



**PAULO ERNANI MARTINS FERREIRA**

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM  
CORPOS D'ÁGUA VISANDO CORRELAÇÃO COM  
ATIVIDADE DE MINERAÇÃO**

**LAVRAS - MG  
2023**

**PAULO ERNANI MARTINS FERREIRA**

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM CORPOS D'ÁGUA  
VISANDO CORRELAÇÃO COM ATIVIDADE DE MINERAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Ronaldo Fia  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Ferreira, Paulo Ernani Martins.

Avaliação de parâmetros físico-químicos em corpos d'água  
visando correlação com atividade de mineração / Paulo Ernani  
Martins Ferreira. - 2022.

66 p. : il.

Orientador(a): Ronaldo Fia.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de  
Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Mineração. 2. Manganês. 3. Análise Fatorial. I. Fia, Ronaldo.  
II. Título.

**PAULO ERNANI MARTINS FERREIRA**

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM CORPOS D'ÁGUA  
VISANDO CORRELAÇÃO COM ATIVIDADE DE MINERAÇÃO**

**EVALUATION OF PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS IN WATER BODIES  
AIMING AT CORRELATION WITH MINING ACTIVITY**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de outubro de 2022.

Prof. Dr. Ronaldo Fia

UFLA

Prof. Dr. Fabiano Luiz Naves

UFSJ

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fatima Resende Luiz Fia

UFLA

Prof. Dr. Ronaldo Fia  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2023**

*As minhas filhas Ana Clara e Antonella, pelo  
apoio, carinho e incentivo.*

*À minha esposa, Cristiane, pelo amor, dedicação  
e companheirismo.*

*À memória de minha avó Cecília.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade, iluminação, por nunca me desamparar e conduzir a minha vida.

Aos meus pais, que sempre me ensinaram a correr atrás dos meus objetivos, por todo amor, ensinamento e dedicação.

Às minhas filhas, Ana Clara e Antonella, pela espera, confiança e alegria compartilhadas.

À todos os meus familiares e amigos que sempre estiveram ao meu lado e torcendo pelo meu desenvolvimento, obrigado por acreditarem.

À Cristiane, parceira, companheira, por estar juntos nessa jornada, poder contar com o seu apoio incondicional foi fundamental, acreditando nos meus ideais e a compreensão para suportar todos os dias de ausência.

À UFLA pela oportunidade de fazer parte deste programa.

Aos professores, professoras e todos do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, agradeço pela competência, dedicação e generosidade.

Ao professor Ronaldo Fia, orientador, conselheiro, agradeço imensamente por tudo que tem feito durante o desenvolvimento desse trabalho.

Ao professor Walter Abraão, por todas as contribuições, orientações e direcionamento.

Ao professor Fabiano Naves, grande amigo, parceiro, e que vem me acompanhando desde a graduação, sem sua ajuda seria muito difícil seguir esse caminho e finalizar essa etapa.

Aos amigos e parceiros em todas as empresas por onde estive nesse período, gratidão pela amizade, incentivo e confiança.

À GeoMiners Consult e Minerais do Vale, pela construção de uma parceria sólida e sustentável, juntos somos mais fortes.

“Mude, mas comece devagar, porque a direção é mais importante que a velocidade”

(Edson Marques)

## RESUMO

Grande parte dos impactos ambientais são causados por atividades antropogênicas, que culminam em situações irreversíveis quando não controlados adequadamente, dando lugar ao aumento de entropia nos níveis tróficos. De forma geral, o aumento da entropia, perpassa pela redução da capacidade de autodepuração dos corpos receptores, ocasionada, por formas de tratamento de efluentes inadequados ou insuficientes, com potencial elevação no teor de metais e compostos orgânicos, que neste caso, são responsáveis pela redução dos níveis de oxigênio dissolvido nos corpos receptores, limitando a formação de óxidos ou oxidação parcial ou total dos compostos orgânicos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dependência dos parâmetros físico-químicos nos corpos d'água em relação a litologia local e as atividades de mineração. Neste contexto, foram utilizadas análises estatísticas de correlação e análise fatorial a partir dos métodos de componentes principais e rotação varimax dos eixos cartesianos dos parâmetros segundo as Resoluções CONAMA 396/2008, CONAMA 357/2005 alterada e complementada pela resolução CONAMA 430/2011. As amostras dos mananciais superficiais foram coletadas durante dois ciclos hidrológicos em treze cursos d'água em uma região caracterizada por corpos mineralizados com manganês, e, as amostras dos mananciais subterrâneos foram coletadas em três poços tubulares profundos durante uma variação temporal de dois anos. A região de estudo possui amplitude de quinze quilômetros linear localizados na mesorregião Campos das Vertentes, no estado de Minas Gerais, entres os municípios de São Tiago e Nazareno. Portanto, com os resultados dessas análises foram possíveis associar o teor da concentração de manganês com a litologia local, indicando assim possíveis variações entrópicas do meio caracterizado por condições naturais e pelas atividades de mineração de manganês.

**Palavras-chave:** Mineração, manganês, análise fatorial



## ABSTRACT

A large part of the environmental impacts are caused by anthropogenic activities, which culminate in irreversible situations when not properly controlled, giving rise to an increase in entropy at trophic levels. In general, the increase in entropy, pervades the reduction of the self-depuration capacity of the receptor bodies, runs through the reduction of the self-depuration capacity of the receiver bodies, caused by inadequate or insufficient forms of effluent treatment, with potential emission in the content of metals and organic compounds, which in this case, are responsible for the reduction of yeast oxygen levels in the receptor bodies, limiting the formation of oxides or partial or total emission of organic compounds. Therefore, the objective of this work was to evaluate the dependence of physical-chemical parameters in water bodies in relation to local lithology and mining activities. In this context, statistical analyzes of correlation and factorial analysis from the methods of principal components and varimax rotation of the Cartesian axes of the parameters according to CONAMA Resolution 396/2008, CONAMA Resolution 357/2005 amended and supplemented by CONAMA resolution 430/2011. Surface water samples were collected during two hydrological cycles in thirteen water courses in a region characterized by mineralized bodies with manganese, and, groundwater samples were collected in three deep tube wells over a two-year time span. The study region has an amplitude of fifteen linear kilometers, located in the Campos das Vertentes mesoregion, in the state of Minas Gerais, between the cities of São Tiago and Nazareno. Therefore, with the results of these analyzes it was possible to associate the concentration of manganese with the local lithology, thus indicating possible entropic variations of the environment characterized by natural conditions and manganese mining activities.

**Keywords:** Mining, manganese, factor analysis

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição dos pontos de amostragem de água na área de estudo. ....	26
Figura 2 – Mapa com detalhe da localização dos Poços Tubulares Profundos (PTP). ....	26
Figura 3 – Recipientes com amostras de águas superficial coletadas em 28/12/2021. ....	28
Figura 4 – Coleta de amostra d'água no ponto C_4 em 28/12/2021. ....	29
Figura 5 – Fluxograma do processo de coleta e avaliação das variáveis de qualidade de água. .....	30
Figura 6 – Comparação entre os valores médios das variáveis de qualidade de água subterrânea monitoradas nos diferentes PTP's. ....	36
Figura 7 – Apresentação de todos os parâmetros analisados para três PTP's. ....	37
Figura 8 – Apresentação de todos os parâmetros analisados no período chuvoso nos mananciais superficiais. ....	48
Figura 9 – Apresentação de todos os parâmetros analisados no período de seca nos mananciais superficiais. ....	49
Figura 10 – Variação dos níveis de ferro dissolvido nos mananciais superficiais. ....	50
Figura 11 – Variação dos níveis de manganês dissolvido nos mananciais superficiais. ....	51
Figura 12 – Variação dos níveis de ferro dissolvido nos mananciais superficiais ....	51
Figura 13 – Relação do pH e da concentração de bicarbonato para diferentes pontos de coleta de água superficiais e subterrâneas na região estudada. ....	52
Figura 14 – Relação da concentração dos íons de manganês presentes na forma aquosa com teores de bicarbonatos (dureza) para diferentes pontos de coleta de água superficiais e subterrâneas na região de mineração correlacionados ao teor de manganês total (bolha).....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de minérios e minerais.....	15
Tabela 2 – Caracterização e descrição dos pontos amostrais de águas subterrâneas e superficiais. .....	27
Tabela 3 – Resultados da análise de água subterrânea em três diferentes poços (PTP).....	31
Tabela 4 – Resultados da análise de água subterrânea em três diferentes poços próximos à área de mineração em relação a alguns nutrientes. ....	32
Tabela 5 – Resultados da análise de água subterrânea em três diferentes poços próximos à área de mineração em relação aos metais.....	33
Tabela 6 – Apresentação de todos os parâmetros da Resolução CONAMA 396/2008. ....	37
Tabela 7 – Resultados da análise de água superficiais período chuvoso (1º Grupo). ....	40
Tabela 8 – Resultados da análise de água superficiais período chuvoso (2º Grupo). ....	41
Tabela 9 – Resultados da análise de água superficiais período chuvoso (3º Grupo). ....	42
Tabela 10 – Resultados da análise de água superficiais período de seca (1º Grupo). ....	44
Tabela 11 – Resultados da análise de água superficiais período de seca (2º Grupo). ....	45
Tabela 12 – Resultados da análise de água superficiais período de seca (3º Grupo). ....	46
Tabela 13 – Matriz de peso fatorial das variáveis da qualidade de água superficial e subterrânea observadas no estudo referente aos cinco Componentes Principais selecionados (PC).....	54

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Objetivo Principal .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Objetivo Específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>3. REFERENCIAL TERÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1. Indústria da mineração .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2. Qualidade da água .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.1. Toxicologia dos metais .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3. Íons metálicos nos sistemas aquáticos .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4. Adsorção e mobilidade de metais pesados .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5. Análises de dados de Estudos em Meio Ambiente .....</b>	<b>22</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. Área de estudos.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2. Procedimento amostral.....</b>	<b>25</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>5.1. Resultados das Análises dos Poços (PTP) .....</b>	<b>31</b>
<b>5.2. Resultados das Análises dos Mananciais Superficiais .....</b>	<b>38</b>
<b>5.3. Avaliação do equilíbrio do ciclo do carbono em águas.....</b>	<b>52</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A mineração no Brasil é um dos setores básicos da economia nacional. Destacando-se a partir do século XVII, tendo influenciado diretamente o desenvolvimento do mercado e a história nacional (FERREIRA, 2020). Além de ser um segmento importante para a economia e desenvolvimento do nacional em virtude de o Brasil possuir vastas reservas e estar bem-posicionado no comércio mundial de *commodities* minerais, a mineração representou cerca 3,2% Produto Interno Bruto Industrial do país Santos (2021). Apesar da relevância, considerando que os minérios encontram-se em quase todos os bens de consumo, não se pode negar o alto potencial de impacto ambiental causado pela mineração, como a alteração da paisagem, perda de biodiversidade, poluição dos solos e contaminação dos recursos hídricos.

A água, possui papel fundamental nas atividades de mineração, pois acompanha todo o processo mineral, desde a exploração até o beneficiamento, podendo vir de diversos mananciais. Como trata-se de um recurso mineral findável, torna-se um dos recursos naturais mais importantes na atualidade, sendo sua qualidade influenciada diretamente pela civilização humana (LI *et al.*, 2022). Além disso, as mudanças climáticas podem associar diferentes características dos corpos d'água, sendo que, a associação dos fatores antropogênicos e climáticos, geram um grande *gap* para compreensão e mitigação da presença de compostos nocivos à saúde humana (BADOLA *et al.*, 2022). Mesmo que os traços de determinados elementos químicos sejam necessários para sobrevivência humana, a acumulação destes compostos na água potável pode torná-los agentes carcinogênicos de elevada periculosidade (CARVALHO *et al.*, 2021).

Um dos grandes problemas atuais é o aumento da concentração de compostos orgânicos e inorgânicos nos corpos d'água associado às ações antropogênicas (ASTUTI *et al.*, 2021). Pesquisadores realizaram avaliações e correlações de qualidade da água, com potenciais riscos à saúde, sendo a correlação positiva com perda da saúde e concentrações de metais pesados presentes na água após o tratamento (GAO *et al.*, 2016). Devido à longa persistência, alta toxicidade e potencial de bioacumulação, alguns metais como mercúrio são conhecidos como um dos poluentes mais perigosos nos ambientes aquáticos (CANPOLAT *et al.*, 2020). Estes metais podem ocorrer naturalmente nos ambientes aquáticos pelo intemperismo de rochas e erosão do solo. No entanto, fontes antrópicas como atividades de mineração, efluentes industriais, águas residuárias domésticas não tratadas e atividades agrícolas são as principais fontes destes metais (USTAOĞLU; TEPE, 2019). Os pesquisadores, portanto, começaram a se

concentrar na avaliação dos riscos à saúde humana destes metais, além de suas variações sazonais e espaciais nos ambientes aquáticos nos últimos anos (VAROL; ŞEN, 2012).

