, 2020).

As menores densidade de drenagem (Dd) foram observadas para as BH61 e BH29, com 1,89 e 2,01 km.km⁻², respectivamente, e as BH41 e BH11 as maiores Dd, 3,28 e 2,72 km.km⁻², respectivamente (Tabela 2.5). Sabe-se que Dd relaciona o comprimento dos cursos (km) com sua área de drenagem (km⁻²), apresentando valores acima de 1,5 em regiões de maior inclinação e alta pluviometria (HORTON, 1932). Embora esse parâmetro tenha maior precisão em bacias de escalas maiores, ele nos oferece um bom indicativo da capacidade de infiltração da água no solo, da resistividade à erosão (HORTON, 1945) e do grau de permeabilidade das rochas (TONELLO, 2005; TONELLO *et al.*, 2006). Comparando os valores da Dd das microbacias, pode-se afirmar que as BH61 e BH29 são mais bem drenadas, as BH41 e BH11 são mal drenadas e as demais (BH03, BH06 e BH31) são razoavelmente drenadas.

Embora o solo na região de estudo apresente boa capacidade de infiltração (SILVEIRA, 2017; SPLETOZER, 2018) e o domínio seja de Latossolos Vermelho-Amarelo distrófico típico, que variam de fortemente a bem drenados (SANTOS *et al.*, 2018; CAVALCANTE *et al.*, 2019), alguns afloramentos da rocha matriz são observados nas encostas, inclusive durante a lavra das minas, já que os depósitos de bauxita se encontram logo acima da sua rocha de origem (LOPES; CARVALHO, 1990; CARVALHO *et al.*, 1997; FREITAS, 2018).

Nas microbacias onde se observa essas características de solos mais rasos, o volume de água armazenada no solo é menor que nas demais, indicando menor deflúvio durante estiagens e a ocorrência de picos de vazão quando da ocorrência de excesso de intensidade de chuva, devido ao prevailecimento de escoamento superficial (DOURTE; FRAISSE; BARTELS, 2015; OGDEN, 2016; MEI *et al.*, 2018). Dessa maneira, as microbacias com solo mais impermeável (maior Dd) são prioritárias ao monitoramento, tendo em vista seu menor armazenamento de água no solo e os maiores riscos de erosões (TONELLO *et al.*, 2006; SUTRADHAR, 2020; BARBOSA *et al.*, 2022).

As microbacias BH03 e BH06 são orientadas para Oeste (W) e as BH11, BH29, BH31, BH41 e BH61 são orientadas para Noroeste (NW) (Tabela 2.5). Bacias orientadas para Oeste e Norte, no Hemisfério Sul, recebem maior incidência de radiação solar e são consideradas dispersoras de umidade

(TONELLO *et al.*, 2006). No contexto das mudanças climáticas, a diminuição da vazão em microbacias de cabeceira está mais relacionada com as mudanças anuais no regime de chuva durante o inverno do que com o aumento das temperaturas médias (evaporação) (COOPER *et al.*, 2018; BARRERA *et al.*, 2020). Isso sinaliza a necessidade de maior cuidado durante a lavra, bem como na reabilitação em exportar menores quantidades de rejeitos (solo e saprólitos), além do uso de técnicas de proteção do solo e de conservação da água, as quais irão assegurar maior armazenamento de água no perfil e menores variações no deflúvio durante o período de estiagem (inverno) (ALVARES *et al.*, 2013; FREITAS, 2018).

Quanto ao relevo, maiores valores de amplitude altimétrica (H), razão de relevo (Rr) e inclinação (i) foram verificados para as BH03, apresentando de 194 metros, $0,49 \text{ m.m}^{-1}$ e 34%, respectivamente. Maior número de rugosidade (Rn) foi observado para BH03 e BH31, ambas com valores de 0,41 (Tabela 2.5). Em contrapartida, a BH06 mostrou um relevo mais plano, apresentando os menores índices de relevo, sendo $H=83 \text{ m}$, $i=19\%$, $Rr=0,26 \text{ m.m}^{-1}$ e $Rn=0,19$ (Tabela 2.5).

Parâmetros de relevo revelam o comportamento hidrológico das bacias, como a geração de picos de vazão, assim como sua susceptibilidade à erosão e à evaporação, sendo esperado menor tempo de concentração para as microbacias que apresentam maior H, i e Rr e maior potencial de inundações àquelas de maior Rn (STRAHLER, ARTHUR N., 1952; TONELLO *et al.*, 2006; OGDEN, 2016; BARBOSA, 2019; BARBOSA *et al.*, 2022). Maior erosividade é esperada de bacias com maior inclinação, sendo prioritárias ao monitoramento e ao manejo (RAWAT; TRIPATHI; MISHRA, 2014).

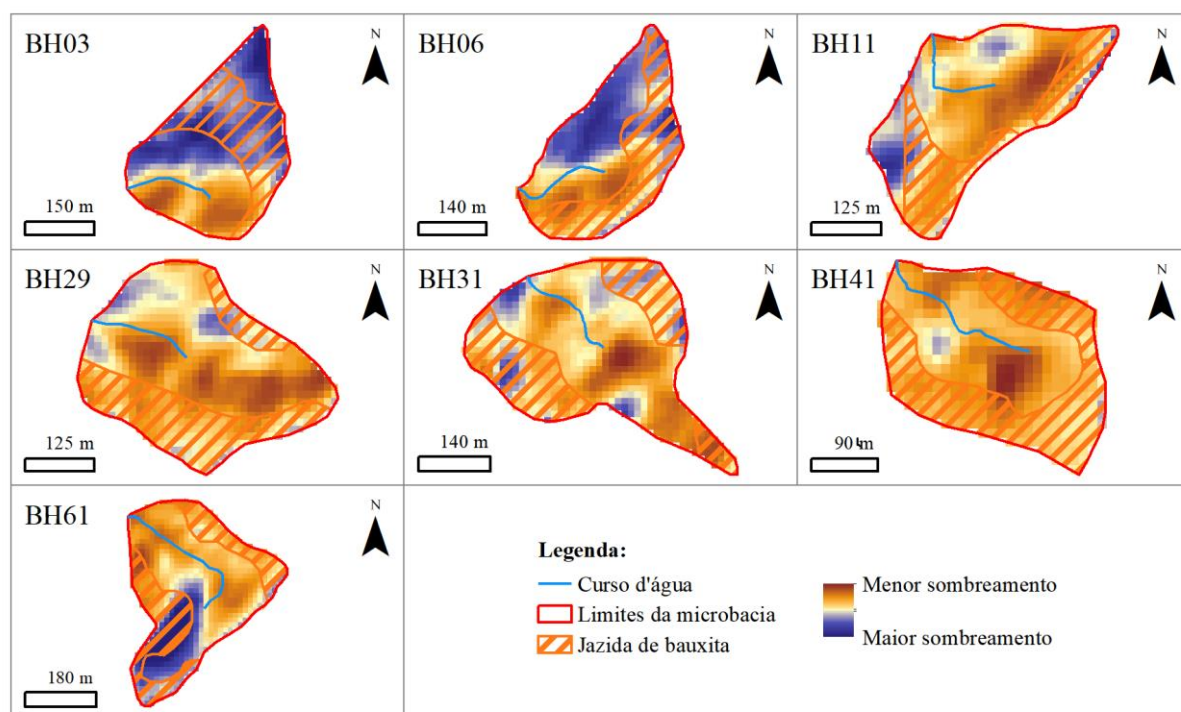
Menor nível de sombreamento (= maior iluminação) foi observado nas BH41 (0,5%) e BH29 (5,3%) em virtude da maior exposição à radiação solar das suas encostas, seguidas das BH31 (10,1%), BH11 (11,2%) e BH61 (26,5%). As BH03 e BH06 apresentam maior nível de sombreamento (57,4 e 46,6%, respectivamente) em razão de que grande parte das suas encostas não são voltadas para Norte e Oeste, conforme mencionado anteriormente (Tabela 2.7 e Figura 2.7).

Tabela 2.7 – Percentual do nível de sombreamento da área de cada microbacia selecionada sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2022

| Percentual de área da microbacia com | Microbacias hidrográficas | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 3 | 6 | 11 | 29 | 31 | 41 | 61 |
| Maior sombreamento | 57,4 | 46,6 | 11,2 | 5,3 | 10,1 | 0,5 | 26,5 |
| Menor sombreamento | 42,6 | 53,4 | 88,8 | 94,7 | 89,9 | 99,5 | 73,5 |

Fonte: O autor.

Figura 2.7 – Nível de sombreamento do terreno das microbacias selecionadas para o monitoramento hidrológico sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil



Fonte: Os autores.

O nível de sombreamento das bacias hidrográficas indica sua susceptibilidade à evaporação de água e, conseqüentemente, seu potencial de produção de água (TONELLO *et al.*, 2006). O processo da evaporação causa perdas de água do solo e é intensificado se o solo se encontra exposto (KADER *et al.*, 2017), principalmente quando submetido à altas temperaturas e ar seco (MAHDAVI *et al.*, 2017; ZHANG, Y. *et al.*, 2020), sendo o período de lavra da bauxita e o início da reabilitação os mais afetados por esse processo hidrológico. Isto porque, o topsoil é removido e armazenado em leiras no próprio terreno,

permanecendo o solo e o minério expostos por certo período até que a reabilitação da mina ocorra, quando, então, é realizado novo plantio com o recobrimento vegetal do solo (KADER *et al.*, 2017; FREITAS, 2018; O'BRIEN *et al.*, 2018). Em vista disso, microbacias com menores níveis de sombreamento são prioritárias ao monitoramento, pois são mais susceptíveis à evaporação da água do solo devido a maior exposição solar.

A intensificação do processo evaporativo da água do solo pode ser ainda maior nas jazidas localizadas nas faces de menor sombreamento do que naquelas localizadas nas faces com maior sombreamento, como nas BH11, BH29, BH31 e BH41 (Figura 2.7), podendo reduzir significativamente a vazão dessas microbacias. A ocorrência de maior homogeneidade das faces de exposições das encostas das bacias de maiores elevações confere maior resiliência (capacidade tampão) no deflúvio quanto as variações na temperatura e na precipitação (BARRERA *et al.*, 2020). Neste sentido, as BH41, BH29 e BH11, por ter a maior fração de suas jazidas em áreas com menor sombreamento, são aquelas que merecem cuidado especial durante a lavra do minério, como a construção de estruturas físicas que permitam maior infiltração da água, conforme apresentado por Freitas (2018).

A BH61 apresenta grande parte da sua área de drenagem coberta por Floresta Estacional Semidecidual (FESD) em estágio médio de regeneração (Figura 2.5), porém, como é costume não realizar supressão de vegetação nativa para lavrar o minério (SILVEIRA, 2017), apenas será explorada a jazida da vertente direita, que também apresenta menor sombreamento (Figura 2.7). Entretanto, sugere-se que esta microbacia apresente menor variação na vazão por conta da exploração da jazida da vertente direita e de sua exposição solar, uma vez que a vertente esquerda se encontra toda protegida e sob maior nível de sombreamento (MERCADO-BETTÍN; SALAZAR; VILLEGAS, 2019; WONDZELL; DIABAT; HAGGERTY, 2019; CHENG; OGDEN; ZHU, 2020).

Apesar da maior inclinação e maior amplitude altimétrica da BH03 que aumentam a velocidade de escoamento e diminuem o tempo de concentração da água das chuvas (TONELLO *et al.*, 2006; BARBOSA, 2019), ela apresenta

maior área com sombreamento (Figura 2.7), englobando grande parte da jazida, sugerindo maior potencial de produção de água (BARRERA *et al.*, 2020).

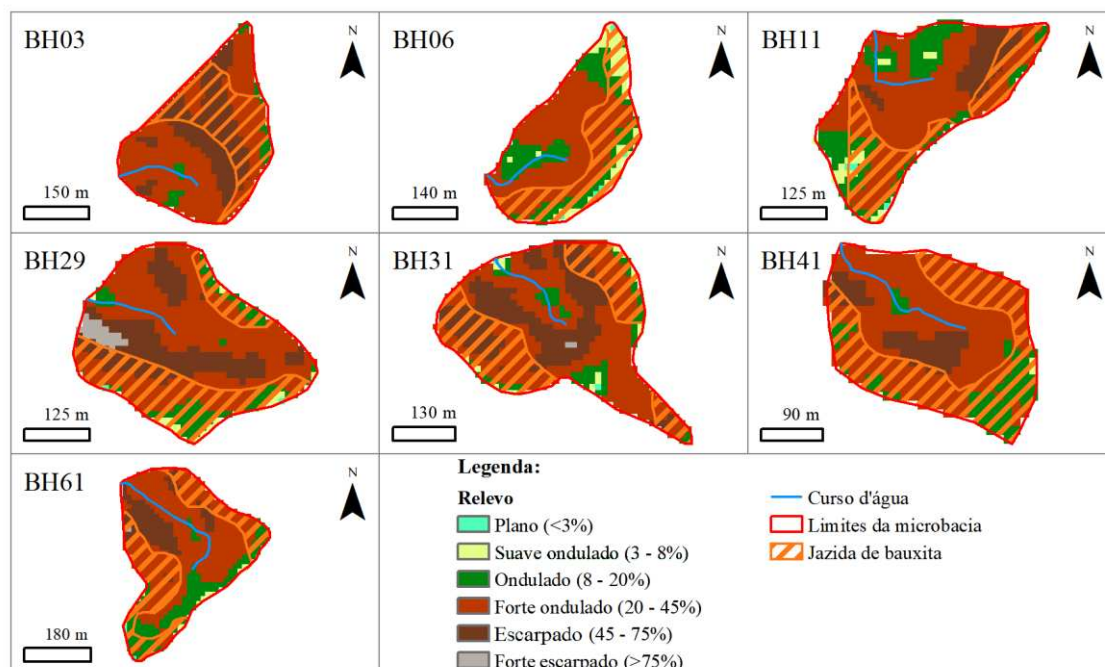
A inclinação média das microbacias variou de 20 a 45%, sendo o relevo classificado como forte ondulado (EMBRAPA, 1979). As microbacias BH03, BH29 e BH31 apresentaram maior inclinação média, com 89,3, 84,9 e 79,8% da sua área com relevo forte ondulado a escarpado. Por sua vez, a BH06 apresentou 98,2% de sua área com relevo suave ondulado a forte ondulado (Tabela 2.8). Os terrenos com menor inclinação localizam-se próximos aos divisores de água das microbacias, nas partes superiores das encostas e topos dos morros, onde geralmente ocorrem jazidas de bauxita. Entretanto, a maior fração da área das jazidas estão localizadas nas encostas mais declivosas, o que exige maiores cuidados da mineração com os processos hidrológicos (Figura 2.8).

Tabela 2.8 – Percentual de distribuição das classes de declividade, Adaptado de EMBRAPA (1979), para cada microbacia selecionada sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2022

| Declividade | Classificação do relevo | Microbacias hidrográficas | | | | | | |
|-------------|-------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 3 | 6 | 11 | 29 | 31 | 41 | 61 |
| < 3% | Plano | 0,0 | 1,9 | 0,7 | 0,3 | 0,4 | 0,0 | 0,3 |
| 3 – 8% | Suave ondulado | 0,3 | 12,8 | 4,8 | 3,4 | 2,9 | 1,2 | 2,9 |
| 8 – 20% | Ondulado | 10,3 | 29,0 | 25,8 | 13,8 | 11,5 | 22,3 | 20,8 |
| 20 – 45% | Forte ondulado | 55,9 | 56,4 | 56,5 | 54,4 | 51,9 | 64,6 | 61,6 |
| 45 – 75% | Escarpado | 33,4 | 0,0 | 12,1 | 25,4 | 33,0 | 11,9 | 14,4 |
| > 75% | Forte escarpado | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,7 | 0,3 | 0,0 | 0,1 |

Fonte: Os autores.

Figura 2.8. Inclinações e classes de relevo (EMBRAPA, 1979) das microbacias selecionadas para o monitoramento hidrológico sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil



Fonte: Os autores.

A geração de escoamento superficial é condicionada por diversos fatores, tais como a textura e teor de água do solo, forma e padrão de drenagem da bacia, intensidade de chuva, ação de animais, aspecto da cobertura vegetal e características topográficas (MOLCHANOV, 1971b; TONELLO *et al.*, 2006; CHEN *et al.*, 2018), especialmente da declividade média da bacia (GOMI *et al.*, 2008; TONELLO *et al.*, 2006), causando várias perdas, principalmente de água e solo (NISHIGAKI *et al.*, 2017; ZHANG, X. *et al.*, 2021). O excedente de chuva que não infiltra no solo, é retido na superfície e pode receber uma direção de fluxo, juntando-se com outras poças e escoando superficialmente, encosta abaixo, pela rede de drenagem (GOMI *et al.*, 2008; SILVEIRA, 2017).

Durante a mineração, a exposição do solo e a intensa movimentação de veículos e equipamentos pesados, que causam a selagem e a compactação do solo (FREITAS, 2018), limitam ainda mais a infiltração (MERINO-MARTÍN *et al.*, 2012; DUNCAN *et al.*, 2020b; FANG *et al.*, 2020). Estratégias e operações de lavra mais segura, como mineração por tiras em nível (strip mining) e construção e manutenção de um robusto sistema de drenagem, são empregadas mais com

a intenção de decantar o material particulado suspenso, mitigando acidentes ambientais, mas que, de certa forma, auxiliam na promoção da infiltração da água de escoamento superficial, aumentando o tempo necessário para sua infiltração no substrato da mina (FERREIRA; OLIVEIRA; MORAES, 2015; ABAL, 2017; FREITAS, 2018).

Após a lavra, algumas minas confrontantes com vegetação nativa ou com outros direitos minerários podem apresentar taludes de corte íngremes que não são vegetados, ficando o perfil exposto e susceptível a erosão e enxurradas (CHEN *et al.*, 2018; FREITAS, 2018; HAN *et al.*, 2021). Embora a fração de área desses taludes seja significativamente pequena em uma microbacia, eles contribuem pouco com a infiltração de água de chuva, gerando maiores perdas por escoamento superficial e evaporação (FREITAS, 2018).

Por outro lado, o processo de reabilitação das minas de bauxita, no Brasil, tem apresentado bons resultados quanto à diminuição do escoamento superficial e produção de sedimentos. A primeira etapa da reabilitação consiste na reconfiguração topográfica com o retorno do topsoil e, como esperado, o antigo volume ocupado pelo minério não será preenchido, causando o rebaixamento do terreno (KUTER, 2013; FREITAS, 2018; CAVALCANTE *et al.*, 2019) com decréscimo na inclinação média da encosta (SPLETOZER, 2018). Sugere-se que essa mudança de relevo na encosta promoverá, de fato, menos perdas de água por escoamento superficial comparativamente ao terreno mais declivoso anteriormente.

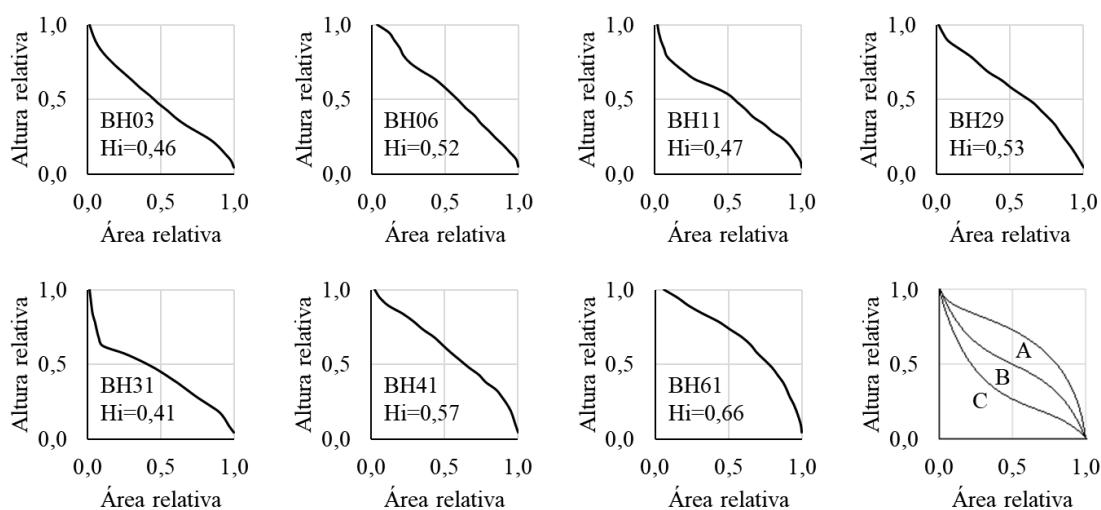
Somado a isso, foi verificado que a subsolagem à 1 metro de profundidade foi responsável pela descompactação e rompimento da camada impeditiva da infiltração, diminuindo a resistência do solo à penetração ao aumentar a porosidade total, gerando maior rugosidade na superfície do terreno e diminuindo 67,45 a 69,49% o escoamento superficial desses solos (SILVEIRA, 2017; SPLETOZER, 2018). Quanto a erosão hídrica, foi verificado diminuição de 78,5 a 81,6% nas perdas de solo em pastagens e lavouras de café, respectivamente, até no segundo ano da reabilitação em minas de bauxita (BORGES, 2013). Isso demonstra que, em alguns casos, a mineração contribua,

num primeiro momento, para a geração de perdas de água e solo nas microbacias (DUNCAN *et al.*, 2020b).

Entretanto, na mineração de bauxita em análise, a lavra é uma etapa curta e sucedida da reabilitação que apresentará ganhos hidrológicos consideráveis (SILVEIRA, 2017; SPLETOZER, 2018; SPLETOZER *et al.*, 2021). Em contrapartida, é esperado que ocorram perdas hidrológicas, como diminuição na vazão, quando uma extensa área da microbacia é alterada (minerada) e o processo de reabilitação não é imediatamente realizado.

A análise hipsométrica permitiu separar as microbacias em quatro grupos, com semelhanças nos diagramas e integrais hipsométricas (H_i). Maior H_i foi observado para a BH61 (0,66), apresentando formato convexo. Ligeira convexidade foi observada para as BH41, BH29 e BH06, com H_i iguais a 0,57, 0,53 e 0,52, respectivamente. As BH03 e BH11, com valores de H_i de 0,46 e 0,47, respectivamente, apresentaram os diagramas com conformação côncava-convexa a retilínea. Por fim, a BH31 ($H_i=0,41$) apresentou formato fortemente côncavo na parte superior e ligeira inflexão à nove-décimos da área relativa com conformação convexa (Figura 2.9).

Figura 2.9: Curva hipsométrica percentual (CH) e integral hipsométrica (H_i) das microbacias hidrográficas selecionadas para monitoramento hidrológico com jazidas de bauxita ainda não exploradas em sua área de drenagem, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, 2022



Fonte: Os autores.

A análise hipsométrica compara a distribuição da área do solo de uma bacia hidrográfica em relação à sua elevação (STRAHLER, ARTHUR N., 1952; SCHUMM, 1956), auxiliando na melhor compreensão da hidrologia das bacias de alto relevo, sendo possível identificar sua elevação mediana, indicador de diversas condições hidrológicas (HORTON, 1932).

A representação percentual das elevações possibilita a comparação de bacias de tamanhos e elevações distintas, sendo o formato da curva e o valor da H_i indicadores do estágio de desenvolvimento e da distribuição topo-fuz das massas de pequenas bacias (STRAHLER, ARTHUR N., 1952, 1957; SCHUMM, 1956). O diagrama inferior direito na Figura 2.9 mostra um modelo de comportamento da Curva hipsométrica percentual (CH), sendo a curva “A” de formato convexo a representação de uma bacia de estágio de desequilíbrio (jovem), com $H_i \geq 0,6$, indicando grande presença do material rochoso original; a curva “B” passando no centro do diagrama, apresentando uma concavidade na parte superior e uma convexidade na inferior, com H_i em torno de 0,5, representa uma bacia em estágio de equilíbrio (maturidade); embora bacias de topografias antigas não apresentem grandes variações da curva “B”, a curva “C” de formato côncavo e H_i baixas ($H_i \leq 0,4$) representa bacias onde o intemperismo esculpiu *Monadnocks* ou *Inselberg* na paisagem estágio de *Monadnocks* ou *Inselberg* (antigo) (STRAHLER, ARTHUR N., 1952; SCHUMM, 1956; STRAHLER, 1957).