O sinergismo entre os poluentes presentes nos efluentes dispostos nos corpos d'água provenientes de ações antropogênicas, concomitante ao número e concentração de determinados elementos químicos metálicos que fazem parte do meio, corroborados pela litologia local, ainda pode oferecer grandes *gaps* para pesquisas nas áreas de conhecimento associadas. Em muitos casos há uma grande dificuldade de separar a parcela de cada uma das atividades supracitadas, a contribuição referente a concentrações de metais em corpos d'água proveniente de modificações sazonais em ambientes com pouco ou nenhum nível de poluição associada a atividade humana, ainda tem sido uma grande lacuna em estudos na literatura (RINKLEBE *et al.*, 2019). Em corpos receptores com ação de atividades humanas, a contribuição de cada parcela de metais presentes no meio pode se tornar clara, desde que, a comparação dos dados de concentração seja estabelecida ao meio antes dos lançamentos. Sendo assim, mesmo com a bacia hidrográfica preservada nas suas condições naturais, a qualidade das águas é afetada pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo, resultantes da precipitação atmosférica. O impacto é dependente do contato da água em escoamento ou infiltração com as partículas, substâncias e impurezas no solo.

Assim, a incorporação de sólidos em suspensão (partículas de solo) ou dissolvidos (íons oriundos da dissolução de rochas) ocorre, mesmo na condição em que a bacia hidrográfica esteja totalmente preservada em suas condições naturais (ocupação do solo com matas e florestas). Neste caso, têm grande influência a cobertura e a composição do solo (BONIFÁCIO; NÓBREGA, 2021).

Dentre estes íons, o manganês é um elemento metálico cujos estados de oxidação variam entre  $3^-$  e  $7^+$ . Em termos gerais, sua solubilidade pode ser considerada proporcional à sua oxidação, quanto mais positiva a oxidação do elemento, maior é a tendência à sua solubilidade (ALESSIO, 2007). Na natureza, a ocorrência deste metal geralmente se dá associada à presença de minerais ricos em ferro provenientes de atividades vulcânicas atuais ou extintas (MA *et al.*, 2019).

Devido à raridade de casos comprovados de toxidez e à pouca discussão consistente sobre o tema, a literatura não é precisa sobre todos os riscos envolvidos. Pesquisadores consideram fortes correlações entre doenças neurodegenerativas em casos de hiperacumulação, chamado de manganemismo, porém, dentre os poucos estudos existentes, vários destacam a presença de metais pesados com concentrações mais expressivas e patogenias similares, como Cu e Zn, trazendo ainda mais incertezas sobre o assunto (ALESSIO, 2007; JIANG *et al.*, 2017;

PROUDFOOT *et al.*, 2017). Os inconvenientes relacionados à presença de Mn nas águas se resumem à manifestação de cor e sabor, manchando tecidos e louças ou provocando rejeição em quem as ingere.

Sendo assim, torna-se necessário avaliar as oscilações nas concentrações de manganês em corpos receptores, bem como a origem das possíveis fontes desse metal, principalmente, aquelas potencializadas pelo processo de lixiviação de rochas associadas a litologia local e as atividades de mineração.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Principal**

O objetivo do presente trabalho foi mapear uma região de mineração de manganês, e analisar as oscilações nas concentrações deste metal nas águas de treze mananciais superficiais e três mananciais subterrâneos através de parâmetros físico-químicos.

### **2.2. Objetivo Específicos**

Comparar os resultados com as resoluções CONAMA 396, CONAMA 357 alterada e complementada pela CONAMA 430 identificando variações sazonais de concentração influenciadas pelo período chuvoso e de estiagem, correspondente a dois ciclos hidrológicos nas águas superficiais e à alteração temporal nas águas subterrâneas. Além disso, correlacionar as concentrações dos metais com os parâmetros físico-químicos associados, com possíveis atividades antrópicas referentes a mineração e litologia, verificando sua influência e nível de contribuição.

## **3. REFERENCIAL TERÓRICO**

### **3.1. Indústria da mineração**

Registros históricos mostram que 400 A.C. os egípcios já utilizavam a força da gravidade para recuperar ouro de depósitos (LUZ, SAMPAIO, FRANÇA, 2010). Desse período aos dias atuais, as técnicas de extração e tratamento de minérios evoluíram junto ao desenvolvimento da história do homem, impulsionado por buscas por fontes de energia e

insumos para diversas indústrias (CHEN *et al.*, 2020). As aplicações de minérios e seus derivados são utilizados em inúmeros setores de manufatura industrial.

A Organização das Nações Unidas classifica mineração como: a extração, elaboração e beneficiamento de minerais que se encontram em estado natural: sólido, como o carvão e outros; líquido, como o petróleo bruto; e gasoso, como o gás natural. Inclui a exploração de minas (subterrâneas e de superfície), pedreiras e poços e todas as atividades de preparo e beneficiamento do minério, a fim de torná-lo comercializável (NAPIER-MUNN, 2005).

A mineração é uma das bases da economia nacional, e representa o desenvolvimento socioeconômico de um país, principalmente em termos de exportação de minérios e minerais como o nióbio e minério de ferro (REZENDE, 2016). Neste contexto, é, portanto, uma atividade essencial para o progresso de uma sociedade. No entanto, apesar da mineração ser indispensável ao desenvolvimento, é uma atividade que gera grandes impactos ambientais negativos, que devem ser mitigados de forma a evitar problemas de contaminação de solos e águas representadas pelos corpos receptores (LIN *et al.*, 2022).

Os minerais são recursos naturais distribuídos de maneira heterogênea na crosta da Terra, formados na sua maioria por cristalização do magma e/ou por soluções termais. As empresas de mineração buscam através de análises prévias, o tipo de mineral que existe em determinado local bem como o tempo de extração para iniciarem a implementação de sistemas de exploração mineral. Quando tal depósito possuir economicidade e existir tecnologia viável para sua extração, é considerado uma jazida mineral. Os minérios são classificados de acordo com a preeminência de determinado mineral. A Tabela 1 apresenta exemplos de minérios e minerais.

Tabela 1 – Classificação de minérios e minerais.

<b>Classe</b>	<b>Detalhe</b>	<b>Exemplos</b>
<b>Minerais Metálicos</b>	Ferrosos	Ferro, manganês, cromo, níquel, Cobalto, molibdênio, Nióbio, Vanádio, Wofranio
	Não Ferrosos	Básicos (Cobre, Chumbo, Zinco e Estanho) e leves (Alumínio, magnésio, Titânio, Berílio)
	Preciosos	Ouro, Prata, Platina, Ósmio, Irídio, Paládio, Rutênio e Ródio
	Raros	Escândio, Índio, Germânio e Gálio

Fonte: Adaptado de da Luz, Sampaio e França (2010).

A partir da Tabela 1, é possível prever que corpos hídricos próximos da atividade mineradora, podem conferir maior concentração de determinados metais. No entanto, como já



discutido, viabilizar modelos de previsão desses metais podem incidir melhor em uma resposta de concentrações mais assertivas, e principalmente, a generalização neste tipo de avaliação, pode conduzir a resultados inadequados.

Conforme Ma *et al.* (2019) apesar do potencial impacto humano, há regiões em que contaminações são fenômenos resultantes de processos naturais e alheios à interferência antrópica. A presença de elementos de elevada massa molar em superfície ou camadas poucas profundas são um exemplo comum em locais onde processos tectônicos se estabelecem ou já se estabeleceram (MYNRIN *et al.*, 2017). Como um dos principais ‘órgãos de impacto’, os corpos hídricos locais apresentam influências em diversos aspectos exigindo maiores cuidados nos processos envolvidos no tratamento para consumo (GOLDANI, 2007).

Barzegar *et al.* (2016) fizeram um estudo hidrogeoquímico da qualidade da água no Rio Aji-Chay a noroeste do Irã, e a partir de Gráficos cruzados foi possível verificar que a geoquímica natural inclui dissolução de metais que podem estar associados a modificações de concentrações de determinados elementos. O conjunto de dados obtidos no trabalho dos pesquisadores classificou as amostras em dois grupos distintos; amostras do *cluster B* parecem ter valores elevados de condutividade elétrica (EC) e concentrações de metais traços, como Co, Pb e Cd, enquanto SiO<sub>2</sub> e Zn são baixos em comparação com as amostras do *cluster A*. Os principais processos controlando a hidrogeoquímica e a qualidade da água do Rio Aji-Chay foram identificadas como salinização e intemperismo das rochas. Ambos estão relacionados com fontes geogênicas que enriquecem. As separações de *clusters* nos trabalhos dos pesquisadores, tão-só foi possível a partir de análise estatística multivariada, o que facilitou o entendimento de fatores que possivelmente poderiam ser destituídos acaso não fossem realizadas estas análises.

Caruso *et al.* (2012) estudaram os efeitos da mineração de manganês na qualidade da água no Cáucaso Montanhas, República da Geórgia. A partir de cinco pontos de coletas distintos no rio, foi possível encontrar níveis de Mn elevados, associados ao tipo de litologia da região.

Farjana *et al.* (2019) estudaram o ciclo de vida dos processos de mineração de manganês com base em banco de dados. Os resultados mostraram que o refino de manganês tem um impacto muito maior no meio ambiente aquático, sobretudo devido a elevadas taxas de lixiviação durante período de elevada precipitação pluviométrica.

Fernández-Naranjo *et al.* (2020) estudaram anomalias geoquímicas para a determinação de superfície poluída dos sedimentos do córrego: caso da Sierra de Cartagena-La Distrito mineiro de Unión, Espanha. Neste estudo de limiares de anomalias, por meio da análise de

frequências acumuladas o conteúdo desses elementos nos sedimentos da Base de Dados Geoquímica Espanhola, permite identificar sedimentos que podem ter sido contaminados. Um teste de MannWhitney contrastando os dados de rejeitos, sedimentos poluídos, e sedimentos não poluídos foi realizado a fim de verificar as diferenças entre esses tipos de amostras. No entanto, como os testes realizados de frequência acumulada não seria a melhor ferramenta para este tipo de análise, a falta de robustez estatística pode levar a resultados não fidedignos. Isso porque, para estudos de contaminações associados a elementos de base geoquímica, envolvem muitos parâmetros que devem ser associados em uma análise.

Prabakaran *et al.* (2019) estudaram através de análise fatorial o comportamento da concentração dos traços de elementos químicos terras raras no leito do rio e associado aos sedimentos. Neste estudo foi verificado que o processo geoquímico juntamente com a característica peculiar da litologia controla a distribuição e a mobilidade dos traços de elementos presentes tanto na água quanto nos sedimentos do rio.

Considerando os trabalhos supracitados, é possível verificar que é possível que haja alteração em determinados traços de elementos químicos presentes em corpos receptores sejam provenientes de lixiviação de rochas e o próprio solo. No entanto, os trabalhos que melhor correlacionaram esse fator, foram aqueles que utilizaram análises multivariadas como ferramentas de previsão, o que fomenta ainda mais a necessidade de análise multivariada para compreensão das inúmeras variáveis que podem alterar o ciclo natural de um corpo receptor.

### **3.2. Qualidade da água**

Compreender os parâmetros físico químicos que norteiam a qualidade da água de um corpo hídrico receptor é de fundamental necessidade para previsão das intensas interações entre os atores sociais e o meio físico (Fernández-Naranjo *et al.*, 2020). Por outro lado, desvincular a compreensão das atividades antropogênicas e naturais, bem como suas interações, pode levar a interpretações inadequadas ao comportamento das bacias hidrográficas. Sendo assim, a gestão integrada dos recursos hídricos, associada ao monitoramento contínuo da qualidade da água é o fator primordial, pois norteia e estabelece ações de planejamento, fiscalização e enquadramento de cursos d'água (Koki *et al.*, 2020).

Compreender os parâmetros físico químicos que norteiam a qualidade da água de um corpo hídrico receptor é de fundamental necessidade para previsão das intensas interações entre os atores sociais e o meio físico (Fernández-Naranjo *et al.*, 2020).

Por outro lado, desvincular a compreensão das atividades antropogênicas e naturais, bem como suas interações, pode levar a interpretações inadequadas ao comportamento das bacias hidrográficas. Sendo assim, a gestão integrada dos recursos hídricos, associada ao monitoramento contínuo da qualidade da água é o fator primordial, pois norteia e estabelece ações de planejamento, fiscalização e enquadramento de cursos d'água (Koki *et al.*, 2020).

Neste sentido, a qualidade deve estar associada a um conjunto de padrões que possivelmente indicariam sua classe, corroborando para definição de seu estado de pureza. Desse modo, as variáveis químicas, físicas e biológicas de qualidade servem de apoio ao entendimento das influências sobre os recursos hídricos e para serem correlacionadas aos padrões de qualidade explicitados na Resolução CONAMA nº357 (BRASIL, 2005), visando o aproveitamento múltiplo e integrado da água.

No Brasil uma das principais resoluções que versa a respeito da qualidade e níveis máximos de descarte de compostos inorgânicos e orgânicos é a Resolução CONAMA 430, que altera e complementa a CONAMA 357 (BRASIL, 2005; 2011). A partir dessa resolução é possível verificar os quantitativos de diferentes poluentes que são permitidos em corpos d'água, segregados em classes de água doce, águas salinas e águas salobras. A classificação das águas doces segundo a Resolução CONAMA nº 357, pode ser segregada como:

**I - Classe especial: águas destinadas:**

- Ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- A preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- A preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

**II- Classe 1: águas que podem ser destinadas:**

- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- A proteção das comunidades aquáticas;
- A recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;
- A irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
- A proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

**III - Classe 2: águas que podem ser destinadas:**

- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- A proteção das comunidades aquáticas;
- A recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;
- A irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- A aquicultura e à atividade de pesca.

**IV- Classe 3: águas que podem ser destinadas:**

- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- A irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- A pesca amadora;
- A recreação de contato secundário; e
- A dessedentação de animais.

**V- Classe 4: águas que podem ser destinadas:**

- A navegação;
- A harmonia paisagística. (CONAMA, 2005)

Os valores de referência dos diferentes poluentes são definidos em termos de qualidade e capacidade de autodepuração dos corpos receptores (LI *et al.*, 2022). No entanto, alguns fatores como sazonalidade local, litologia e inclusive pH do meio podem levar à determinação dos parâmetros estabelecidos como falso positivos (BOAVENTURA; DE FREITAS, 2006). Em determinados valores de pH do meio, podem ser formados compostos chamados de complexos, que incorporam as formas iônicas de determinados elementos químicos inorgânicos inclusive em compostos orgânicos, como a formação do metil mercurato (ZIWA *et al.*, 2022).

Em períodos sazonais onde a taxa de pluviosidade é elevada, os metais podem estar na forma mais diluída, levando novamente a falsos negativos. Em outros países como Estados Unidos, por exemplo, essas medidas são realizadas de forma dinâmica, associando vários fatores de entrada que podem interferir diretamente na concentração do metal no corpo d'água, dentre eles salinidade, pH, carga orgânica, alcalinidade e dureza. Por exemplo, existe uma grande diferença em realizar a medida do elemento cádmio em diferentes faixas de pH (MARTHA, 1993).

Sendo assim, a criação de modelos mais robustos de previsibilidade dos valores de referência de poluentes permitidos em corpos receptores poderia prever com maior capacidade a real concentração de cada um dos compostos inorgânicos, eliminando assim, possíveis interferências que porventura poderiam vir a conduzir a resultados inconsistentes.

### 3.2.1. Toxicologia dos metais

Uma grande variedade de metais, incluindo Hg, Cd, Pb, estão presentes de forma natural em cursos d'água, bem como no solo (SAÚDE, 2004). Dentre estes, Hg e Cd são de grande interesse industrial na confecção de produtos manufaturados, e por isto, são os mais estudados sob o ponto de vista toxicológico. Estes elementos reagem com ligantes difusores, com macromoléculas e com ligantes presentes em membranas lhes conferindo propriedades de

bioacumulação, biomagnificação na cadeia alimentar, persistência no ambiente e distúrbios nos processos metabólicos. Bioacumulações e biomagnificações se encarregam de transformar concentrações normais em concentrações tóxicas para diferentes espécies e para o homem. A persistência garante efeitos a longo prazo, mesmo sendo interrompida a emissão destes (CALVO *et al.*, 2017).

Muitos metais são essenciais à vida, estando estes em concentrações naturais dentro da faixa de parte por milhão (ppm) ou até mesmo parte por bilhão (ppb).

A toxicidade de metais é uma questão de dose e tempo de exposição, da forma física e química do elemento e da via de administração/absorção. O caráter tóxico de uma dada forma química específica de um elemento numa determinada forma física depende da interação com o organismo humano que ocorre em três estágios: 1º) estágio de entrada e absorção; 2º) estágio no organismo onde transporte, distribuição, acumulação, biotransformação e efeito ocorrem; e 3º) estágio de saída do organismo (DAS *et al.*, 2011). Em cada um desses estágios se encontra o elemento em diferentes formas alotrópicas ou estados de oxidação diferentes para interagir com as características anatômicas e propriedade fisiológicas dos órgãos ou sistemas.

### **3.3. Íons metálicos nos sistemas aquáticos**

A ocorrência de metais tóxicos em ambientes aquáticos, sobretudo, por íons metálicos como: alumínio (Al), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), magnésio (Mg), manganês (Mn) e zinco (Zn) causam preocupação quanto à sua influência sobre ecossistemas (PATRICIA *et al.*, 2018).

O comportamento dos íons metálicos em corpos d'água é de extrema complexidade, devido as suas possíveis interações com outros agentes, componentes particulados e condições fora de equilíbrio (FERNÁNDEZ-NARANJO *et al.*, 2020). A precipitação desses íons de metais em outras formas alotrópicas, pode ser conduzida de forma direta por meio de fatores externos como precipitação e modificação do pH do meio aquático (LI *et al.*, 2022). Dependendo do potencial de oxidação do meio, um íon de determinado metal pode possuir inúmeras formas diferentes, principalmente podendo estar associado a outros compostos para formação de complexos. A interação da água com sólidos suspensos e a liberação de gases por processos de fermentação, podem também interferir na precipitação destes íons (Canpolat *et al.*, 2020).

Os sedimentos além de metais complexados também apresentam em sua composição matéria orgânica, que pode ser proveniente de fontes naturais como ácidos húmicos e fúlvicos

ou de fontes externas como descargas industriais sem prévio tratamento ou com tratamento precário. Em geral, entre 10% a 20% da matéria orgânica é composta de compostos aromáticos, ácidos carboxílicos e outros (IOANA-ALINA, 2019). Os outros percentuais restantes da matéria orgânica são compostos de substâncias húmicas e fúlvicas, que são compostos de elevado peso molecular formados pela degradação microbiológica de lipídeos e pela polimerização de organismos menores presentes no ambiente (Liao *et al.*, 2017).

Estas substâncias húmicas são consideradas como polieletrólitos com estrutura demasiadamente irregular com grande variação no peso molecular (Liu *et al.*, 2020). Sua capacidade de polieletrólitos, conduz a correlação com a biodisponibilidade dos íons metálicos no ambiente aquático. Em especial, a presença de grupos carboxílicos, fenólicos e carboxílicos conferem a estas substâncias húmicas grande capacidade de complexar íons metálicos, o que poderia conduzir a resultados da concentração dos íons dissolvidos inadequada.

#### **3.4. Adsorção e mobilidade de metais pesados**

O próprio ciclo das plantas que caracteriza seu desenvolvimento, está diretamente associado aos níveis de alguns elementos no solo, como o nitrogênio, fósforo e potássio. No entanto, muitos elementos naturais fazem parte da composição natural do solo, indicando que possíveis modificações naturais relacionadas ao intemperismo do solo podem por ventura destinar parte destes metais para corpos d'água (THOMSO; TURNEY, 1994). Sendo assim, dependendo de sua forma iônica no solo, este pode estar incorporado a outros compostos formando complexos ou então na forma livre, e com facilidade podem ser lixiviados para corpos receptores durante período de elevada precipitação pluviométrica. As variações de pH durante o momento de precipitação no solo, podem conduzir esses metais de forma fácil para os corpos receptores, em especial, pH mais ácidos, o que facilita a mobilidade destes metais (LIN *et al.*, 2022).

O pH é um dos principais fatores que alteram o coeficiente de distribuição dos metais, sendo que metais com coeficiente de distribuição baixos, como Cd, Ni e Zn são trocados facilmente por outros metais em competição como Cr, Pb e Cu. O comportamento dos elementos-traço, uma vez lançados ao meio ambiente, máxime a mobilidade e a toxicidade, é dependente do estado de oxidação e da estrutura da espécie metálica bem como seus estados combinados (COSTA *et al.*, 2018). Os impactos causados pela entrada dos metais ao meio ambiente aquático dependem da concentração e da forma em que os metais se encontram ao serem lixiviados pelos efeitos de águas superficiais.

Sendo assim pelo exposto, a limnologia local da região de análise para este trabalho, rico no mineral composto do elemento manganês, poder-se-ia esperar problemas de contaminação nos ecossistemas aquáticos. Estes fatores, associados ao uso e manejo da terra para plantações podem agregar juntos um aumento significativo deste metal, em especial, durante período de elevada precipitação pluviométrica. Além disso, durante o período de chuvas, é possível um aumento da turbulência de rios e córregos, o que pode indicar, um maior aumento da turbidez do meio, associado ao maior nível de sedimentos dissociados na água presentes inclusive em regiões mais profundas do corpo hídrico.

Como a matéria orgânica é um dos adsorventes desses metais, principalmente em regiões de pH mais elevados, os sedimentos podem conter cerca de 1000 vezes maior a concentração de metais (COSTA *et al.*, 2018), em períodos de elevada turbulência dos corpos hídricos, é possível que esses metais sejam incorporados na água. Dependente da fonte, o sedimento pode representar importante fonte de poluentes devido ao alto fluxo difusivo dos metais pesados dentro da coluna de água (LIN *et al.*, 2022).

Das *et al.* (2011) estudaram amostras de sedimentos em dois rios e verificaram a influência da matéria orgânica sobre a adsorção de metais pesados no período seco e chuvoso. A correlação foi positiva para todos os metais analisados. Eles sugerem o uso do conteúdo de matéria orgânica em sedimento, como um índice simples para avaliar o grau de poluição dos sedimentos.

### **3.5. Análises de dados de Estudos em Meio Ambiente**

Inicialmente, a avaliação do conjunto de dados de um determinado corpo hídrico pode facilitar a compreensão de determinadas nuances que possibilitam serem utilizadas em modelos preditivos e análises mais precisas. Análises simples como a normalização dos dados de concentrações de metais em corpos receptores podem ajudar na determinação de efeitos externos (NAVES, 2019). Existem vários estudos que confirmam a utilidade das técnicas estatística multivariadas na análise de grandes e complexos conjuntos de dados, visando o controle das fontes de poluição e o planejamento de redes de monitoramento eficientes para a gestão dos recursos hídricos.

A Análise de *Clusters*, também conhecida como análise de agrupamento, avalia a possibilidade de similaridade dentro da classe e dissimilaridades entre as diferentes classes (SINGH *et al.*, 2004; WUNDERLIN *et al.*, 2001). Os *clusters* resultantes devem exibir alta homogeneidade interna (dentro do *cluster*) e alta heterogeneidade externa (entre os *clusters*)

(SHRESTHA; KAZAMA, 2007; ZHANG *et al.*, 2011). A análise de *Clusters* são úteis para fornecer classificação confiável da qualidade da água de uma região e torna possível elaborar uma futura estratégia de amostragem espacial e temporal, de uma maneira otimizada, reduzindo o número de estações, de períodos monitorados e dos custos associados (SHRESTHA; KAZAMA, 2007; ZHANG *et al.*, 2011).