Diante disso e conforme apresentado na Figura 2.9, a BH61 pode ser classificada como uma microbacia em estágio de desenvolvimento juvenil com mais de 66% do material rochoso original ainda não erodido. O segundo grupo, composto pelas BH06, BH29 e BH41, pode ser enquadrado no estágio transitório juvenil-maduro, dado o comportamento convexo da curva, porém com H_i próxima de 0,5 (OHMORI, 1993). O terceiro grupo, formado pelas BH03 e BH11, é aquele que o diagrama mais se aproxima do formato sigmoidal, característico do estágio de maturidade. A BH31 poderia ser classificada como uma transição madura-antiga dado seu diagrama e H_i (OHMORI, 1993), porém não apresenta *Monadnocks* em sua área de drenagem. Seu formato invertido de pera conferido por uma encosta estreita e longa que se estende até o cume de sua maior elevação lhe confere esse aspecto de *Monadnocks*, embora não seja a realidade. Aproximadamente nove décimos dessa microbacia apresentam

característica de estágio de desequilíbrio (juvenil), comportamento convexo da curva após a inflexão, podendo ser posta nessa classe. Bacias juvenis com curva hipsométrica convexa tendem a apresentar maiores perdas de solo, sendo prioritárias ao monitoramento (BRABOSA *et al.*, 2022).

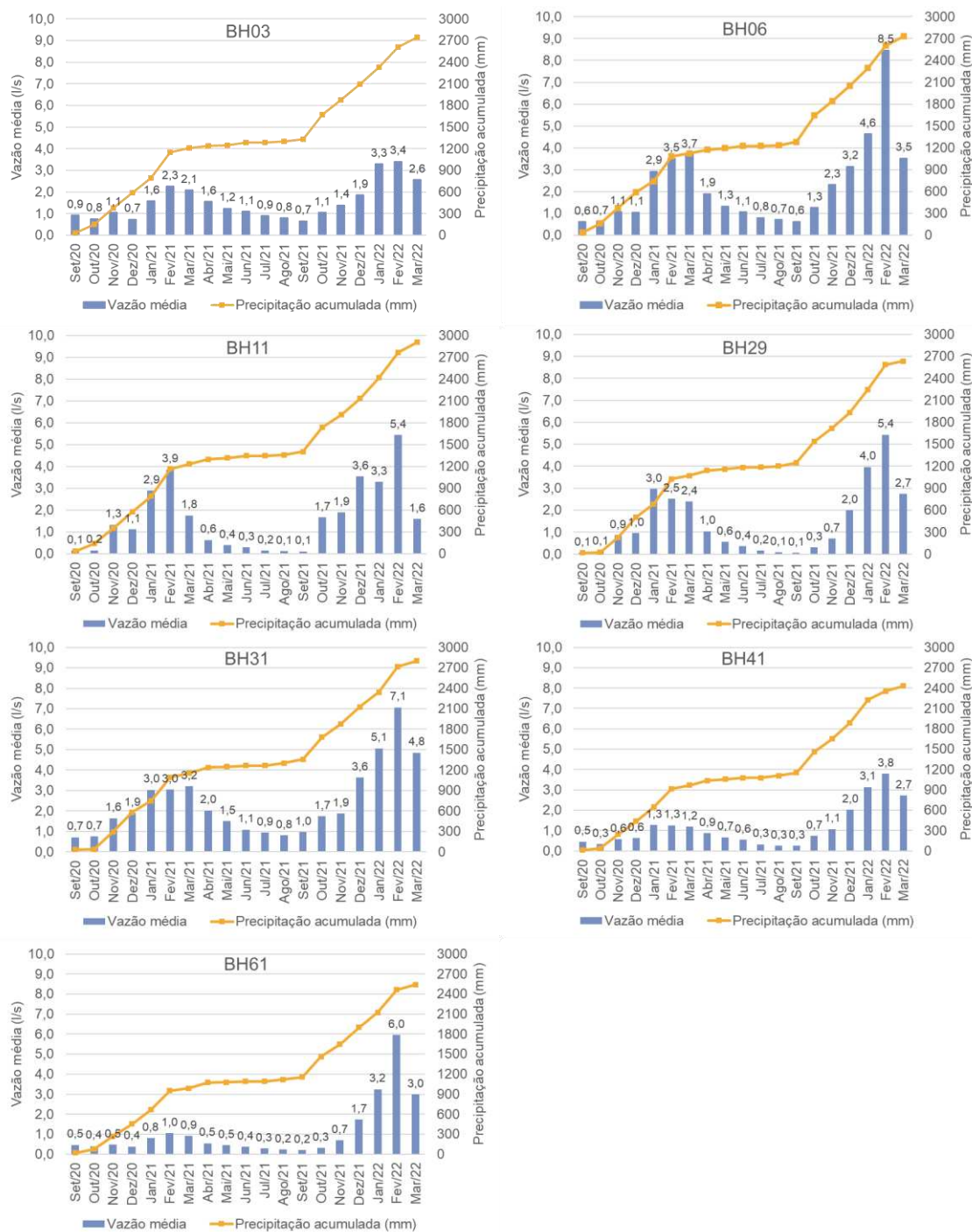
2.3.3. Vazão e Pluviometria

O monitoramento da vazão e pluviometria das sete microbacias selecionadas totalizou 82 observações, contemplando dois períodos de chuvas em 19 meses. A Figura 2.10 apresenta a vazão média mensal e a precipitação mensal acumulada observadas durante o monitoramento para cada microbacia.

O volume e a ocorrência das chuvas para a região da área de estudo apresentaram um padrão semelhante para as sete microbacias monitoradas, com ocorrência de maiores volumes de outubro a março, seguida de um período de estiagem que se estendeu de abril a setembro, conforme esperado para o clima Cwb da região (Köppen), com verões úmidos e invernos secos (ALVARES *et al.*, 2013).

A média de pluviometria acumulada para todas as microbacias foi de 2.685 mm nos 19 meses monitorados, com menor registro para a BH41 (2.432 mm) e maior registro para a BH11 (2.907 mm). Variações na lâmina de chuva ocorrem entre áreas numa mesma região devido a diversos fatores, como o vento (HORTON, 1919), por exemplo, isso porque a precipitação é um processo aleatório apresentando distribuição espacial, temporal e intensidades diferentes numa mesma área de estudo (BERTONI; TUCCI, 2001). Contribui também para a variação entre as áreas estudadas o microclima, a altitude e os fatores fisiográficos do entorno, que podem ter contribuído para formação de chuvas orográficas na BH11 (BERTONI; TUCCI, 2001), estando esta microbacia sob influência da Serra das Aranhas, Rosário da Limeira (MG).

Figura 2.10: Vazão média mensal (l/s) e precipitação acumulada mensal (mm) para as sete microbacias selecionadas com jazida de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, setembro de 2020 a março de 2022



Padrão de variação na vazão das sete microbacias ocorreu conforme o esperado, com maiores volumes de fluxo ocorrendo no período de chuvas e menores volumes de fluxos ocorrendo no período de seca. Entretanto, foi verificado que essas variações foram menores para as microbacias BH03 e BH41, que também apresentaram os menores picos de vazão, 5,0 e 4,6 l/s, respectivamente, provavelmente em virtude do seu formato mais retangular (BH41) e alongado (BH03) que aumenta o tempo de concentração da água e diminui a vazão máxima de enchente (TONELLO *et al.*, 2006).

Contudo, maiores variações nas vazões médias entre os períodos de chuva e seca foram observadas para BH06, BH11, BH29 e BH61. Esta oscilação observada no fluxo dessas microbacias pode estar relacionada com o formato mais compacto das BH06, BH29 e BH61 e com a maior impermeabilidade do solo (maiores valores de Dd) para BH11, que as torna mais susceptíveis à ocorrência de picos de vazão (TONELLO *et al.*, 2006; BARBOSA *et al.*, 2022). Os maiores picos de vazão (durante chuvas) foram observados para este grupo de microbacias, sendo 13,5 l/s para BH06, 10,2 l/s para BH11, 9,6 l/s para BH61 e 7,2 l/s para BH29, conforme Tabela 2.9. Para BH31 foi observado pico de vazão de 8,5 l/s, semelhante ao grupo dos maiores picos, o que pode estar relacionado com o relevo dessa microbacia que apresenta uma das maiores inclinações (33%) e maiores desníveis (171 m) associado a ausência de cobertura florestal nativa e predomínio de pastagem, que gera aumento no volume e na velocidade de escoamento superficial (TONELLO *et al.*, 2006).

Tabela 2.9 – Vazões de pico e mínimas observadas para cada microbacia selecionada sob influência de jazidas de bauxita, Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil, setembro de 2020 a março de 2022

| Microbacia | Vazão de pico (l/s) | Vazão mínima (l/s) |
|------------|---------------------|--------------------|
| 03 | 5,0 | 0,4 |
| 06 | 13,5 | 0,5 |
| 11 | 10,2 | 0,1 |
| 29 | 7,2 | 0,0* |
| 31 | 8,5 | 0,6 |
| 41 | 4,6 | 0,1 |
| 61 | 9,6 | 0,1 |

* Vazão igual a 0,007 l/s

Fonte: Os autores.

Naturalmente, uma bacia hidrográfica pode apresentar vazão mais regular que outras, exibindo menor gradiente entre o escoamento base e a vazão de pico, podendo estar associado com um ou mais fatores, como forma mais alongada, relevo menos declivoso, mal drenagem, maior e melhor cobertura vegetal, solos mais permeáveis, dentre outros (TUCCI, 2001; TONELLO *et al.*, 2006; BARBOSA *et al.*, 2022).

A análise das vazões mínimas (Tabela 2.9) indica que as BH31, BH06 e BH03 apresentaram maior produção de água no período de seca em comparação com as demais microbacias. Esta verificação pode estar relacionada com a maior profundidade do solo (BH03 e BH06) e a maior área de drenagem (BH31) dessas microbacias, que conferem a elas maior volume de armazenamento de água no solo em comparação com as demais microbacias (SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2001) bem como maior sombreamento (BH03 e BH06) que diminui as perdas de água por evapotranspiração (TONELLO *et al.*, 2006; BARBOSA *et al.*, 2022).

A menor vazão mínima observada foi para BH29, de 0,007 l/s, indicando que é uma microbacia já sensível para produção de água, podendo apresentar volumes ainda menores ou até seca durante o processo de mineração. Sua vazão mínima pode ser explicada pelo seu formato mais compacto associado a elevada declividade, que propicia maiores perdas de água por escoamento superficial dado o menor tempo de permanência da água (TONELLO *et al.*, 2006; LEAL; TONELLO, 2017; BARBOSA *et al.*, 2022) e pelo maior nível de exposição solar das suas encostas que diminui a umidade do solo dada as perdas por evapotranspiração (LIMA, 2008).

As BH11 e BH41 apresentam solo mais mal drenado, conforme os valores obtidos para densidade de drenagem, sendo confirmado pela observação de afloramentos da rocha e solo mais raso que BH03 e BH06, o que as confere menor capacidade de armazenamento de água no solo e a ocorrência de um lençol freático mais raso e de menor volume (SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2001; LIMA, 2008; MINGOTI, 2012). Contudo, a BH61, mesmo apresentando boa permeabilidade do solo e a maior cobertura florestal entre as demais, apresentou vazão mínima baixa (0,1 l/s). O menor deflúvio nos meses

mais secos, para a BH61, pode estar relacionado a maior evapotranspiração da floresta, que recobre grande fração da área da microbacia, devido a menor umidade relativa do ar nesse período (PINHEIRO *et al.*, 2019).