Quando se conhece inúmeras variáveis em um conjunto de dados e principalmente se há possibilidade de interferência direta ou indireta dessas variáveis nas respostas a serem quantificadas, é inevitável que muitas delas sejam sobrepostas. Quando duas variáveis são sobrepostas, caracterizamos como dependência linear, aquela mesma que é discutida nas disciplinas básicas de álgebra linear. Quando essa dependência ocorre, fica complexo entender como cada uma dessas variáveis em separado interferem na resposta a ser medida final. Isso é de maneira geral quantificado por meio do uso de matrizes de correlação de Pearson, sendo que quanto menor a correlação entre as variáveis, maior a quantidade de informação contida na medida e mais rica é a estrutura de dados investigada (NAVES, 2018). Entretanto, pelo fato da correlação ser uma medida limitada a relações lineares entre variáveis, quando um estudo é feito com um conjunto multivariado de dados, relações não-lineares também devem ser investigadas (PINTO *et al.*, 2019). A análise dos componentes principais é um método para re-expressar os dados multivariados, já que ela permite que o pesquisador reoriente os dados de modo que as primeiras poucas dimensões expliquem o maior número possível de informações disponíveis (PAIXÃO *et al.*, 2019), ou seja, a análise de componentes principais busca pelas direções no espaço multivariado que contêm o máximo de variabilidade.

França *et al.* (2009), por exemplo, mostraram que o primeiro Fator encontrado em seu trabalho explicou sozinho cerca de 80% da variância da amostra, indicando que as variáveis agrupadas nesse fator podem ser consideradas as mais relevantes para a qualidade da água na bacia do Alto Iguaçu, Paraná. Ainda nesse trabalho, sugere-se realizar a análise fatorial para cada ponto de monitoramento individual e, visando encontrar quais são os parâmetros de qualidade de água mais importantes para cada um dos pontos monitorados.

Işçen *et al.* (2009) utilizaram a Análise Fatorial para entender a correlação entre variáveis de qualidade da água e combiná-las em grupos para reduzir a dimensão das variáveis e facilitar a interpretação e as tomadas de decisão. Foram encontrados dois fatores que explicam 86% da variância total na qualidade da água.

Xie *et al.* (2005) utilizaram um método de estatística multivariada apoiado por SIG (Sistema de Informações Geográficas) para identificar as relações entre química aquática, geologia e uso do solo, em um estado da Alemanha. As informações espaciais sobre os tipos de



uso do solo e unidades geológicas pertencentes à bacia foram coletadas a partir de mapas digitais e foram inseridos em um único banco de dados, em conjunto com dados sobre a química da água, para uma Análise Fatorial. Uma interessante observação do trabalho é que, embora a Análise Fatorial seja um método multivariado bem estabelecido e amplamente utilizado, é necessário salientar que até mesmo uma correlação forte não significa que seja necessária uma interdependência causal entre as variáveis e, portanto, é preciso ter cuidado na interpretação dos resultados. Mesmo assim, segundo os autores, a Análise Fatorial em combinação com o SIG é um instrumento poderoso para encontrar a origem da química da água em nível regional, para avaliar o impacto ambiental de diferentes fontes de poluição dentro de uma área de investigação considerada e para compreender no detalhe as complexas relações entre a química da água de um curso d'água, geologia e uso do solo. Esse tipo de conhecimento é de grande importância para o planejamento regional e para uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

Chang *et al.* (2008) mostraram que o controle da qualidade da água diverge entre as diferentes escalas espaciais. O uso e ocupação do solo tem a maior influência sobre a bacia em uma escala global. Porém, ao analisar os fatores que afetam a qualidade da água em uma escala mais regional, observou-se que a topografia e o tipo de solo tinham grande influência sobre a qualidade da água das estações do rio Han, Coréia do Sul.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Área de estudos**

O local de estudo está situado na região sul de Minas de Gerais, entre os municípios de Conceição da Barra de Minas, São Tiago e Nazareno. A região está delimitada no Mapa Geológico – Folha Lavras (articulação da Folha SF.23-X-C-I), resultado do Projeto Sul de Minas – Etapa I da CODEMIG (QUÉMÉNEUR *et al.*, 2003).

A região estudada situa-se na borda meridional do cráton São Francisco, que estende-se desde da porção litorânea do estado da Bahia até a região centro sul do estado de Minas Gerais. Segundo Ávila (2000), a região de estudo são constituídas por pelos menos três sequências *greenstone belt*, elas são constituídas por unidade basal, composta de rochas metaultramáficas do tipo serpentinitos, esteatitos, saponitos, talco xistos, clorita xistos, anfíbolito xistos e xistos magnesianos; a outra unidade intermediária composta de anfíbolitos, hornblenditos, epidositos e actinolita-tremolita-xistos e a terceira unidade superior composta de formação magnesífera carbonatada ou silicatada (queluzitos e gonditos) e xistos grafitosos (ASSUMPÇÃO, 2015).

Sendo essa última unidade superior, a qual está presente os gonditos que são as rochas metamórficas de sedimentos manganésíferos.

A área de estudos compreende uma região delimitada pelas coordenadas geográficas: 21°4'17.25"S a 21°7'10.70"S de latitude e 44°31'16.07"O a 44°38'36.36"O de longitude, entres os municípios mineiros de São Tiago mais a nordeste e Nazareno mais a sudoeste, estendendo-se por mais de quinze quilômetros lineares.

De acordo com a classificação do IBGE (2002), a área de estudo localiza-se no domínio climático “Semi-Úmido – mesotérmico brando” que apresenta de 4 a 5 meses de seca e temperatura média entre 10° e 15° C em pelo menos um mês do ano. Isso indica que na região do estudo há duas estações no que tange a pluviosidade, sendo uma seca e outra chuvosa. Isso ocorre pela influência da circulação atmosférica, própria das áreas que possuem altos índices de insolação durante a maior parte do ano. O regime de seca ocorre durante o inverno e a concentração pluviométrica ocorre no verão. A região de estudo apresenta uma significativa variação térmica. O clima da região é, na classificação de Köppen, tropical de altitude (Cwb), clima temperado úmido, com invernos secos e verões temperados (Martins *et al.*, 2018)

A média plurianual da precipitação da série histórica da estação Pluviométrica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA 02144023 (Ibituruna) apresentada é de 1533 mm/ano. A média para o período chuvoso é de 1287 mm/ano que corresponde a aproximadamente 84% de toda precipitação anual (ANA, 2022).

A geomorfologia da área é caracterizada por um padrão de dissecção homogêneo com drenagem de densidades média a grosseira, marcada por colinas com topos convexos e tabulares e constas convexas intercaladas por cristas alongadas em geral assimétricas, e com suas planícies de inundação, em geral, estreitas.

A região de estudo está inserida na sub-bacia baixo rio das Mortes. Nessa região o rio das Mortes recebe importantes aportes de água de seus afluentes, sendo os principais da margem direita, mais a montante do estudo o rio do Peixe e córrego do Capão, e na margem esquerda na porção central do estudo o ribeirão do Canjica.

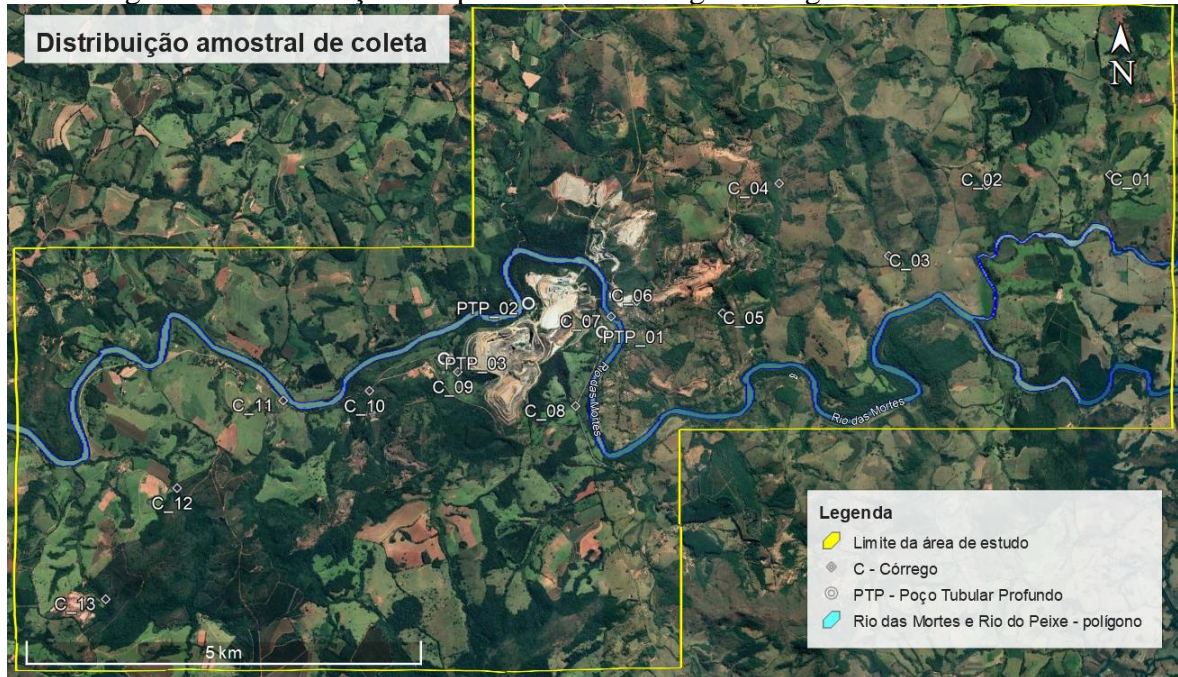
## 4.2. Procedimento amostral

As coletas de amostras foram realizadas a jusante e a montante dos pontos de atenção relacionados a área de mineração, visando uma amostragem determinada a partir do teste de tamanho de amostragem *power sample size* (Montgomery, 2013), que é instituído pela

variabilidade amostral determinada a partir de dados históricos de análises dos parâmetros segundo a resolução do CONAMA 357.

Foram definidos três pontos amostrais para as águas subterrâneas que foram coletadas em poços tubulares profundos e treze pontos amostrais para as águas superficiais, os quais estão apresentados e descritos nas Figura 1, Figura 2 e na Tabela 2.

Figura 1 – Distribuição dos pontos de amostragem de água na área de estudo.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 2 – Mapa com detalhe da localização dos Poços Tubulares Profundos (PTP).



Fonte: Do autor (2022).

Tabela 2 – Caracterização e descrição dos pontos amostrais de águas subterrâneas e superficiais.

PTP	Coordenadas geográficas		Profundidade (m)
	Latitude (S)	Longitude (O)	
PTP_01	21°5'21.76"	44°34'59.00"	104
PTP_02	21°5'10.03"	44°35'31.44"	75
PTP_03	21°5'32.63"	44°36'8.50"	50
Córrego/ponto	Latitude (S)	Longitude (O)	Profundidade (m)
C_01	21°4'17,25''	44°31'16.07"	NA
C_02	21°4'21.63"	44°32'10.12"	NA
C_03	21°4'50.50"	44°32'53.21"	NA
C_04	21°4'21.06"	44°33'41.47"	NA
C_05	21°5'14.08"	44°34'6.34"	NA
C_06	21°5'9.10"	44°34'43.82"	NA
C_07	21°5'15.34"	44°34'55.07"	NA
C_08	21°5'52.04"	44°35'10.70"	NA
C_09	21°5'38.01"	44°36'2.45"	NA
C_10	21°5'45.79"	44°36'41.41"	NA
C_11	21°5'49.77"	44°37'19.37"	NA
C_12	21°6'25.58"	44°38'5.90"	NA
C_13	21°7'10.70"	44°38'36.36"	NA

Fonte: Do autor (2022).

As coletas nos poços tubulares profundos foram realizadas nos dias 02/06/2020 e 06/07/2022 de forma a compreender a variação da qualidade da água em relação a variação temporal. As amostras foram coletadas seguindo a metodologia descrita no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas (BRANDÃO; BOTELHO; SATO, 2011). Importante destacar que todos os 3 poços tubulares profundos são isolados com cerca/grade proteção, em local mais alto no terreno com sua base cimentada para evitar contaminação por drenagens superficiais.