1.5. Eleição e indicações ao monitoramento hidrológico automatizado

Tendo apresentado, analisado e discutido as evidências acerca do comportamento hidrológico das sete microbacias selecionadas, sugere-se que as microbacias BH03, BH06, BH11 e BH29 são prioritárias ao monitoramento hídrico automatizado, conforme apresentado a seguir.

A microbacia BH03 apresenta maior regularidade na vazão anual e maior produção de água no período de seca, em comparação com as demais, entretanto, sua maior razão de área de jazida ($RA_J=0,51$) associada a alta inclinação ($i=34\%$) e amplitude altimétrica (194 m) podem contribuir para a alteração do seu comportamento hidrológico, aumentando as perdas por escoamento superficial durante o processo de lavra (LIMA, 2008; FREITAS, 2018), diminuindo sua vazão mínima. A BH03 apresenta um vale bem encaixado e acesso para veículos e maquinários, facilitando a instalação do sistema de monitoramento, sendo uma das microbacias eleitas (SILVEIRA *et al.*, 2020).

A BH06 apresenta relevo mais plano e boa vazão no período de seca em relação às demais, entretanto, seu formato compacto ($R_f=0,84$), que a torna susceptível a ocorrência de picos de vazão, dado o menor tempo de concentração (TONELLO *et al.*, 2006), conforme observado durante o monitoramento hídrico ($13,5 \text{ l.s}^{-1}$), justifica sua eleição ao monitoramento automatizado. Outra característica importante dessa da BH06 é sua operacionalidade no quesito de instalação do sistema de monitoramento, com acesso fácil e calha encaixada no relevo (SILVEIRA *et al.*, 2020).

A justificativa da eleição da BH11 como uma microbacia prioritária ao monitoramento automatizado está no fato de apresentar uma expressiva variação das médias de vazão entre o período de chuvas e de seca, com o segundo maior pico de vazão ($10,2 \text{ l.s}^{-1}$), em virtude do seu relevo forte-ondulado e solos rasos, evidenciados pela alta razão de relevo ($R_r=0,37 \text{ m.m}^{-1}$) e densidade de drenagem ($D_d=2,72 \text{ km.km}^{-2}$). Outro fato que torna a BH11

prioritária é a localização da jazida de bauxita em área de grande exposição solar, podendo acentuar a diminuição da vazão durante o período de seca, com a exposição do solo durante a lavra do minério (FREITAS, 2018). Esta microbacia também apresenta uma calha bem encaixada e facilidade de acesso, contribuindo para instalação do sistema de monitoramento (SILVEIRA *et al.*, 2020).

Por fim, a BH29 também foi eleita ao monitoramento automatizado em virtude de apresentar expressiva variação das médias de vazão entre o período de chuvas e de seca, sendo observada a menor vazão ($0,07 \text{ l.s}^{-1}$) durante o período de seca. Essa microbacia possui formato compacto ($R_c=0,77$; $C_c=1,14$), 84,9% da área com relevo forte ondulado a escarpado e alta exposição solar das suas encostas (94,7%), podendo a lavra da bauxita gerar maior redução na vazão mínima durante o período de seca, por aumento da evaporação e do escoamento superficial em consequência da exposição e compactação do solo (FREITAS, 2018). Assim com as demais microbacias, a BH29 apresenta calha do curso d'água encaixado e possibilidade de acesso, facilitando a instalação do sistema de monitoramento (SILVEIRA *et al.*, 2020).

Embora que a BH61 tenha apresentado formato compacto, vazão de pico de $9,6 \text{ l.s}^{-1}$ e considerável variação das médias de vazão, ela possui certo impedimento operacional por parte de sua área estar sob mata, que dificultaria o acesso de maquinário (SILVEIRA *et al.*, 2020). Essa mesma questão operacional contribui para a não eleição das microbacias BH31 e BH41, apresentando maior dificuldade de acesso em comparativo com as quatro microbacias eleitas (SILVEIRA *et al.*, 2020), embora apresentem inclinação elevada (BH31, $i=33\%$), bem como alta razão de jazida (BH41, $RA_J=0,51$) e alta densidade de drenagem (BH41, $D_d=3,28 \text{ km.km}^{-2}$).

Considerando as variações observadas nas vazões mínima ($0,007 \text{ l.s}^{-1}$) e máxima ($13,5 \text{ l.s}^{-1}$) entre as microbacias eleitas, é indicado que o monitoramento da vazão seja feito da forma indireta em uma calha H associada com um linígrafo e barômetro para a estimativa da lâmina d'água. A calha HS é o tipo de vertedor mais indicado para medição do fluxo em microbacias hidrográficas por ser sensível para vazões baixas e altas, com possibilidade de uso mesmo em

condições de alta carga de sedimentos (Hudson, 1993; KOMISKEY *et al.*, 2013) e baixo custo em condições de campo (MUHLBAUER *et al.*, 2007).

A atividade minerária de extração de bauxita na região de Mirai-MG já considera diversos padrões operacionais durante a abertura dos corpos, lavra e fechamento de mina que visam a conservação do solo e da água, como a implantação de sistema de drenagem nos acessos e área de lavra, enleiramento do topsoil perpendicular ao escoamento superficial, operação em bancadas (GOMES, CORREIA e WERNECK, 2017; GOMES e WERNECK, 2017; FREITAS, 2018) e construção de estruturas de coleta e decantação de material particulado, como trincheiras e, ou, bateria de poços associados a instalação de barreiras, na parte mais baixa dos corpos de minério, podendo permanecer ali após a lavra, até a completa reabilitação da área (FREITAS, 2018).

Entretanto, tendo apresentado a importância da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e decorrido sobre as características das microbacias localizadas na área de estudo, é possível indicar propostas de melhorias no processo minerário, como, considerar, sempre que possível:

- Evitar a exploração de minério em encostas muito íngremes e, ou, convexas, tendo em vista a exposição do solo fofo antes do recobrimento por espécies herbáceas durante a reabilitação dessas áreas, conforme evidenciado por Freitas (2018) e Spletzer (2022), podendo ocorrer carreamento de solo pelo escoamento superficial e soterramento de nascentes;

- Abrir, lavar e reabilitar um corpo (jazida) de minério por vez, quando em uma mesma microbacia ocorrerem mais de um corpo de minério, atuando em mosaico, como medida de controle e mitigação dos possíveis impactos da lavra na qualidade e quantidade de água das nascentes;

- Evitar a longa permanência do solo exposto durante a lavra da bauxita, evitando perdas excessivas da água do solo por evaporação, sobretudo nos períodos de seca e naquelas microbacias que já apresentam menores vazões, como demonstrado para a BH11, BH29, BH41 e BH61, por exemplo;

- Reconformar o terreno e reabilitar a área minerada imediatamente após a lavra do minério;

2.4. CONCLUSÕES

A metodologia proposta foi eficiente na seleção de microbacias representativas a partir de um universo de microbacias prospectadas, sendo possível eleger um pequeno grupo de quatro prioritárias ao monitoramento automatizado.

A análise morfométrica caracterizou com significativa precisão o comportamento hidrológico das microbacias selecionadas, como a susceptibilidade a ocorrência de picos de vazão.

O monitoramento da vazão e pluviometria possibilitou a validação das expectativas do comportamento das microbacias selecionadas, contribuindo significativamente com a definição das microbacias prioritárias ao monitoramento automatizado.

A melhor metodologia de monitoramento automatizado, considerando a variações observadas nas vazões mínima e máxima entre as microbacias eleitas, é o uso de calha H associada com um linígrafo e barômetro.

Dado o caráter da mineração de bauxita para a Zona da Mata de Minas Gerais ser progressiva, indica-se considerar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento de lavra, considerando evitar, sempre que possível, a exploração de minério em encostas muito íngremes e, ou, convexas; a abertura e exploração de mais de uma jazida ao mesmo tempo numa mesma microbacia, antes de reabilitar a primeira; a prolongada exposição do solo durante a lavra da bauxita, sobretudo nos períodos de seca e naquelas microbacias que apresentam menores vazões; reconformar e reabilitar a área minerada imediatamente após a lavra do minério

CONCLUSÕES GERAIS

A nossa metodologia proposta tornou possível selecionar e eleger microbacias hidrográficas sob influência de jazidas de bauxita para fins de monitoramento hídrico automatizado, chegando a um pequeno grupo de 4 microbacias prioritárias.

Existem espaço e oportunidades de publicações em periódicos internacionais de alto fator de impacto para estudos que investiguem a influência da mineração de bauxita na qualidade da água dos corpos e cursos hídricos. Sobretudo, estudos que considerem essa influência nas bacias hidrográficas de cabeceira (nascentes de água).

As principais alterações na qualidade da água causadas pela mineração de bauxita são na ocorrência de despejo de minério e estéreis no curso ou corpo de água, que causam alterações químicas e físicas, com alterações biológicas por efeito cascata. Mais estudos sobre qualidade de água em áreas de mineração de bauxita é indicado serem realizados, sobretudo considerando a criação de um índice de qualidade de água específico que considere a toxidez pela solubilização de prótons e níveis adequados de suspensão de particulados.

A análise morfométrica caracterizou com significativa precisão o comportamento hidrológico das microbacias selecionadas, como a susceptibilidade a ocorrência de picos de vazão.

O monitoramento semanal da vazão e pluviometria possibilitou a validação das expectativas do comportamento das microbacias selecionadas, contribuindo significativamente com a definição das microbacias prioritárias ao monitoramento automatizado.

A melhor metodologia de monitoramento automatizado, considerando a variações observadas nas vazões mínima e máxima entre as microbacias eleitas, é o uso de calha H associada com um linígrafo e barômetro.

Dado o caráter da mineração de bauxita para a Zona da Mata de Minas Gerais ser progressiva, indica-se considerar a bacia hidrográfica como unidade

de planejamento de lavra, considerando evitar, sempre que possível, a exploração de minério em encostas muito íngremes e, ou, convexas; a abertura e exploração de mais de uma jazida ao mesmo tempo numa mesma microbacia, antes de reabilitar a primeira; a prolongada exposição do solo durante a lavra da bauxita, sobretudo nos períodos de seca e naquelas microbacias que apresentam menores vazões; reconformar e reabilitar a área minerada imediatamente após a lavra do minério

REFERÊNCIAS

ABAL. **Alumínio Anuário Estatístico, 2018**. São Paulo, SP: Associação Brasileira do Alumínio – ABAL, 2019.

ABAL. **Bauxita no Brasil: Mineração responsável e competitividade**. São Paulo, SP: Associação Brasileira do Alumínio – ABAL, 2017.

MINERVINO, A. H. H.; MIRANDA, M.; HERRERO-LATORRE, C.; BARRÊTO JÚNIOR, R. A.; OLIVEIRA, F. L. C.; DIAS, S. R.; ORTOLANI, E. L.; LÓPEZ-ALONSO, M. Toxic and essential trace element concentrations in the freshwater shrimp *Macrobrachium amazonicum* in the Lower Amazon, Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 86, p. 103361, 1 mar. 2020. Acesso em: 6 dez. 2020.

ADAME, M. F.; ARTHINGTON, A. H.; WALTHAM, N.; HASAN, S.; SELLES, A.; RONAN, M. Managing threats and restoring wetlands within catchments of the Great Barrier Reef, Australia. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 29, n. 5, p. 829–839, 25 maio 2019. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aqc.3096>>. Acesso em: 23 jan. 2021.

AHMADNEJAD, F.; ZAMANIAN, H.; TAGHIPOUR, B.; ZARASVANDI, A.; BUCCIONE, R.; ELLAHI, S. S. Mineralogical and geochemical evolution of the Bidgol bauxite deposit, Zagros Mountain Belt, Iran: Implications for ore genesis, rare earth elements fractionation and parental affinity. **Ore Geology Reviews**, v. 86, p. 755–783, 1 jun. 2017. Acesso em: 13 dez. 2020.

ALEMU, H. M. **Assessment of soil erosion risk with RUSLE and GIS in Geffersa Watershed, West Shewa Zone Oromiya Region**. 2014. 83 f. Addis Ababa University, Addis Ababa, 2014. Disponível em: <<http://etd.aau.edu.et/handle/123456789/5824>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

ALMEIDA JÚNIOR, M. C. D. DE; CASTRO, P. A. L. DE; SANTOS, G. O. Taxa de infiltração de água no solo em diferentes usos do solo. **Journal of**

Biotechnology and Biodiversity, v. 8, n. 2, p. 115–121, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v8n2.almeida>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANGÉLICA, R. S.; KAHN, H.; PAZ, S. P. A. A proposal for bauxite quality control using the combined Rietveld - Le Bail - Internal Standard PXRD method – Part 2: Application to a gibbsitic bauxite from the Paragominas region, northern Brazil. **Minerals Engineering**, v. 122, p. 148–155, 15 jun. 2018. Acesso em: 12 dez. 2020.

ANTON, Á. D.; KLEBERCZ, O.; MAGYAR, Á.; BURKE, I. T.; JARVIS, A. P.; GRUIZ, K.; MAYES, W. M. Geochemical recovery of the Torna-Marcal river system after the Ajka red mud spill, Hungary. **Environmental Sciences: Processes and Impacts**, v. 16, n. 12, p. 2677–2685, 1 dez. 2014. Disponível em: <<https://pubs-rsc-org.ez35.periodicos.capes.gov.br/en/content/articlehtml/2014/em/c4em00452c>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

ARELLANO MONTERROSAS, J. L. L.; RUIZ MEZA, L. E. Evaluation and trends of the hydrological ecosystem services of the Zanatenco river basin, Chiapas. **Investigaciones Geograficas [online]**, v. 95, n. 95, 1 abr. 2018. Disponível em: <www.investigacionesgeograficas.unam.mx>. Acesso em: 22 jan. 2021.

ARRUDA, D. M.; SCHAEFER, C. E.; FONSECA, R. S.; SOLAR, R. R.; FERNANDES-FILHO, E. I. Vegetation cover of Brazil in the last 21 ka: New insights into the Amazonian refugia and Pleistocenic arc hypotheses. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, n. 1, p. 47–56, 1 jan. 2018. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/geb.12646>>. Acesso em: 21 dez. 2020.

ASGARI, M. A critical review on scale concept in GIS-based watershed management studies. **Spatial Information Research**, v. 29, n. 3, p. 417-425, 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s41324-020-00361-7>>. Acesso em: 16 jan. 2021. , 14 set. 2020

ASTANEH, B.; MASOUMI, S. From Paper to Practice; Indexing Systems and Ethical Standards. **Science and Engineering Ethics**, v. 24, n. 2, p. 647–654, 1 abr. 2018. Acesso em: 8 dez. 2020.

AYELE, N. A.; NAQVI, H. R.; ALEMAYEHU, D. Rainfall induced soil erosion assessment, prioritization and conservation treatment using RUSLE and SYI models in highland watershed of Ethiopia. **Geocarto International**, v. 37, n. 9, p. 2524-2540, 2022. Disponível em: <[https://www-tandfonline.ez35.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1080/10106049.2020.1822927](https://www.tandfonline.ez35.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1080/10106049.2020.1822927)>. Acesso em: 16 jan. 2021.

BARBOSA, R. A. **Estudos hidrológicos da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, MG**. 2019. 121 f. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019. Disponível em: <<https://locus.ufv.br//handle/123456789/27656>>. Acesso em: 16 dez. 2020.

BARBOSA, R. A.; SPLETOZER, A. G.; DA SILVEIRA, L. J.; LORENZON, A. S.; TONELLO, K. C.; BARBOSA, S. G.; DIAS, H. C. T. Morphometric characterization as a tool to control flood and landslide risks in a portion of the Manhuaçu River Basin, MG, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 17, n. 1, p. 1-9, 2022. Disponível em: <<http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v17i1a9082>>. Acesso em: 12 nov. 2022.

BARRERA, C.; NÚÑEZ COBO, J.; SOUVIGNET, M.; OYARZÚN, J.; OYARZÚN, R. Streamflow elasticity, in a context of climate change, in arid Andean watersheds of north-central Chile. **Hydrological Sciences Journal**, v. 65, n. 10, p. 1707–1719, 26 jul. 2020. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2020.1770764>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre - RS: Ed. Universidade/UFRGS; ABRH, 2001. p. 391–442.

BORGES, S. R. **Soil quality in areas undergoing reclamation with forage and coffee crop post bauxite mining**. 2013. 124 f. Tese (Doutorado em

Fertilidade do solo e nutrição de plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia, Química,) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. 5 out. 1988, p. 1–32. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 13 jan. 2021.

BRASIL. **Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967**. Dá nova redação ao Decreto-lei no 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). 28 fev. 1967, p. 2417. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm>. Acesso em: 13 jan. 2021.

BRASIL. **Lei no 13.575, de 26 de dezembro de 2017**. Cria a Agência Nacional de Mineração (ANM); extingue o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM); altera as Leis n o 11.046, de 27 de dezembro de 2004, e 10.826, de 22 de dezembro de 2003; e revoga a Lei no 8.876, de 2 de maio de 1994, e dispositivos do Decreto-Lei no 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). , 26 dez. 2017, p. 1. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13575.htm>. Acesso em: 13 jan. 2021.

CALIJURI, M. DO C.; BUBEL, A. P. M. **Conceituação de Microbacias. As florestas plantadas e a água - implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: RiMa, 2006. p. 45–59.

CARVALHO, A.; BOULANGÉ, B.; MELFI, A. J.; LUCAS, Y. **Brazilian Bauxites**. 1. ed. São Paulo and Paris: USP, FAPESP and ORSTOM, 1997.

CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: Discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 42, p. 140–161, 2020. Disponível em: <<https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/6953/5482>>. Acesso em: 14 dez. 2020.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo-GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **SCIENTIA PLENA**, v. 5, n. 2, p. 025401–1, 2009. Disponível em: <www.scientiaplenu.org.br>. Acesso em: 17 jan. 2021.

CAVALCANTE, D. M.; DE CASTRO, M. F.; CHAVES, M. T. L.; DA SILVA, I. R.; DE OLIVEIRA, T. S. Effects of rehabilitation strategies on soil aggregation, C and N distribution and carbon management index in coffee cultivation in mined soil. **Ecological Indicators**, v. 107, p. 105668, 1 dez. 2019. Acesso em: 20 jan. 2021.

CHEN, H.; ZHANG, X.; ABLA, M.; LÜ, D.; YAN, R.; REN, Q.; REN, Z.; YANG, Y.; ZHAO, W.; LINA, P.; LIU, B.; YANG, X. Effects of vegetation and rainfall types on surface runoff and soil erosion on steep slopes on the Loess Plateau, China. **Catena**, v. 170, p. 141–149, 1 nov. 2018. Acesso em: 20 jan. 2021.

CHENG, Y.; OGDEN, F. L.; ZHU, J. Characterization of sudden and sustained base flow jump hydrologic behaviour in the humid seasonal tropics of the Panama Canal Watershed. **Hydrological Processes**, v. 34, n. 3, p. 569–582, 30 jan. 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hyp.13604>>. Acesso em: 19 jan. 2021.

COOPER, M. G.; SCHAPEROW, J. R.; COOLEY, S. W.; ALAM, S.; SMITH, L. C.; LETTENMAIER, D. P. Climate Elasticity of Low Flows in the Maritime Western U.S. Mountains. **Water Resources Research**, v. 54, n. 8, p. 5602–5619, 1 ago. 2018. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018WR022816>>. Acesso em: 17 jan. 2021.

CORDERI-NOVOA, D.; HORI, T.; YAMIN, L. E. The Economics of Investment and Prioritization of Flood Risk Reduction Measures in a Watershed. **Risk Analysis**, v. 41, n. 8, p. 1345-1361, 2021. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/risa.13642>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

CUEVA, V. P. **An Assessment of Mine Legacies and How to Prevent Them: A Case Study from Latin America**. 1. ed. Aarhus: Springer International Publishing, 2017. Disponível em: <<https://b-ok.lat/book/2919943/582cc6>>. Acesso em: 22 jan. 2021.

DANYER, D.; TRANFIELD, D. Producing a systematic review. In: BUCHANAN, D. A.; BRYMAN, A. (Org.). **The Sage handbook of organizational research methods**. [S.l.]: Sage Publications Ltd., 2009. p. 671–689.

DOMINGUEZ-HAYDAR, Y.; VELASQUEZ, E.; CARMONA, J.; LAVELLE, P.; CHAVEZ, L. F.; JIMÉNEZ, J. J. Evaluation of reclamation success in an open-pit coal mine using integrated soil physical, chemical and biological quality indicators. **Ecological Indicators**, v. 103, p. 182–193, 1 ago. 2019. Acesso em: 22 jan. 2021.

DOURTE, D. R.; FRAISSE, C. W.; BARTELS, W. L. Exploring changes in rainfall intensity and seasonal variability in the Southeastern U.S.: Stakeholder engagement, observations, and adaptation. **Climate Risk Management**, v. 7, p. 11–19, 1 jan. 2015. Acesso em: 16 jan. 2021.

DUAN, L.; MAN, X.; KURYLYK, B. L.; CAI, T.; LI, Q. Distinguishing streamflow trends caused by changes in climate, forest cover, and permafrost in a large watershed in northeastern China. *Hydrological Processes*, v. 31, n. 10, p. 1938–1951, 15 maio 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/hyp.11160>>. Acesso em: 19 jan. 2021.

DUNCAN, C.; GOOD, M. K.; SLUITER, I.; COOK, S.; SCHULTZ, N. L. Soil reconstruction after mining fails to restore soil function in an Australian arid woodland. **Restoration Ecology**, v. 28, n. S1, p. A35–A43, 9 jun. 2020b. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/rec.13166>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

PUTRA, R. D.; APRIADI, T.; SURYANTI, A.; IRAWAN, H.; RAJA'I, T. S.; YULIANTO, T.; ATMADJA, W. K.; KOENAWAN, C. J. Preliminary study of heavy metal (Zn, Pb, Cr, As, Cu, Cd) contaminations on different soil level from post-mining bauxite production for aquaculture. In: **E3S Web of Conferences**. EDP

Sciences, 2018. p. 02008. Disponível em: <<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

EGGER, MATTHIAS; DICKERSIN, K.; SMITH, G. D. Problems and limitations in conducting systematic reviews. In: EGGER, M.; SMITH, G. D.; ALTMAN, D. G. (Org.). **Systematic Reviews in Health Care: Meta-Analysis in Context**. [S.l.]: BMJ Books, 2007. p. 43–68.

ELSHALL, A. S.; ARIK, A. D.; EL-KADI, A. I.; PIERCE, S.; YE, M.; BURNETT, K. M.; WADA, C. A. BREMER, L. L.; CHUN, G **Groundwater sustainability: A review of the interactions between science and policy**. **Environmental Research Letters**. [S.l.]: IOP Publishing Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8e8c>>. Acesso em: 7 dez. 2020. 1 set. 2020

EMBRAPA. **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos** (SNLCS. Séria Miscelânea, 1). Rio de Janeiro: SNLCS, 1979. Acesso em: 17 jan. 2021.

ENRICH-PRAST, A.; DE ESTEVES, F. A.; BIESBOER, D. D.; BOZELLI, R. L.; FARJALLA, V. F. The influence of bauxite tailings on the growth and development of *Oryza glumaepatula* in an Amazonian lake. **Hydrobiologia**, v. 563, n. 1, p. 87–97, 3 jun. 2006. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez35.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10750-005-1273-3>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

FANG, L.; XINJU, L.; LE, H.; ANRAN, S. A long-term study on the soil reconstruction process of reclaimed land by coal gangue filling. **Catena**, v. 195, p. 104874, 1 dez. 2020. Acesso em: 20 jan. 2021.

FERREIRA, M. I. D. S.; OLIVEIRA, J. E. D. C.; MORAES, T. D. A. Método mais eficiente no decapeamento de bauxita. **17º Prêmio de Excelência da Indústria Minerometalúrgica Brasileira**, v. XXXIX, n. 369, p. 45–46, abr. 2015. Disponível em: <<https://revistamineros.com.br/decapeamento-de-bauxita/>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

FIGUEIREDO, R. O.; MARTINS SIMIOLI, M.; DE VARELA UTSUNI CAMARGO JESUS, T.; PORTA NOVA DA CRUZ, P.; BAYMA, G.; FURLAN

NOGUEIRA, S.; GREEN, T. R.; BARBOSA DE CAMARGO, P. Hydrobiogeochemistry of Two Catchments in Brazil Under Forest Recovery in an Environmental Services Payment Program. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 1, 1 jan. 2021. Acesso em: 13 jan. 2021.