As amostras após coletadas foram acondicionadas em frascos plásticos e de vidro, sob refrigeração em caixa térmica, e encaminhadas ao Laboratório da SGS Geosol, que é acreditado pelo Inmetro. As águas subterrâneas dos poços tubulares foram avaliadas as seguintes variáveis de qualidade de água: pH, condutividade elétrica (CE), alcalinidade de bicarbonato (AB), dureza total, cor verdadeira (cor), turbidez (Turb), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos totais (SST), óleos e graxas (O&G), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), carbono orgânico total (COT), nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrito (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), ortofosfato (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), cloreto (Cl<sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), sulfeto (S<sup>2-</sup>), cálcio dissolvido (Ca<sup>2+</sup>) e total (Ca), magnésio dissolvido (Mg<sup>2+</sup>) e total (Mg), potássio dissolvido (K<sup>+</sup>) e total (K), sódio dissolvido (Na<sup>+</sup>) e total (Na), alumínio dissolvido (Al<sup>3+</sup>) e total (Al), antimônio dissolvido (Sb<sup>5+</sup>) e total (Sb), arsênio dissolvido (As<sup>5+</sup>) e total (As), bário

dissolvido ( $\text{Ba}^{2+}$ ) e total (Ba); berílio dissolvido ( $\text{Be}^{2+}$ ) e total (Be); boro dissolvido ( $\text{Bo}^{3+}$ ) e total (Bo), cádmio dissolvido ( $\text{Cd}^{2+}$ ) e total (Cd), chumbo dissolvido ( $\text{Pb}^{2+}$ ) e total (Pb), cobalto dissolvido ( $\text{Co}^{2+}$ ) e total (Co), cromo dissolvido ( $\text{Cr}^{3+}$ ) e total (Cr), estanho dissolvido ( $\text{Sn}^{2+}$ ) e total (Sn), ferro dissolvido ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e total (Fe), fluoreto ( $\text{F}^-$ ); lítio dissolvido ( $\text{Li}^{2+}$ ) e total (Li), manganês dissolvido ( $\text{Mn}^{2+}$ ) e total (Mn), mercúrio dissolvido ( $\text{Hg}^{2+}$ ) e total (Hg), molibdênio dissolvido ( $\text{Mo}^{2+}$ ) e total (Mo), níquel dissolvido ( $\text{Ni}^{2+}$ ) e total, prata dissolvida ( $\text{Ag}^{2+}$ ) e total (Ag), selênio dissolvido ( $\text{Se}^{2+}$ ) e total (Se), urânio dissolvido ( $\text{U}^{3+}$ ) e total (U), zinco dissolvido ( $\text{Zn}^{2+}$ ) e total (Zn).

Os valores de pH e de oxigênio dissolvido foram obtidos *in loco*, e todas as análises seguiram os métodos estabelecidos por APHA, AWWA e WEF (2012).

As coletas de águas superficiais foram realizadas durante dois ciclos hidrológicos, em ordem cronológica, nos dias 10/12/2020, 11/08/2021, 28/12/2021 e 06/07/2022, de forma a compreender a variação da qualidade da água em relação à variação sazonal do perfil hidrogeológico da região. As amostras foram coletadas seguindo a metodologia descrita no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas (BRANDÃO; BOTELHO; SATO, 2011) e, seguiu as diretrizes descritas no capítulo 2 do livro de Avaliação da qualidade de água – Base tecnológica para a gestão ambiental (VASCONCELOS; TUNDISI; TUNDISI, 2009).

As amostras foram acondicionadas em frascos plásticos e de vidro, sob refrigeração em caixa térmica, e encaminhadas ao Laboratório da SGS Geosol, que é acreditado pelo Inmetro. Na Figura 3 são apresentados os recipientes com amostras de água superficial coletadas no ponto C\_12.

Figura 3 – Recipientes com amostras de águas superficial coletadas em 28/12/2021.



Fonte: Do autor (2022).

Na Figura 4 mostra o momento da coleta do ponto C\_4 no dia 28/12/2021.

Figura 4 – Coleta de amostra d'água no ponto C 4 em 28/12/2021.



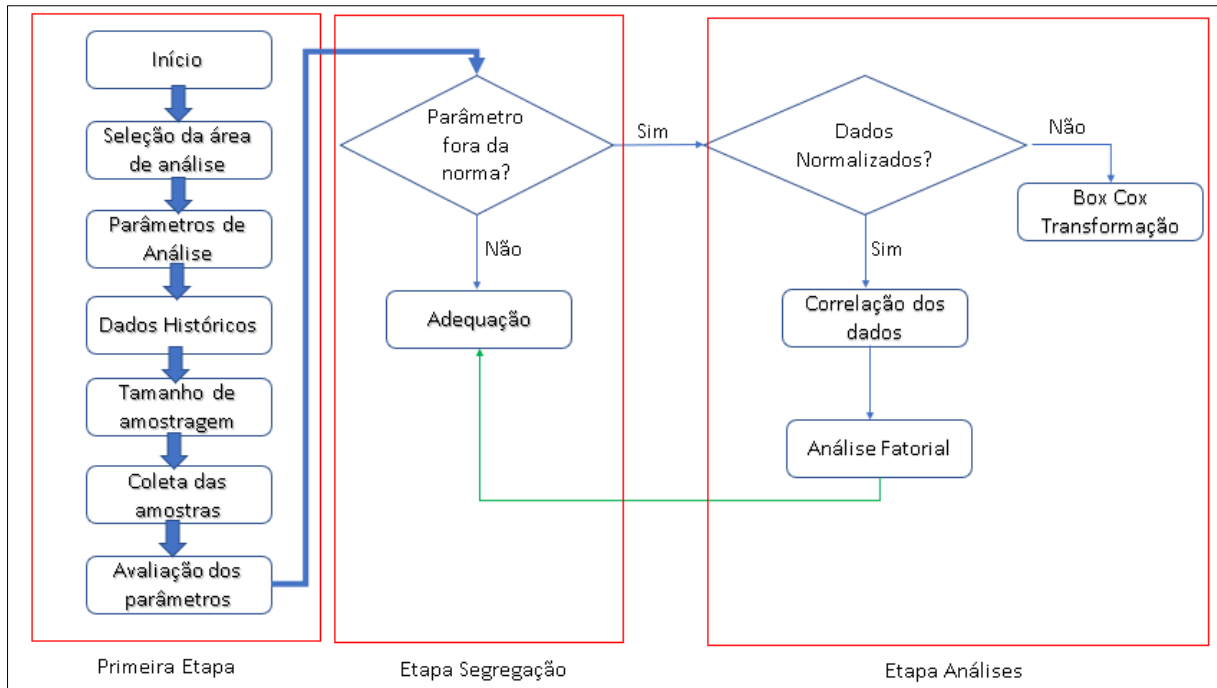
Fonte: Do autor (2022).

Para análise das águas subterrâneas foram considerados as variáveis buscando correlação entre os parâmetros da resolução CONAMA 396 assim como os parâmetros físico-químicos que porventura poderiam estar associados.

Assim como nas águas subterrâneas, para análise das águas superficiais foram considerados as mesmas variáveis de qualidade das águas, visando verificar a presença de correlação entre os parâmetros da resolução CONAMA 430 e os parâmetros físico-químicos que porventura poderiam estar associados. Destaque se aqui, que os limites avaliados de qualidade foram baseados CONAMA 430, pois buscou-se verificar que mesmo onde não há lançamento de efluentes, haveria potencial dos valores das variáveis análises estarem naturalmente acima dos parâmetros definidos como limite para lançamento de efluentes.

Para análise dos dados foi seguido o fluxograma apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma do processo de coleta e avaliação das variáveis de qualidade de água.



Fonte: Do autor (2022).

A seleção da área foi realizada na região de extração de manganês, que é um dos elementos químicos que mais excedem os limites de lançamento de efluentes das mineradoras existentes na região de estudos definidos pela Resolução CONAMA nº 430. Com as variáveis determinadas nos pontos de coleta foram possíveis a partir da variabilidade do parâmetro de manganês determinar quantos números de amostras seria necessários para provar a robustez nas análises (MONTGOMERY, 2013). Com o manganês fora dos parâmetros da Resolução CONAMA, foi possível verificar se os dados encontravam normalizados, ou se o efeito do erro estatístico tipo I foi preponderante e interferiu nos valores das concentrações de manganês. A partir deste ponto, foi possível verificar a correlação existente entre os parâmetros e consequentemente aplicar análise fatorial utilizando o *software* Minitab®, versão 21.





Tabela 3 – Continuação...

pH In Situ	-	-	6,39	7,3	6,42	7,57	6,4	6,37
SDT	mgL <sup>-1</sup>	1000	113	65	56,5	155	87	459
SST	mgL <sup>-1</sup>	-	<7	14,5	15,5	24,5	11,5	<7
Turbidez	NTU	-	2,19	5,3	6,36	13,3	3,27	8,37

<sup>(1)</sup> Padrão de qualidade de águas subterrâneas para Consumo humano segundo a Resolução CONAMA n° 396/2008.

Fonte: Do autor (2022).

Abascal *et al.*, (2022), dispuseram a partir de um artigo de revisão, diagnósticos globais de poluição por nitrato e principalmente formas de mitigação a partir de novas tecnologias de remoção em corpos receptores. Nesta mesma amostragem, houve elevação dos valores de nitrito, entretanto, sem superar o limite de qualidade para consumo humano. Destaca-se ainda na segunda amostragem do PTP\_01 a elevação dos valores de CE, AB e dureza.

Alguns autores têm relatado forte correlação entre nitrato e cloretos em água subterrâneas, o que não foi observado no presente trabalho. Ainda, Gonçalves and Lima, (2020) reportaram que uma elevada relação nitrato/cloreto pode sugerir poluição por fertilizantes e deposição úmida de poluentes atmosféricos, enquanto baixas relações entre os nutrientes correspondem a poluição por dejetos humanos e animais.

Por serem poços profundos, as demais variáveis avaliadas não sofreram alteração por influência externa de fontes de contaminação.

As variáveis cujas concentrações podem sofrer influência de ações antrópicas e também da litologia, mas são consideradas menos perigosas em termos de qualidade, tendo em vista que nem todas elas apresentam padrões de qualidade (Tabela 4). E as substâncias que mesmo em pequenas concentrações podem causar grande impacto na qualidade das águas subterrâneas, em sua maioria metais pesados (Tabela 5).

Tabela 4 – Resultados da análise de água subterrânea em três diferentes poços próximos à área de mineração em relação a alguns nutrientes.

Variáveis de Qualidade	Unidade	Padrão <sup>(1)</sup>	PTP_01		PTP_02		PTP_03	
			Jun/20	Jul/22	Jun/20	Jul/22	Jun/20	Jul/22
Ca <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	17,8	135	7,14	22	9,99	71,7
Ca	mgL <sup>-1</sup>	-	18	140	7,3	22,8	10,4	75
C	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,5	0,8	0,5	1,3	1,9	0,5
Mg <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	7,52	40,3	2,97	10,4	5,69	34,7
Mg	mgL <sup>-1</sup>	-	7,61	42,3	3	10,7	5,78	35,2
Mo <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Mo	mgL <sup>-1</sup>	0,07	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Tabela 4 – Continuação...

K <sup>+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	1,28	5,99	1,63	1,7	1,05	2,01
K	mgL <sup>-1</sup>	-	1,37	6,71	1,73	1,79	1,1	2,26
Se <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	0,002	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Se	mgL <sup>-1</sup>	0,01	0,002	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Na <sup>+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	200,00	4,3	16,8	4,6	4,57	4,28	10,6
Na	mgL <sup>-1</sup>	200,00	4,77	19	4,94	4,97	4,39	12,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mgL <sup>-1</sup>	250,00	1,08	312	<1	51,9	2,23	230
S <sup>2-</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Temperatura	°C	-	22,2	22,1	21,2	21,4	22,1	23,2

<sup>(1)</sup> Padrão de qualidade de águas subterrâneas para Consumo humano segundo a Resolução CONAMA n° 396/2008.

Fonte: Do autor (2022).

Entre as variáveis de qualidade apresentadas na Tabela 4, algumas são nutrientes e apresentam concentrações de referência. Para outras, verifica-se que em concentrações naturais não causam prejuízo à saúde humana, e não apresentam padrão de consumo. Nota-se ainda que na segunda de amostragens para um mesmo poço, houve tendência de aumento das concentrações dos elementos analisados, principalmente aqueles presentes em maior concentração no solo como cálcio e magnésio. E para o sulfato, que pode ser proveniente da composição das rochas locais, expostos pela atividade de mineração (Fernando *et al.*, 2018) ou contaminação externa (Torres-Martínez *et al.*, 2020)). Para os demais elementos, a maior variação entre as amostragens jun/20 e jul/22 ficaram com o PTP\_01, que parece sofrer maior influência do meio externo e das chuvas.