FORTUCE, R. C. R. L.; ALMEIDA, A. V.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional: decapamento**. Miraí, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1.0, 4 p., 2017a.

FORTUCE, R. C. R. L.; ALMEIDA, A. V.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional: escarificação de área reconformada**. Miraí, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1.0, 4 p., 2017b.

FORTUCE, R. C. R. L.; OLIVEIRA, R.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional: espalhamento de topsoil**. Miraí, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1.0, 4 p., 2017c.

FREITAS, J. P. O. DE. **Processos hidrológicos em área de mineração de bauxita na Zona da Mata de Minas Gerais**. 2018. 69 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018. Disponível em: <<https://locus.ufv.br//handle/123456789/20666>>. Acesso em: 6 dez. 2020.

GOMES, M. A.; LANI, J. L.; COSTA, L. M. D.; PONTES, L. M.; FIGUEREDO, N. A. D.; BARDALES, N. G. Solos, manejo e aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do Araújos, Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v. 36, p. 93-102, 2012.

GOMES, M. G.; CORREIA, J. C.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional: exploração**. Miraí, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1.1, 4 p., 2017.

GOMES, M. G.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional: abertura de acessos**. Miraí, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1.1, 4 p., 2017.

GOMI, T.; SIDLE, R. C.; MIYATA, S.; KOSUGI, K. I.; ONDA, Y. Dynamic runoff connectivity of overland flow on steep forested hillslopes: Scale effects and runoff transfer. **Water Resources Research**, v. 44, n. 8, 1 ago. 2008. Disponível

em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2007WR005894>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

GORSKA, A.; KORZYNSKI, P.; MAZUREK, G.; PUCCIARELLI, F. The Role of Social Media in Scholarly Collaboration: An Enabler of International Research Team's Activation? **Journal of Global Information Technology Management**, v. 23, n. 4, p. 273–291, 1 out. 2020. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1097198X.2020.1817684>>. Acesso em: 9 dez. 2020.

GOURLEY, C. J. P.; WEAVER, D. M. Nutrient surpluses in Australian grazing systems: management practices, policy approaches, and difficult choices to improve water quality. **Crop and Pasture Science**, v. 63, n. 9, p. 805, 14 jan. 2012. Disponível em: <<http://www.publish.csiro.au/?paper=CP12154>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

GRAVELIUS, H. Flusskunde. Goschen Verlagshan dlung Berlin. In: ZAVOIANU, I. (Org.). **Morphometry of drainage basins**. Amsterdam: Elsevier, 1ed., 1914.

GRAY, D. M. Interrelationships of watershed characteristics. **Journal of Geophysical Research**, v. 66, n. 4, p. 1215–1223, 1 abr. 1961. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/JZ066i004p01215>>. Acesso em: 13 jan. 2021.

GUENTHER, M.; BOZELLI, R. Effects of inorganic turbidity on the phytoplankton of an Amazonian Lake impacted by bauxite tailings. **Hydrobiologia**, v. 511, n. 1, p. 151–159, 1 jan. 2004a. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez35.periodicos.capes.gov.br/article/10.1023/B:HYDR.0000014095.47409.39>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

GUENTHER, M.; BOZELLI, R. Factors influencing algae-clay aggregation. **Hydrobiologia**, v. 523, n. 1–3, p. 217–223, jul. 2004b. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez35.periodicos.capes.gov.br/article/10.1023/B:HYDR.0000033127.05034.32>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

HADDAD, A. Z.; PILGRIM, C. D.; SAWVEL, A. M.; HOHMAN, J. N.; GADGIL, A. J. On the Conversion of Bauxite Ores to Highly-Activated Alumina Media for Water Remediation. **Advanced Sustainable Systems**, v. 3, n. 7, p. 1900005, 2019. Acesso em: 19 nov. 2020.

HAN, D.; DENG, J.; GU, C.; MU, X.; GAO, P.; GAO, J. Effect of shrub-grass vegetation coverage and slope gradient on runoff and sediment yield under simulated rainfall. **International Journal of Sediment Research**, v. 36, n. 1, p. 29–37, 1 fev. 2021. Acesso em: 20 jan. 2021.

HOEPPE, P. Trends in weather related disasters - Consequences for insurers and society. **Weather and Climate Extremes**, v. 11, p. 70–79, 1 mar. 2016. Acesso em: 16 jan. 2021.

HORTON, R. E. The measurement of rainfall and snow. **Monthly Weather Review**, v. 47, n. 5, p. 294-296, 1919. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/47/5/1520-0493_1919_47_294_tmoras_2_0_co_2.xml>. Acesso em: 24 nov. 2022.

HORTON, R. E. Drainage-basin characteristics. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 13, n. 1, p. 350–361, 1 jun. 1932. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/TR013i001p00350>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 56, n. 3, p. 275–370, 1 mar. 1945. Disponível em: <<http://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-pdf/56/3/275/3431249/i0016-7606-56-3-275.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2021.

HOULE, D.; KHADRA, M.; MARTY, C.; COUTURE, S. Influence of hydro-morphologic variables of forested catchments on the increase in DOC concentration in 36 temperate lakes of eastern Canada. **Science of the Total Environment**, v. 747, p. 141539, 10 dez. 2020. Acesso em: 28 dez. 2020.

HUDSON, N. W. **Field measurement of soil erosion and runoff**. Food & Agriculture Org., vol. 68, 1993.

HYSLOP, E. J.; NESBETH, D. A. The effects of bauxite/alumina waste on the composition of the macroinvertebrate community of the Rio Cobre, a major river in Jamaica. **Biota Neotrop**, v. 12, n. 2, p. 33–39, 2012. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v12n2/en/abstract?article+bn00512022012>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

IQHLIMA NAJWA, I. N.; HARYATI, A.; RAMADHANSYAH, P. J.; IDRIS, A. M. A comparative study of Kuantan bauxite mineralogy as potential material in civil engineering. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 244, p. 012002, 2019. Acesso em: 12 dez. 2020.

JARVIS, A. P.; DAVIS, J. E.; ORME, P. H.; POTTER, H. A.; GANDY, C. J. Predicting the Benefits of Mine Water Treatment under Varying Hydrological Conditions using a Synoptic Mass Balance Approach. **Environmental Science and Technology**, v. 53, n. 2, p. 702–709, 15 jan. 2019. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/sharingguidelines>>. Acesso em: 23 jan. 2021.

KADER, M. A.; SENGE, M.; MOJID, M. A.; ITO, K. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. **Soil and Tillage Research**, v. 168, p. 155-166, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198717300016>>. Acesso em: 22 jan. 2021.

KETEMA, A.; DWARAKISH, G. S. Prioritization of sub-watersheds for conservation measures based on soil loss rate in Tikur Wuha watershed, Ethiopia. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 13, n. 19, p. 1–16, 1 out. 2020. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez35.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s12517-020-06054-7>>. Acesso em: 22 jan. 2021.

KIAESHKEVARIAN, M.; CALAGARI, A. A.; ABEDINI, A.; SHAMANIAN, G. Geochemical and mineralogical features of karst bauxite deposits from the Alborz zone (Northern Iran): Implications for conditions of formation, behavior of trace and rare earth elements and parental affinity. **Ore Geology Reviews**, v. 125, p. 103691, 1 out. 2020. Acesso em: 13 dez. 2020.

KOCH, J. M.; HOBBS, R. J. Synthesis: Is Alcoa Successfully Restoring a Jarrah Forest Ecosystem after Bauxite Mining in Western Australia? **Restoration Ecology**, v. 15, n. SUPPL. 4, p. S137–S144, 12 dez. 2007. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1526-100X.2007.00301.x>>. Acesso em: 22 jan. 2021.

KOMISKEY, M.J.; STUNTEBECK, T.D.; COX, A.L.; FRAME, D.R. **Implications of flume slope on discharge estimates from 0.762-meter H flumes used in edge-of-field monitoring**. US Department of the Interior, US Geological Survey, 2013.

KOUSKY, C. Informing climate adaptation: A review of the economic costs of natural disasters. **Energy Economics**, v. 46, p. 576–592, 1 nov. 2014. Acesso em: 16 jan. 2021.

KRISHNANKUTTY, N.; IDRIS, M.; HAMZAH, F. M.; MANAN, Y. The chemical form and spatial variation of metals from sediment of Jemberau mining region of Tasik Chini, Malaysia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 24, p. 25046–25056, 1 ago. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11356-019-05680-3>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

KUMAR PRADHAN, R.; SRIVASTAVA, P. K.; MAURYA, S.; KUMAR SINGH, S.; PATEL, D. P. Integrated framework for soil and water conservation in Kosi River Basin. **Geocarto International**, v. 35, n. 4, p. 391–410, 11 mar. 2020. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106049.2018.1520921>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

KUMARI, R.; ESLAMIAN, S. Water Harvesting in Forests: An Important Step in Water-Food-Energy Nexus. In: ESLAMIAN, S.; ESLAMIAN, F. A. (Org.). **Handbook of Water Harvesting and Conservation**. 1. ed. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2021. p. 337–354. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119478911.ch22>>. Acesso em: 23 jan. 2021.

KUSIN, F. M.; AZANI, N. N. M.; HASAN, S. N. M. S.; SULONG, N. A. Distribution of heavy metals and metalloid in surface sediments of heavily-mined

area for bauxite ore in Pengerang, Malaysia and associated risk assessment. **Catena**, v. 165, p. 454–464, 1 jun. 2018. Acesso em: 6 dez. 2020.

KUSIN, F. M.; MUHAMMAD, S. N.; ZAHAR, M. S. M.; MADZIN, Z. Integrated River Basin Management: incorporating the use of abandoned mining pool and implication on water quality status. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 60, p. 29126–29136, 25 dez. 2016. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19443994.2016.1168132>>. Acesso em: 12 dez. 2020.

KUSIN, F. M.; SULONG, N. A.; AFFANDI, F. N. A.; MOLAHID, V. L. M.; JUSOP, S. Prospect of abandoned metal mining sites from a hydrogeochemical perspective. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1–18, 4 set. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11356-020-10626-1>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

KUSIN, F. M., RAHMAN, M. S. A., MADZIN, Z., JUSOP, S., MOHAMAT-YUSUFF, F., & ARIFFIN, M. The occurrence and potential ecological risk assessment of bauxite mine-impacted water and sediments in Kuantan, Pahang, Malaysia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 2, p. 1306–1321, 1 jan. 2017. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez35.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11356-016-7814-7>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

KUTER, N. Reclamation of Degraded Landscapes due to Opencast Mining. In: ÖZYAVUZ, M. (Org.). **Advances in Landscape Architecture**. London: InTech, 2013. p. 823–858. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5772/55796>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

LANNA, A. E. Regularização de vazões em reservatórios. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre - RS: Ed. Universidade/UFRGS; ABRH, 2001. p. 703–726.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do Córrego Ipaneminha de baixo, Sorocaba/SP. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 439-446, 2017.

LEBLANC, M.; TWEED, S.; LYON, B. J.; BAILEY, J.; FRANKLIN, C. E.; HARRINGTON, G.; SUCKOW, A. On the hydrology of the bauxite oases, Cape York Peninsula, Australia. **Journal of Hydrology**, v. 528, p. 668–682, 1 set. 2015. Acesso em: 19 nov. 2020.

LI, C.; SUN, G.; COHEN, E.; ZHANG, Y.; XIAO, J.; MCNULTY, S. G.; MEENTEMEYER, R. K. Modeling the impacts of urbanization on watershed-scale gross primary productivity and tradeoffs with water yield across the conterminous United States. **Journal of Hydrology**, v. 583, p. 124581, 1 abr. 2020. Acesso em: 13 jan. 2021.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba/SP: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, 2008, 245 p.