No PTP\_01 a concentração de sulfato foi superada em relação ao padrão para consumo. Neste contexto, o sulfato não é considerado tóxico quando presente na água para consumo, mas em quantidades excessivas pode resultar em deterioração da qualidade da água devido à influência na dureza e sabor da água (Jakóbczyk-Karpierz; Ślósarczyk, 2022). Por isso, segundo Brasil (2008), o padrão de sulfato tem caráter organoléptico, ou seja, tem implicação sobre o paladar quando do consumo desta água, sem maiores implicações para a saúde.

Tabela 5 – Resultados da análise de água subterrânea em três diferentes poços próximos à área de mineração em relação aos metais.

Parâmetros	Unidade	Padrão <sup>(1)</sup>	PTP_01		PTP_02		PTP_03	
			Jun/20	Jul/22	Jun/20	Jul/22	Jun/20	Jul/22
Al <sup>3+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Al	mgL <sup>-1</sup>	0,20	<0,02	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ab <sup>5+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Tabela 5 – Continuação...

Sb	mgL <sup>-1</sup>	0,01	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001
As <sup>5+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	0,04	0,007	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
As	mgL <sup>-1</sup>	0,01	0,044	0,007	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ba <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	0,02	0,04	0,03	0,01	0,04	0,06
Ba	mgL <sup>-1</sup>	0,70	0,02	0,04	0,04	0,02	0,05	0,07
Be <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Be	mgL <sup>-1</sup>	0,00	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Bo <sup>3+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Bo	mgL <sup>-1</sup>	0,50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cd <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cd	mgL <sup>-1</sup>	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Pb <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pb	mgL <sup>-1</sup>	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Co <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Co	mgL <sup>-1</sup>	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cr <sup>3+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cr	mgL <sup>-1</sup>	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Sn <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sn	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Fe <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fe	mgL <sup>-1</sup>	0,30	<0,1	<0,1	0,39	<0,1	<0,1	0,15
F <sup>-</sup>	mgL <sup>-1</sup>	1,50	0,14	1,49	0,13	0,6	0,15	0,15
Li <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,03	0,56	<0,03	0,27	<0,03	0,13
Li	mgL <sup>-1</sup>	2,50	<0,03	0,82	<0,03	0,33	<0,03	0,18
Mn <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	0,06	0,35	0,17	<0,02	<0,02	0,37
Mn	mgL <sup>-1</sup>	0,10	0,07	0,4	0,18	0,04	<0,02	0,41
Hg <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Hg	mgL <sup>-1</sup>	0,00	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Ni <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Ni	mgL <sup>-1</sup>	0,02	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Ag <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Ag	mgL <sup>-1</sup>	0,10	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
U <sup>3+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,001	0,039	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
U	mgL <sup>-1</sup>	0,02	<0,001	0,054	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
Zn <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03
Zn	mgL <sup>-1</sup>	5,00	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	0,41

<sup>(1)</sup> Padrão de qualidade de águas subterrâneas para Consumo humano segundo a Resolução CONAMA n° 396/2008.

Fonte: Do autor (2022).

Ao analisar os metais presentes nas águas dos PTP's (Tabela 5), nota-se que três deles superaram a concentração padrão para consumo em pelo menos uma amostragem: manganês,

níquel e urânio. Em relação aos dois últimos elementos, os valores de referência somente foram superados em uma amostragem do PTP\_01. O que pode estar relacionada a uma situação pontual proveniente da atividade de mineração. No caso do níquel, Samantara *et al.*, (2017) relatam sobre a sua presença no solo associada ao sulfato, que também teve aumento de concentração na segunda amostragem do PTP\_01 (Tabela 4).

Para o urânio, pode haver interação com carbonatos e este fator controla as concentrações de urânio nas águas subterrâneas. Em geral, haverá uma correlação positiva entre urânio e alcalinidade, indicando a possível formação de complexos aniônicos de carbonato de uranila, que mantêm o urânio na forma solúvel. A presença de cálcio também influencia a especiação do urânio e pode aumentar a mobilização do urânio através da formação do complexo  $\text{Ca}(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3$  (Balaram; Rani; Rathore, 2022). Fato que foi observado no PTP\_01, durante a segunda amostragem, com aumento da concentração de cálcio e da alcalinidade (Tabelas 3 e 4).

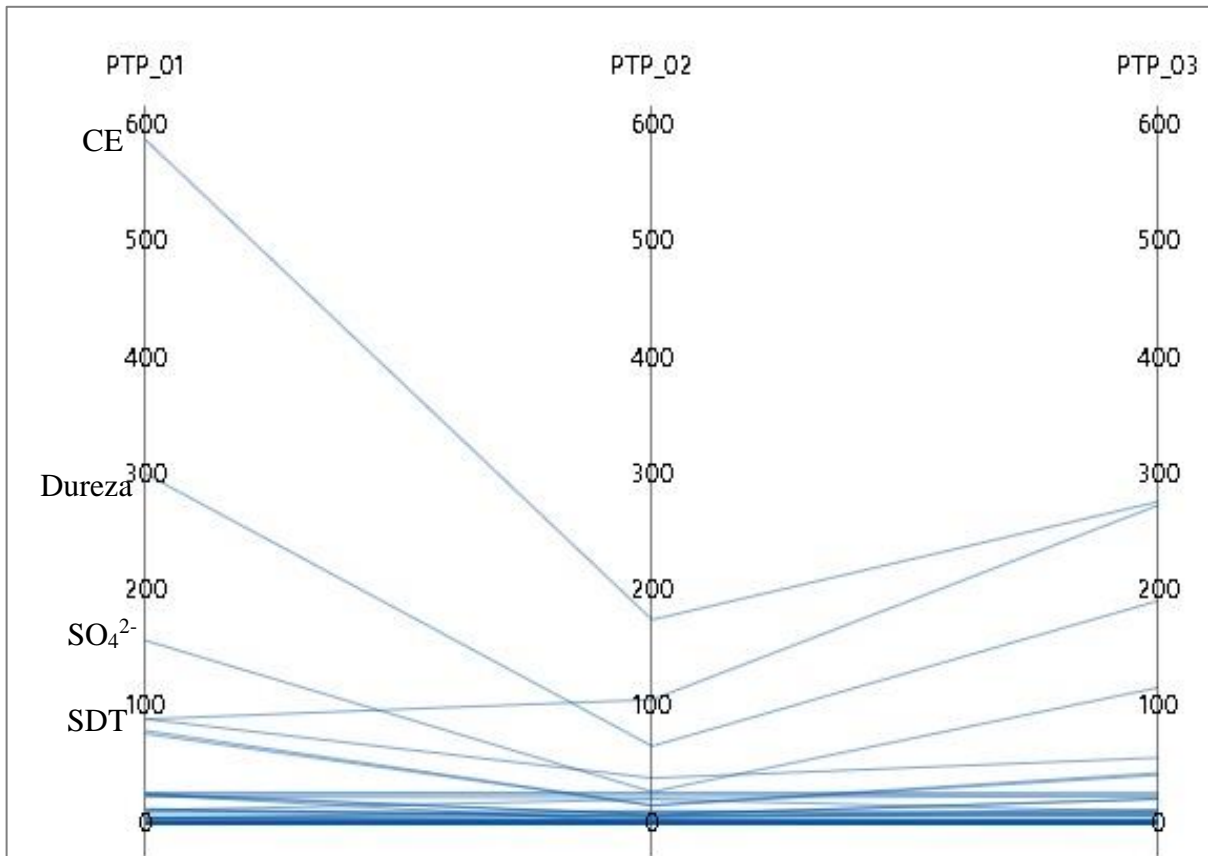
O manganês apresentou concentração acima do padrão de consumo humano em pelo menos uma das amostragens nos três poços. Isto é um potencial indicativo da litologia local, onde há exploração deste elemento químico. Ou seja, a litologia pode alterar a característica da água dos poços. Apesar da litologia local, (Lottermoser, 2007) relata que áreas de mineração, ativas ou inativas, podem ser fontes significativas de metais dissolvidos e metaloides por meio da drenagem das minas. Presume-se aqui que a presença de Mn nas águas subterrâneas seja inicialmente derivada do intemperismo de minerais ferromagnesianos (hornblenda; anfíbolitos), associados aos óxidos, carbonatos e sulfetos (Bondu *et al.*, 2018).

No geral, a pobre relação do manganês com outros elementos geoquímicos pode sugerir que a liberação de minerais primários influencia significativamente a distribuição de Mn nas águas subterrâneas. Embora não investigada neste estudo, a química das rochas e a mineralogia podem ser altamente heterogêneas. Variações nos teores de Mn nas rochas podem explicar a variabilidade espacial das concentrações de Mn no aquífero e nos diferentes Poços e amostragens. Além disso, como demonstrado recentemente por Kiracofe *et al.* (2017), existem múltiplas fontes mineralógicas de Mn em aquíferos rochosos. Em relação à sua estabilidade, alguns minerais podem ser mais propensos a liberar Mn, como carbonatos e óxidos de Mn em áreas mineralizadas.

Outros elementos como alumínio, ferro e zinco, mesmo em maiores concentrações no ambiente, não tiveram suas concentrações superadas em relação aos padrões de consumo humano.

Na Figura 6 é apresentado um comparativo entre os valores médios das variáveis de qualidade de água subterrânea monitoradas nos diferentes poços, na qual é possível verificar que os valores observados são muito próximos, destacando somente as variações de Condutividade Elétrica (CE), Dureza, Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e a concentração de sólidos totais dissolvidos (SDT).

Figura 6 – Comparação entre os valores médios das variáveis de qualidade de água subterrânea monitoradas nos diferentes PTP's.



Fonte: Do autor (2022).

Na Figura 6, o eixo das ordenadas representa os valores das variáveis de qualidade para cada um dos parâmetros analisados e parametrizados pela resolução CONAMA 396. Estes parâmetros estão listados na Tabela 6. Apesar da diferença do teor de sólidos totais dissolvidos quando comparada entre os poços, em média, todos apresentaram água com qualidade dentro dos limites estabelecidos por Lottermoser (2007) e dos padrões de potabilidade para consumo humano estabelecidos pela Portaria nº 888, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

Na Figura 6, o eixo das abscissas representa os valores das variáveis de qualidade para cada um dos parâmetros analisados, apresenta cada um dos parâmetros analisados e parametrizados pela resolução CONAMA 396. Estes parâmetros estão listados na Tabela 6.

Figura 7 – Apresentação de todos os parâmetros analisados para três PTP's.

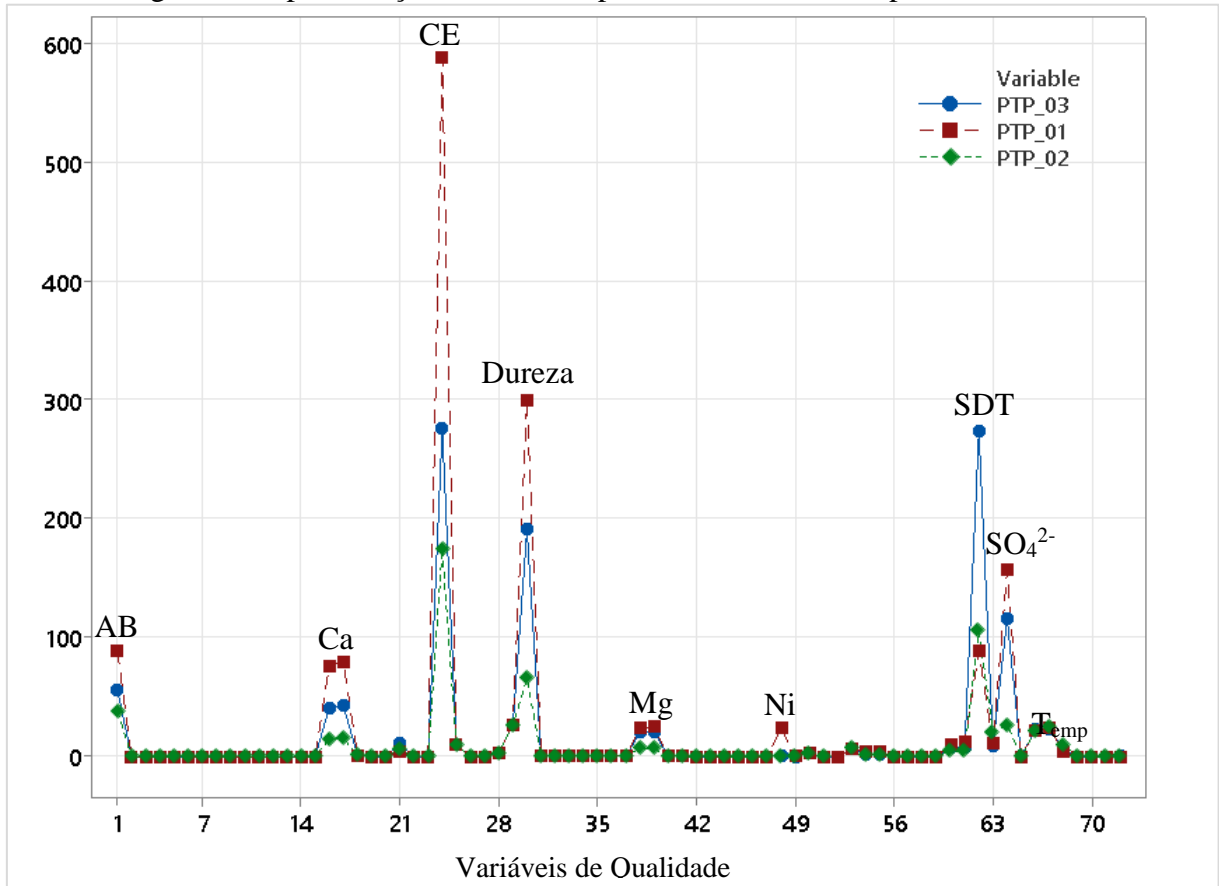


Tabela 6 – Apresentação de todos os parâmetros da Resolução CONAMA 396/2008.