LOPES, L. M.; CARVALHO, A. Gênese da bauxita de Mirai, MG. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 19, n. 4, p. 462–469, 1990. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/10354/9739>>. Acesso em: 21 dez. 2020.

LU, J.; LU, H.; LEI, K.; WANG, W.; GUAN, Y. Trace metal element pollution of soil and water resources caused by small-scale metallic ore mining activities: a case study from a sphalerite mine in North China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 24, p. 24630–24644, 1 ago. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11356-019-05703-z>>. Acesso em: 6 dez. 2020.

LUMB, A.; SHARMA, T. C.; BIBEULT, J. F.; KLAUNN, P. A Comparative Study of USA and Canadian Water Quality Index Models. **Water Quality, Exposure and Health**, v. 3, n. 3–4, p. 203–216, 10 dez. 2011. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12403-011-0056-5>>. Acesso em: 12 dez. 2020.

MADZIN, Z.; KUSIN, F. M.; YUSOF, F. M.; MUHAMMAD, S. N. Assessment of Water Quality Index and Heavy Metal Contamination in Active and Abandoned Iron Ore Mining Sites in Pahang, Malaysia. **MATEC Web of**

Conferences, v. 103, n. ISCEE 2016, p. 05010-undefined, 5 abr. 2017. Acesso em: 12 dez. 2020.

MAHDAVI, S. M.; NEYSHABOURI, M. R.; FUJIMAKI, H.; HERIS, A. M. Coupled heat and moisture transfer and evaporation in mulched soils. **Catena**, v. 151, p. 34–48, 1 abr. 2017. Acesso em: 18 jan. 2021.

MALI, S. C.; THABAJ, K. A.; PURANDARA, B. K. Evaluation of Geochemical Characteristics of Groundwater in Parts of Ghataprabha Sub-basin Using DRASTIC Indices. **Journal of the Geological Society of India**, v. 95, n. 5, p. 513–519, 1 maio 2020. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez35.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s12594-020-1470-8>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

MANNOCCI, A.; LA TORRE, G.; SPAGNOLI, A.; SOLIMINI, A. G.; PALAZZO, C.; DE GIUSTI, M. Is swimming in recreational water associated with the occurrence of respiratory illness? A systematic review and meta-analysis. **Journal of Water and Health**, v. 14, n. 4, p. 590–599, 1 ago. 2016. Disponível em: <<http://iwaponline.com/jwh/article-pdf/14/4/590/394296/jwh0140590.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2020.

PARRON, L. M.; FIDALGO, E. C. C.; LUZ, A. P.; CAMPANHA, M. M.; TURETTA, A. P. D.; PEDREIRA, B. C. C. G.; PRADO, R. B. Research on ecosystem services in Brazil: a systematic review. **An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 14, n. 3, p. e2263- undefined, 2019. Disponível em: <www.ambi-agua.net>. Acesso em: 7 dez. 2020.

MARTURANO, E. S.; SILVA, E. G. DA. Mineração na Amazônia e impactos na nascente da micro bacias do Rio Água Boa em Juruti. **REVISTA GEONORTE**, v. 3, n. 4, p. 1093–1104, 16 nov. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2008>>. Acesso em: 22 jan. 2021.

MAYES, W. M.; PERKS, M. T.; LARGE, A. R. G.; DAVIS, J. E.; GANDY, C. J.; ORME, P. A. H.; JARVIS, A. P. Effect of an extreme flood event on solute transport and resilience of a mine water treatment system in a mineralised

catchment. **Science of the Total Environment**, v. 750, p. 141693, 1 jan. 2021. Acesso em: 23 jan. 2021.

MAYES, W. M.; PERKS, M. T.; LARGE, A. R. G.; DAVIS, J. E.; GANDY, C. J.; ORME, P. A. H.; JARVIS, A. P. Effect of an extreme flood event on solute transport and resilience of a mine water treatment system in a mineralised catchment. **Science of the Total Environment**, v. 750, p. 141693, 1 jan. 2021. Acesso em: 23 jan. 2021.

MCKENNA, P. B.; LECHNER, A. M.; PHINN, S.; ERSKINE, P. D. Remote sensing of mine site rehabilitation for ecological outcomes: A global systematic review. **Remote Sensing**, v. 12, n. 21, p. 3535, 2020. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/remotesensing>. Acesso em: 7 dez. 2020. , 1 nov. 2020

MEI, X.; ZHU, Q.; MA, L.; ZHANG, D.; LIU, H.; XUE, M. The spatial variability of soil water storage and its controlling factors during dry and wet periods on loess hillslopes. **Catena**, v. 162, p. 333–344, 1 mar. 2018. Acesso em: 16 jan. 2021.

MEMON, A. R.; WAQAS, A. Indexing by bibliographic databases of journals published in the developing world. **Science and Engineering Ethics**, v. 24, n. 4, p. 1371-1375, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11948-017-9898-y>>. Acesso em: 8 dez. 2020. , 1 ago. 2018

MERCADO-BETTÍN, D.; SALAZAR, J. F.; VILLEGAS, J. C. Long-term water balance partitioning explained by physical and ecological characteristics in world river basins. **Ecohydrology**, v. 12, n. 3, p. e2072, 1 abr. 2019. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/eco.2072>>. Acesso em: 19 jan. 2021.

MERINO-MARTIN, L.; MORENO-DE LAS HERAS, M.; PÉREZ-DOMINGO, S.; ESPIGARES, T.; NICOLAU, J. M. Hydrological heterogeneity in Mediterranean reclaimed slopes: runoff and sediment yield at the patch and slope scales along a gradient of overland flow. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 5, p. 1305–1320, 8 maio 2012. Disponível em: <<https://hess.copernicus.org/articles/16/1305/2012/>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

MILLER, V. C. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics on the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. **Technical**

report nº. 3. New York: Department of Geology, ONR, Columbia University, 1953. p. 389–402.

MINGOTI, R. **Efeitos da espacialização da cobertura florestal e da profundidade dos solos na produção de água de uma bacia hidrográfica.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MOLCHANOV, A. A. A influência da Floresta no Regime dos Rios. In: MOLCHANOV, A. A. (Org.). **Hidrologia Florestal.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971a. p. 326–339.

MOLCHANOV, A. A. Escoamento Superficial. In: MOLCHANOV, A. A. (Org.). **Hidrologia Florestal.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971b. p. 180–243.

MONDILLO, N.; HERRINGTON, R.; BONI, M. Bauxites. In: ALDERTON, D.; ELIAS, S. A. **Encyclopedia of Geology.** 2 ed. [S.l.]: Academic Press (Elsevier), 2021. Vol. 5, p. 694–707. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/referencework/9780081029091/encyclopedia-of-geology>>. Acesso em: 12 dez. 2020.

MOYLAN, E. C.; HAROLD, S.; O'NEILL, C.; KOWALCZUK, M. K. Open, single-blind, double-blind: which peer review process do you prefer?. **BMC Pharmacology and Toxicology**, v. 15, n. 1, p. 1-5, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/articles/10.1186/2050-6511-15-55>>. Acesso em: 13 dez. 2020.

MUHLBAUER, R.; KHANIJO, I.; BURNS, R. T.; MOODY, L. B.; PEPPLER, L.; PEDERSON, C. Low-Cost Method for Monitoring Flow from a Vegetative Treatment System. In: **International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture, 16-19 September 2007, Broomfield, Colorado.** American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007. Cap. 88, 8p., publications number 701P0907cd.

MUNENE, A.; HALL, D. C. Factors influencing perceptions of private water quality in North America: a systematic review. **Systematic reviews**, v. 8, n. 1, p. 1-15, 2019. Disponível em: <[/pmc/articles/PMC6511211/?report=abstract](https://pmc/articles/PMC6511211/?report=abstract)>. Acesso em: 13 dez. 2020.

MUTLU, E.; UNCUMUSAOĞLU, A. A. Physicochemical Analysis of Water Quality of Brook Kuruçay. **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, v. 4, n. 11, p. 991–998, 16 nov. 2016. Disponível em: <www.agrifoodscience.com,>. Acesso em: 12 dez. 2020.

MUZAHAR; HAKIM, A. A. Spawning and development of dog conch *Strombus* sp. larvae in the laboratory. **Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis**, v. 10, n. 1, p. 209–216, 2018. Disponível em: <<http://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnalikt>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

NEVES, R. G. S. S.; TONELLO, K. C.; BRAMORSKI, J. Análise da produção bibliográfica sobre hidrologia florestal no bioma amazônico. **Rev. Sítio Novo**, v. 4, n. 4, p. 133–140, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/344445956_Analysis_of_bibliographic_production_about_hydrology_forest_in_the_Amazon_biome>. Acesso em: 7 dez. 2020.

NGUYEN, M. H.; VAN, H. T.; THANG, P. Q.; HOANG, T. H. N.; DAO, D. C.; NGUYEN, C. L.; NGUYEN, L. H. Level and Potential Risk Assessment of Soil Contamination by Trace Metal from Mining Activities. **Soil and Sediment Contamination: An International Journal**, v. 30, n. 1, p. 92-106, 2021. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15320383.2020.1811203>>. Acesso em: 6 dez. 2020.

NISHIGAKI, T.; SUGIHARA, S.; KILASARA, M.; FUNAKAWA, S. Surface Runoff Generation and Soil Loss Under Different Soil and Rainfall Properties in The Uluguru Mountains, Tanzania. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 1, p. 283–293, 2017. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.2499>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

O'BRIEN, P. L.; ACHARYA, U.; ALGHAMDI, R.; NIAGHI, A. R.; SANYAL, D.; WIRTZ, J.; DAIGH, A. L. M.; DESUTTER, T. M. Hydromulch Application to Bare Soil: Soil Temperature Dynamics and Evaporative Fluxes. **Agricultural & Environmental Letters**, v. 3, n. 1, p. 180014, 1 jan. 2018. Disponível em:

<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/ael2018.03.0014>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

OBASI, P. N.; AKUDINOBI, B. B. Potential health risk and levels of heavy metals in water resources of lead–zinc mining communities of Abakaliki, southeast Nigeria. **Applied Water Science**, v. 10, n. 7, p. 1–23, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13201-020-01233-z>>. Acesso em: 6 dez. 2020.

OGDEN, F. L. Evidence of equilibrium peak runoff rates in steep tropical terrain on the island of Dominica during Tropical Storm Erika, August 27, 2015. **Journal of Hydrology**, v. 542, p. 35–46, 2016. Acesso em: 16 jan. 2021.

OHMORI, H. Changes in the hypsometric curve through mountain building resulting from concurrent tectonics and denudation. **Geomorphology**, v. 8, p. 263–277, 1993. Acesso em: 20 jan. 2021.

PARBHAKAR-FOX, A.; LOTTERMOSER, B. Prediction of Sulfidic Waste Characteristics. *In*: LOTTERMOSER, B. (Org.). **Environmental Indicators in Metal Mining**. Aachen: Springer International Publishing, 2017. p. 35–54. Disponível em: <[https://pdf.zlibcdn.com/dtoken/1026aad738e3c0b1fcf91d465ad9e225/Environmental_Indicators_in_Metal_Mining_by_Bernd__2837706_\(z-lib.org\).pdf](https://pdf.zlibcdn.com/dtoken/1026aad738e3c0b1fcf91d465ad9e225/Environmental_Indicators_in_Metal_Mining_by_Bernd__2837706_(z-lib.org).pdf)>. Acesso em: 22 jan. 2021.

PARK, H.; NOH, K.; MIN, J. J.; RUPAR, C. Effects of toxic metal contamination in the tri-state mining district on the ecological community and human health: A systematic review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 18, p. 1–34, 2 set. 2020. Acesso em: 7 dez. 2020.

PATINO, C. M.; FERREIRA, J. C. Qual a importância do cálculo do tamanho amostral? **J Bras Pneumol.**, v. 42, n. 2, p. 162–162, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-37562016000000114>>. Acesso em: 13 jan. 2021.

PENG, S.; LI, S. Scale relationship between landscape pattern and water quality in different pollution source areas: A case study of the Fuxian Lake

watershed, China. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 107136, 1 fev. 2021. Acesso em: 22 jan. 2021.