Variáveis de qualidade	Sequência	Variáveis de qualidade	Sequência	Variáveis de qualidade	Sequência
AB	1	Cor	25	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	49
Al <sup>3+</sup>	2	Cr <sup>3+</sup>	26	O&G	50
Al <sup>3+</sup>	3	Cr	27	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	51
Ab <sup>5+</sup>	4	DBO	28	OD	52
Sb	5	DQO	29	pH	53
As <sup>5+</sup>	6	Dureza	30	K <sup>+</sup>	54
As	7	Sn <sup>2+</sup>	31	K	55
Ba <sup>2+</sup>	8	Sn	32	Ag <sup>2+</sup>	56
Ba	9	Fe <sup>2+</sup>	33	Ag	57
Be <sup>2+</sup>	10	Fe	34	Se <sup>2+</sup>	58
Be	11	F <sup>-</sup>	35	Se	59
Bo <sup>3+</sup>	12	Li <sup>2+</sup>	36	Na <sup>+</sup>	60
Bo	13	Li	37	Na	61
Cd <sup>2+</sup>	14	Mg <sup>2+</sup>	38	SDT	62
Cd	15	Mg	39	SST	63
Ca <sup>2+</sup>	16	Mn <sup>2+</sup>	40	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	64
Ca	17	Mn	41	S <sup>2-</sup>	65

Tabela 6 – Continuação...

C	18	Hg <sup>2+</sup>	42	Temp	66
Pb <sup>2+</sup>	19	Hg	43	Temp	67
Pb	20	Mo <sup>2+</sup>	44	Turb	68
Cl <sup>-</sup>	21	Mo	45	U <sup>3+</sup>	69
Co <sup>2+</sup>	22	Ni <sup>2+</sup>	46	U	70
Co	23	Ni	47	Zn <sup>2+</sup>	71
CE	24	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	48	Zn	72

Fonte: Do autor (2022).

## 5.2. Resultados das Análises dos Mananciais Superficiais

As variáveis de qualidade de água superficial foram determinadas para comparar a variação das características de dois ciclos hidrológicos com os padrões estabelecidos pela Resolução Conama n° 357 (BRASIL, 2005) que é alterada e modificada pela Resolução Conama n° 430 (BRASIL, 2011). Desta forma foi possível avaliar a influência da litologia na concentração natural destas variáveis de qualidade, indicando que algumas ações antropogênicas podem manter a entropia invariável, em termos de concentrações.

Foi definido para avaliação dos dados as médias dos resultados das campanhas realizadas no período de chuva e nos períodos de seca, sendo que para o período de chuva, os resultados das análises refletem as coletadas realizadas em dezembro de 2020 e dezembro de 2021. Para os resultados apresentados na média do período de seca, refletem as análises coletadas em agosto de 2021 e julho de 2022.

Da mesma forma que foi analisado as variáveis nas águas subterrâneas, analisou-se nas águas superficiais mantendo os três grupos de análise para verificar possíveis contribuições das águas superficiais nas variáveis das águas subterrâneas, o primeiro grupo de variáveis foi definido com base nos poços tubulares profundos, mantendo as variáveis que pouco sofrem interferência da ação devido a profundidade (Tabela 7 e Tabela 10, período de chuva e secas, respectivamente).

O segundo grupos, Tabela 8 para o período de chuva e na Tabela 9 para período de seca, apresentam as variáveis cujas concentrações podem sofrer influência de ações antrópicas e da litologia, mas são consideradas menos perigosas em termos de qualidade.

E por fim, o terceiro grupo (período de chuva, Tabela 9, e período de seca, Tabela 12) são as substâncias que mesmo em pequenas concentrações podem causar grande impacto na qualidade das águas, devido sua maioria serem compostas por metais pesados.

Os padrões de qualidade da Tabela 7 à Tabela 12 foram apresentados com os limites definidos nas resoluções CONAMA. Padrão 1, limites estabelecidos para aplicação à qualidade de águas doces de classe 2 segundo a Resolução CONAMA n° 357. E o padrão 2, limites estabelecidos para lançamento de efluente segundo a Resolução CONAMA n° 430.

A Figura 8 apresenta todos os parâmetros analisados nos mananciais superficiais na área estuda durante o período chuvoso, variáveis que foram compiladas nas médias apresentadas na Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9.

A Figura 9 traz os resultados dos para os parâmetros analisados nos mananciais superficiais na área estuda durante o período de seca, variáveis que foram compiladas nas médias apresentadas na Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12.

As principais variações de qualidade ocorreram para ferro dissolvido ( $\text{Fe}^{2+}$ ) considerando os limites de qualidade de águas doces classe 2 segundo estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005, entretanto todas os resultados ficaram dentro dos valores da Resolução CONAMA n° 430/2011, que nesse caso considera lançamento de efluentes, apesar de não ser o caso, a comparação com os limites de lançamento com os resultados obtidos nos mananciais superficiais é importante por considerar a formação geológica e a contribuição da litológica para essa variável.

A outra variável de qualidade que apresentou anomalia foi o manganês total (Mn) comparado com os parâmetros definidos pelo padrão de qualidade de águas doces de classe 2 segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005, na qual somente 3 resultados ficaram abaixo dos limites estabelecido nessa resolução, sendo que o único ponto que mante abaixo durante o monitoramento nos dois ciclos hidrológico foi o manancial superficial C-7. limites estabelecidos na e o manganês dissolvido ( $\text{Mn}^{2+}$ ). E tendo como comparação 7 das 26 amostras tiveram valores acima do limite previsto para lançamento de efluentes, o que demonstra a forte contribuição dos jazimentos presentes na região.



Tabela 7 – Resultados da análise de água superficiais período chuvoso (1º Grupo).

Variáveis de Qualidade	Unidade	Padrão <sup>(1)</sup>	Padrão <sup>(2)</sup>	Médias dos resultados das amostragens dos períodos de dez/20 e dez/21												
				C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
AB	mgL <sup>-1</sup>	-	-	28,90	28,25	29,07	27,57	23,10	13,65	21,30	29,10	4,00	16,80	24,45	23,88	38,05
Cloreto	mgL <sup>-1</sup>	250,00	-	1,00	1,00	0,67	0,67	0,67	1,00	1,97	1,00	28,05	0,67	1,00	1,11	1,00
CE	µScm <sup>-1</sup>	-	-	82,00	74,50	51,00	37,34	35,34	42,00	62,50	89,00	242,00	37,00	77,50	54,50	84,50
Cor Verdadeira	mgL <sup>-1</sup>	75,00	-	10,00	56,50	30,60	28,70	28,70	10,00	20,50	35,50	57,50	25,30	21,50	20,25	23,50
DBO	mgL <sup>-1</sup>	5,00	-	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00
DQO	mgL <sup>-1</sup>	-	-	26,00	26,00	18,33	19,20	19,20	26,00	26,00	26,00	26,00	18,33	26,00	26,00	37,00
Dureza Total	mgL <sup>-1</sup>	-	-	17,90	18,25	27,13	19,87	20,20	18,45	16,50	36,45	111,50	20,93	16,25	20,15	28,60
Nitrato (N)	mgL <sup>-1</sup>	10,00	-	0,02	0,19	0,02	0,02	1,01	0,03	0,74	0,07	3,21	0,04	0,07	0,30	0,04
Nitrito (N)	mgL <sup>-1</sup>	1,00	-	0,02	0,02	0,25	0,08	0,08	0,02	0,04	0,02	0,03	0,08	0,02	0,01	0,02
Óleos e Graxas	mgL <sup>-1</sup>	V.A.	-	2,50	2,50	1,67	1,67	1,67	2,50	2,50	2,50	2,50	1,67	2,50	2,50	2,50
Ortofosfato (P)	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	1,26	0,84	0,84	0,84	0,19	0,01	0,02	0,01	0,84	0,01	0,01	0,01
OD	mgL <sup>-1</sup>	>5	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
pH In Situ	-	6-9	5-9	3,95	6,79	6,70	6,27	6,41	6,75	6,67	6,77	4,92	6,77	6,55	6,41	6,22
SDT	mgL <sup>-1</sup>	500,00	-	79,00	90,65	79,33	63,40	51,63	43,00	43,75	110,00	213,00	51,60	57,05	66,43	86,00
SST	mgL <sup>-1</sup>	-	-	39,00	23,00	18,00	12,67	7,00	7,00	28,75	10,75	31,65	7,67	10,15	38,50	8,85
Turbidez	NTU	100,00	-	19,80	30,55	15,73	11,33	11,47	5,24	18,60	18,42	28,07	14,12	23,95	25,24	18,30

<sup>(1)</sup> Padrão de qualidade de águas doces de classe 2 segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005.

<sup>(2)</sup> Padrão de qualidade de águas para lançamento de efluente segundo a Resolução CONAMA n° 430/2011.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 8 – Resultados da análise de água superficiais período chuvoso (2º Grupo).

Variáveis de Qualidade	Unidade	Padrão (1)	Padrão (2)	Médias dos resultados das amostragens dos períodos de dez/20 e dez/21												
				C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
Ca <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	3,79	3,90	6,28	3,54	3,34	3,73	4,79	8,16	27,90	3,53	3,19	3,99	6,31
Ca	mgL <sup>-1</sup>	-	-	3,79	4,09	6,44	3,67	3,47	3,90	4,99	8,29	28,30	3,71	3,48	4,21	6,71
C	mgL <sup>-1</sup>	-	-	3,20	2,25	2,17	2,07	1,97	1,15	1,20	2,20	1,80	2,33	2,65	1,50	3,35
Mg <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	2,02	1,90	1,99	1,41	1,60	1,87	1,08	3,59	9,70	1,41	1,72	2,28	2,83
Mg	mgL <sup>-1</sup>	-	-	2,04	1,95	3,18	2,44	2,64	2,12	1,09	3,82	9,85	2,30	1,84	2,34	2,87
Mo <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mo	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K <sup>+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,60	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	1,17	0,60	1,00	0,60	0,71	1,29	1,12
K	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,60	0,84	0,60	0,41	0,41	0,60	1,19	0,60	1,03	0,61	0,76	1,46	1,17
Se <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Se	mgL <sup>-1</sup>	0,01	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sup>+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	1,82	2,66	1,52	0,99	0,90	0,87	3,04	4,04	2,38	2,91	1,27	1,83	2,26
Na	mgL <sup>-1</sup>	-	-	1,92	2,82	1,66	1,03	0,94	1,28	3,21	5,40	2,42	3,96	1,32	2,06	4,94
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mgL <sup>-1</sup>	250,00	-	1,00	1,00	99,00	1,00	1,00	15,60	1,00	22,75	14,85	8,73	1,00	1,00	1,00
S <sup>2-</sup>	mgL <sup>-1</sup>	0,30	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura	°C	-	-	20,00	21,50	20,67	21,30	20,30	26,00	18,90	21,50	22,00	26,00	25,70	17,90	23,00

(1) Padrão de qualidade de águas doces de classe 2 segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005.