PESSÔA, V. L. S.; RAMIRES, J. C. DE L. Amostragem em pesquisa qualitativa: subsídios para a pesquisa geográfica. *In*: MARAFON, G. J.; RAMIRES, J. C. D. L.; RIBEIRO, M. A.; PESSÔA, V. L. S. **Pesquisa qualitativa em geografia: reflexões teórico-conceituais e aplicadas**. 1. ed. Rio de Janeiro - RJ: EdUERJ, 2013. v. 1. p. 117–134.

PHAN, K.; PHAN, S.; SE, S.; SIENG, H.; HUOY, L.; KIM, K. W. Assessment of water quality and trace metal contaminations in Mondolkiri province in the Northeastern part of Cambodia. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 41, n. 1, p. 401–409, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10653-018-0178-9>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

PINHEIRO, J. A. C.; DIAS, H. C. T.; PAIVA, H. N.; SILVA, C. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; OLIVEIRA NETO, S. N. D.; BARBOSA, R. A. Processos hidrológicos na bacia hidrográfica do Córrego Zerede em Timóteo-MG. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1658-1671, 2019.

PIRES, A. P. F.; REZENDE, C. L.; ASSAD, E. D.; LOYOLA, R.; SCARANO, F. R. Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, n. 3, p. 187–193, 1 jul. 2017. Acesso em: 22 jan. 2021.

PRIETO-AMPARÁN, J. A.; PINEDO-ALVAREZ, A.; VÁZQUEZ-QUINTERO, G.; VALLES-ARAGÓN, M. C.; RASCÓN-RAMOS, A. E.; MARTINEZ-SALVADOR, M.; VILLARREAL-GUERRERO, F. A Multivariate Geomorphometric Approach to Prioritize Erosion-Prone Watersheds. **Sustainability**, v. 11, n. 18, p. 5140, 19 set. 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/18/5140>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

RADHAKRISHNAN, S.; ERBIS, S.; ISAACS, J. A.; KAMARTHI, S. Novel keyword co-occurrence network-based methods to foster systematic reviews of scientific literature. **PLOS ONE**, v. 12, n. 3, p. e0172778, 22 mar. 2017. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0172778>>. Acesso em: 7 dez. 2020.

RAWAT, K. S.; TRIPATHI, V. K.; MISHRA, A. K. Sediment Yield Index mapping and prioritization of Madia subwatershed, Sagar District of Madhya Pradesh (India). **Arabian Journal of Geosciences**, v. 7, n. 8, p. 3131–3145, 30 jun. 2014. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

ROMANOVSKI, Z. **Morfologia e aspectos hidrológicos da microbacia Rua Nova, Viçosa-MG, para fins de manejo**. 2001. 99 f. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2001. Disponível em: <<https://locus.ufv.br/handle/123456789/11498>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

ROSENBLOOM, J. L.; GINTHER, D. K.; JUHL, T.; HEPPERT, J. A. The effects of research & development funding on scientific productivity: Academic chemistry, 1990-2009. **PLOS ONE**, v. 10, n. 9, p. e0138176, 15 set. 2015. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0138176>>. Acesso em: 8 dez. 2020.

SANTANA, C. S.; OLIVARES, D. M. M.; SILVA, V. H.; LUZARDO, F. H.; VELASCO, F. G.; DE JESUS, R. M. Assessment of water resources pollution associated with mining activity in a semi-arid region. **Journal of Environmental Management**, v. 273, p. 111148, 1 nov. 2020. Acesso em: 2 dez. 2020.

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; DOS ANJOS; L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília-DF: Embrapa Solos, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 67, n. 5, p. 597–646, 1 maio 1956. Acesso em: 15 jan. 2021.

SILVEIRA, A. L.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. Infiltração e Armazenamento no Solo. *In*: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre - RS: Ed. Universidade/UFRGS; ABRH, 2001. p. 336–372.

SILVEIRA, L. J.; SPLETOZER, A. G.; BARBOSA, R. A.; BARBOSA, S. G.; DIAS, H. C. T. Seleção de microbacias para fins de monitoramento

hidrológico: estudo de caso em áreas de mineração de bauxita. In: OLIVEIRA, R. J. **Engenharia Florestal Desafios, Limites e Potencialidade**. 1. ed. [S.l.]: Editora Científica, 2020. v. 1. p. 793–807. Disponível em: <<https://downloads.editoracientifica.org/articles/200901232.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

SILVEIRA, L. J. DA. **Escoamento superficial em áreas de mineração de bauxita, pré e pós lavra, na Zona da Mata Mineira**. 2017. 77 f. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2017. Disponível em: <<https://locus.ufv.br//handle/123456789/15186>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

SPLETOZER, A. G. **Avaliação do escoamento superficial em áreas de mineração de bauxita na Zona da Mata de Minas Gerais, Brasil**. 2018. 82 f. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2018. Disponível em: <<https://locus.ufv.br//handle/123456789/24205>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

SPLETOZER, A. G. **Monitoramento e predição do escoamento superficial em minas a céu aberto com foco na extração de bauxita**. 2022. 108 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2022. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/29745>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SPLETOZER, A. G.; DA SILVEIRA, L. J.; SATO, A. Y.; LORENZON, A. S.; ZANUNCIO, J. C.; DIAS, H. C. T. Surface runoff from an area undergoing soil rehabilitation after bauxite mining in southeastern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 9, p. 2715-2725, 2021.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, V. T. **Handbook of Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1964. p. 4–40. Acesso em: 21 jan. 2021.

STRAHLER, ARTHUR N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 63, n. 11, p. 1117–1142, 1 nov. 1952. Acesso em: 17 jan. 2021.

STRAHLER, ARTHUR N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1 dez. 1957. Disponível em:

<<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/TR038i006p00913>>.

Acesso em: 15 jan. 2021.

SUHARYANTO, A.; SUHARTANTO, E.; LESMANA, S. B. Watershed morphometric classification analysis using Geographic Information System. **International Journal of GEOMATE**, v. 19, n. 74, p. 114–122, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.21660/2020.74.58650>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SUN, C.; CHEN, J.; TIAN, K.; PENG, D.; LIAO, X.; WU, X. Geochemical characteristics and toxic elements in alumina refining wastes and leachates from management facilities. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 7, 1 abr. 2019. Acesso em: 6 dez. 2020.

SUTRADHAR, H. Assessment of drainage morphometry and watersheds prioritization of Siddheswari River Basin, eastern India. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 48, n. 4, p. 627-644, 2020.

SUTTON, O. F.; PRICE, J. S. Modelling the hydrologic effects of vegetation growth on the long-term trajectory of a reclamation watershed. **Science of the Total Environment**, v. 734, p. 139323, 10 set. 2020. Acesso em: 22 jan. 2021.

TOMKINS, A.; ZHANG, M.; HEAVLIN, W. D. Reviewer bias in single-versus double-blind peer review. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 114, n. 48, p. 12708–12713, 28 nov. 2017. Disponível em: <www.pnas.org/lookup/suppl/doi:10.1073/pnas.1707323114/-/DCSupplemental.www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1707323114>. Acesso em: 13 dez. 2020.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG**. 2005. 1–69 f. Viçosa-MG, 2005. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9559>>. Acesso em: 23 dez. 2020.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; DE SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; FIRME, D. J.; LEITE, F. P. Diagnóstico hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, município de Guanhões, MG, Brasil. **Ambiente &**

Água, v. 4, n. 1, p. 156–168, 2009. Disponível em: <www.agro.unitau.br/ambigua>. Acesso em: 12 jan. 2021.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. D.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **R. Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849–857, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500019>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

TREMBLAY, C. C.; BOTREL, M.; LAPIERRE, J. F.; FRANSSSEN, J.; MARANGER, R. Relative influence of watershed and geomorphic features on nutrient and carbon fluxes in a pristine and moderately urbanized stream. **Science of the Total Environment**, v. 715, p. 136411, 1 maio 2020. Acesso em: 13 jan. 2021.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. *In*: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre - RS: Ed. Universidade/UFRGS; ABRH, 2001. p. 391–442.

VALETON, I.; MELFIO, A. J. Distribution pattern of bauxites in Cataguases area (SE-Brazil), in relation to Lower Tertiary paleogeography and younger tectonics. **Sciences Géologiques. Bulletin**, v. 41, n. 1, p. 85–98, 1988.

VENDRUSCOLO, J.; SCHMIDT, W. C. C. Seleção de limiares da ferramenta TauDEM para caracterização de drenagens em microbacias, Rondônia, Brasil. **Revista Geográfica Venezuelana**, v. Especial, n. 1, p. 244–255, 2019. Disponível em: <<http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/46163/nota1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

VILHENA, M. P. S. P.; COSTA, M. L.; BERRÊDO, J. F.; PAIVA, R. S.; SOUZA, C. C. Chemical elements in pearl oysters (*Paxyodon ponderosus*), phytoplankton and estuarine sediments from eastern Amazon (Northern Brazil): Bioaccumulation factors and trophic transfer factors. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 67, p. 1–10, 2016. Acesso em: 19 nov. 2020.

WANG, P.; SUN, Z.; HU, Y.; CHENG, H. Leaching of heavy metals from abandoned mine tailings brought by precipitation and the associated

environmental impact. **Science of the Total Environment**, v. 695, p. 133893, 2019. Acesso em: 6 dez. 2020.

WOLKERSDORFER, C. **Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines: Fundamentals, Tracer Tests, Modelling, Water Treatment**. 1. ed. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. v. 1. Acesso em: 12 dez. 2020.

WONDZELL, S. M.; DIABAT, M.; HAGGERTY, R. What Matters Most: Are Future Stream Temperatures More Sensitive to Changing Air Temperatures, Discharge, or Riparian Vegetation? **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 55, n. 1, p. 116–132, 1 fev. 2019. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/1752-1688.12707>>. Acesso em: 19 jan. 2021.

YAAKUB, N.; RAOFF, M. N. A.; HARIS, M. N.; HALIM, A. A. A.; KAMARUDIN, M. K. A. Water quality assessment of the rivers in bauxite mining area at Kuantan Pahang. **Journal of Fundamental and Applied Sciences**, v. 9, n. 2S, p. 761, 17 jan. 2018. Acesso em: 19 nov. 2020.

YOUNGER, P. L.; BANWART, S. A.; HEDIN, R. S. **Mine Water**. 1. ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2002. v. 5. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-94-010-0610-1>>. Acesso em: 23 jan. 2021. (Environmental Pollution)

PARK, Y. S.; KWON, Y. S.; HWANG, S. J.; PARK, S. Characterizing effects of landscape and morphometric factors on water quality of reservoirs using a self-organizing map. **Environmental Modelling and Software**, v. 55, p. 214–221, 1 maio 2014. Acesso em: 17 jan. 2021.

YU, D.; DONG, X.; XIE, P.; WEI, C.; LIU, J.; HU, X.; WANG, K.; XU, S.; WAN, H.; SU, Z. Prioritization of critical source areas for soil and water conservation by using a one-at-a-time removal approach in the upper Huaihe River basin. **Land Degradation & Development**, p. Idr.3814, 20 nov. 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ldr.3814>>. Acesso em: 23 jan. 2021.

ZHANG, M.; WANG, J.; ZHOU, R. Sustainable effect of coal mining on hydrological drought risk: a case study on Kuye river basin, China. **Natural**

Hazards, v. 103, n. 3, p. 2929–2943, 1 set. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11069-020-04110-9>>. Acesso em: 22 jan. 2021.

ZHANG, X.; SONG, J.; WANG, Y.; DENG, W.; LIU, Y. Effects of land use on slope runoff and soil loss in the Loess Plateau of China: A meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 755, p. 142418, 10 fev. 2021. Acesso em: 20 jan. 2021.

ZHANG, Y.; WEI, Y.; LIAO, Z.; XU, X.; HAN, Z.; LIANG, W.; LONG, Y.; GUO, J. Determination of soil-groundwater systems recharge mechanism in the middle Inner Mongolia Plateau by isotopic tracers. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 20, p. 473, 1 out. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12665-020-09226-6>>. Acesso em: 17 jan. 2021.