(2) Padrão de qualidade de águas para lançamento de efluente segundo a Resolução CONAMA n° 430/2011.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 9 – Resultados da análise de água superficiais período chuvoso (3º Grupo).

Variáveis de Qualidade	Unidade	Padrão (1)	Padrão (2)	Médias dos resultados das amostragens dos períodos de dez/20 e dez/21													
				C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	
Al <sup>3+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	0,10	-	0,02	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,05	9,63	0,07	0,08	0,02	0,09
Al	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,02	0,08	0,07	0,04	0,05	0,07	0,25	0,11	10,15	0,15	0,18	0,13	0,17	
Ab <sup>5+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sb	mgL <sup>-1</sup>	0,01	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
As <sup>5+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
As	mgL <sup>-1</sup>	0,01	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ba <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	
Ba	mgL <sup>-1</sup>	0,70	5,00	0,02	0,02	0,02	0,06	0,06	0,01	0,02	0,04	0,03	0,05	0,03	0,04	0,05	
Be <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	
Be	mgL <sup>-1</sup>	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	
Bo <sup>3+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Bo	mgL <sup>-1</sup>	0,50	5,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Cd <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cd	mgL <sup>-1</sup>	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pb <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Pb	mgL <sup>-1</sup>	0,01	0,50	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Co <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,01	17,97	0,34	0,34	0,01	0,01	0,01	0,37	0,34	0,01	0,01	0,01	
Co	mgL <sup>-1</sup>	0,05	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,37	0,01	0,01	0,01	0,01	
Cr <sup>3+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,01	6,67	7,01	7,01	0,01	0,01	0,01	0,01	3,34	0,01	0,01	0,01	
Cr	mgL <sup>-1</sup>	0,05	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Sn <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,20	0,11	10,97	8,27	8,27	0,20	0,20	0,20	0,20	6,73	0,20	0,20	0,20	
Sn	mgL <sup>-1</sup>	-	4,00	0,20	0,11	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	
Fe <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	0,30	15,00	5,84	1,71	0,92	1,00	0,50	0,10	0,43	1,09	0,98	0,39	0,65	0,20	1,18	

Tabela 9 – Continuação...

Fe	mgL <sup>-1</sup>	-	-	5,85	1,86	1,40	1,06	0,56	0,10	1,04	1,55	1,86	0,43	0,92	0,85	1,42
F <sup>-</sup>	mgL <sup>-1</sup>	1,40	10,00	0,05	0,05	0,65	0,35	0,35	0,06	0,09	0,05	4,82	0,08	0,05	0,07	0,05
Li <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	1,25	0,06	0,03	0,03	0,03
Li	mgL <sup>-1</sup>	2,50	-	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	1,26	0,03	0,03	0,03	0,03
Mn <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	1,00	0,28	0,11	1,35	1,51	1,53	0,50	0,03	0,13	0,69	1,12	0,80	0,12	0,52
Mn	mgL <sup>-1</sup>	0,10	-	0,28	0,11	0,25	1,02	1,04	0,56	0,03	0,21	0,70	0,31	0,83	0,15	0,52
Hg <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,11	0,75	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00
Hg	mgL <sup>-1</sup>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,32	0,01	0,01	0,01	0,01
Ni	mgL <sup>-1</sup>	0,03	2,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,33	0,01	0,01	0,01	0,01
Ag <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ag	mgL <sup>-1</sup>	0,01	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
U <sup>3+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
U	mgL <sup>-1</sup>	0,02	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,02	0,08	0,06	0,02	0,02	0,03	0,02	0,29	0,40	0,66	0,02	0,06	0,24
Zn	mgL <sup>-1</sup>	0,18	5,00	0,02	0,08	0,08	0,02	0,02	0,03	0,02	0,40	0,42	0,82	0,02	0,08	0,94

<sup>(1)</sup> Padrão de qualidade de águas doces de classe 2 segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005.

<sup>(2)</sup> Padrão de qualidade de águas para lançamento de efluente segundo a Resolução CONAMA n° 430/2011.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 10 – Resultados da análise de água superficiais período de seca (1º Grupo).

Variáveis de Qualidade	Unidade	Padrão <sup>(1)</sup>	Padrão <sup>(2)</sup>	Médias dos resultados das amostragens dos períodos de ago/21 e jul/22												
				C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
AB	mgL <sup>-1</sup>	-	-	21,63	23,97	34,05	24,30	35,80	23,50	19,20	57,13	4,00	27,95	24,03	26,75	33,83
Cloreto	mgL <sup>-1</sup>	250,00	-	0,79	0,88	1,30	1,23	1,30	1,35	2,32	1,18	6,11	1,26	0,82	1,22	0,82
CE	µScm <sup>-1</sup>	-	-	28,00	25,34	52,00	42,50	51,50	41,50	66,00	118,33	279,50	57,00	33,34	55,00	40,67
Cor Verdadeira	mgL <sup>-1</sup>	75,00	-	19,87	25,30	12,00	10,00	13,50	10,00	19,67	10,33	10,00	12,00	23,93	10,50	37,07
DBO	mgL <sup>-1</sup>	5,00	-	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	2,00
DQO	mgL <sup>-1</sup>	-	-	18,33	18,33	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	29,00	26,00	18,33	26,00	18,33
Dureza Total	mgL <sup>-1</sup>	-	-	20,27	21,23	31,00	18,85	33,50	22,55	16,00	51,73	139,10	23,05	20,90	24,40	30,73
Nitrato (N)	mgL <sup>-1</sup>	10,00	-	0,04	0,09	0,08	0,06	0,12	0,06	0,65	0,07	3,80	0,13	0,05	0,52	0,05
Nitrito (N)	mgL <sup>-1</sup>	1,00	-	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02
Óleos e Graxas	mgL <sup>-1</sup>	V.A.	-	1,67	1,67	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	1,67	2,50	1,67
Ortofosfato (P)	mgL <sup>-1</sup>	-	-	1,23	0,84	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,84	0,01	0,84
OD	mgL <sup>-1</sup>	>5	-	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
pH In Situ	-	6-9	5-9	6,51	6,76	6,47	6,85	6,74	6,67	6,60	6,73	3,89	7,20	6,63	6,32	6,91
SDT	mgL <sup>-1</sup>	500,00	-	64,03	54,23	77,25	59,00	281,00	55,50	67,00	103,33	267,00	73,15	57,93	76,15	93,50
SST	mgL <sup>-1</sup>	-	-	15,27	13,10	17,75	8,85	22,50	18,50	36,33	20,50	9,50	16,50	8,47	7,50	10,67
Turbidez	NTU	100,00	-	20,40	17,10	12,40	33,60	10,99	3,25	37,13	20,45	6,21	5,82	15,61	5,58	18,37

<sup>(1)</sup> Padrão de qualidade de águas doces de classe 2 segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005.<sup>(2)</sup> Padrão de qualidade de águas para lançamento de efluente segundo a Resolução CONAMA n° 430/2011.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 11 – Resultados da análise de água superficiais período de seca (2º Grupo).

Variáveis de Qualidade	Unidade	Padrão <sup>(1)</sup>	Padrão <sup>(2)</sup>	Médias dos resultados das amostragens dos períodos de ago/21 e jul/22												
				C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
Ca <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	2,78	3,60	6,32	3,95	5,97	4,51	4,54	10,76	35,40	4,40	3,53	4,61	7,46
Ca	mgL <sup>-1</sup>	-	-	3,45	3,97	6,55	4,35	6,28	4,55	4,66	10,97	38,40	4,73	3,67	4,94	7,58
C	mgL <sup>-1</sup>	-	-	2,07	1,47	0,50	0,60	0,60	0,50	1,97	1,13	1,75	0,55	1,00	0,70	1,63
Mg <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	1,23	1,37	3,49	2,14	4,31	2,71	1,06	5,83	10,20	2,78	1,49	2,87	2,12
Mg	mgL <sup>-1</sup>	-	-	1,88	1,99	3,56	2,18	4,35	2,75	1,09	5,92	13,50	2,90	2,17	2,94	3,34
Mo <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mo	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K <sup>+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,60	0,72	0,60	0,60	0,60	0,60	1,17	0,60	1,73	0,64	0,60	1,52	0,82
K	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,60	0,85	0,60	0,60	0,60	0,60	1,25	0,62	2,07	0,71	0,60	1,81	0,89
Se <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Se	mgL <sup>-1</sup>	0,01	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sup>+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	2,71	2,70	2,23	2,41	2,22	1,83	2,72	3,39	3,35	2,43	2,07	2,08	2,37
Na	mgL <sup>-1</sup>	-	-	2,92	2,83	2,37	2,52	3,06	1,92	2,86	3,60	3,47	2,48	2,12	2,21	2,46
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mgL <sup>-1</sup>	250,00	-	1,00	1,22	1,00	1,00	1,00	2,71	1,59	1,51	17,70	1,40	1,55	1,00	1,13
S <sup>2-</sup>	mgL <sup>-1</sup>	0,30	1,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura	°C	-	-	12,17	13,57	14,40	12,55	14,65	16,90	19,60	16,17	20,40	13,70	18,27	14,80	16,70

<sup>(1)</sup> Padrão de qualidade de águas doces de classe 2 segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005.

<sup>(2)</sup> Padrão de qualidade de águas para lançamento de efluente segundo a Resolução CONAMA n° 430/2011.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 12 – Resultados da análise de água superficiais período de seca (3º Grupo).

Variáveis de Qualidade	Unidade	Padrão (1)	Padrão (2)	Médias dos resultados das amostragens dos períodos de ago/21 e jul/22													
				C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	
Al <sup>3+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	0,10	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,07	0,02	23,75	0,02	0,02	0,02	0,03
Al	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,02	0,13	0,02	0,02	0,03	0,02	0,19	0,05	26,80	0,02	0,13	0,04	0,08	
Ab <sup>5+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sb	mgL <sup>-1</sup>	0,01	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
As <sup>5+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
As	mgL <sup>-1</sup>	0,01	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ba <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,11	0,02	0,03	0,04	
Ba	mgL <sup>-1</sup>	0,70	5,00	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,11	0,03	0,03	0,05	
Be <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
Be	mgL <sup>-1</sup>	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
Bo <sup>3+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Bo	mgL <sup>-1</sup>	0,50	5,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Cd <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cd	mgL <sup>-1</sup>	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pb <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Pb	mgL <sup>-1</sup>	0,01	0,50	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Co <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,34	0,88	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,76	0,01	0,34	0,01	0,34	
Co	mgL <sup>-1</sup>	0,05	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,78	0,01	0,01	0,01	0,01	
Cr <sup>3+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	3,34	4,34	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	3,34	0,01	8,67	
Cr	mgL <sup>-1</sup>	0,05	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Sn <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	5,07	5,37	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	5,87	0,20	10,77	
Sn	mgL <sup>-1</sup>	-	4,00	0,20	0,14	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	
Fe <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	0,30	15,00	3,09	0,52	0,65	1,11	0,14	0,10	0,86	4,10	0,10	0,51	0,44	0,12	1,04	

Tabela 12 – Continuação...

Fe	mgL <sup>-1</sup>	-	-	3,64	1,10	1,17	2,96	0,45	0,10	1,17	4,63	0,10	0,76	1,13	0,31	1,71
F <sup>-</sup>	mgL <sup>-1</sup>	1,40	10,00	0,73	0,51	0,09	0,09	0,09	0,11	0,08	0,09	7,02	0,09	0,56	0,09	0,44
Li <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	2,04	0,03	0,04	0,03	0,04
Li	mgL <sup>-1</sup>	2,50	-	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	2,92	0,03	0,03	0,03	0,03
Mn <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	1,00	0,71	0,64	0,13	0,18	0,33	0,65	0,05	0,21	1,44	0,85	1,16	0,07	1,50
Mn	mgL <sup>-1</sup>	0,10	-	0,10	0,10	0,14	0,18	0,37	0,73	0,06	0,22	1,65	0,89	0,79	0,08	0,44
Hg <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,05
Hg	mgL <sup>-1</sup>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	2,39	0,01	0,01	0,01	0,01
Ni	mgL <sup>-1</sup>	0,03	2,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	2,46	0,01	0,01	0,01	0,01
Ag <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ag	mgL <sup>-1</sup>	0,01	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
U <sup>3+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
U	mgL <sup>-1</sup>	0,02	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn <sup>2+</sup>	mgL <sup>-1</sup>	-	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,83	0,02	0,02	0,02	0,02
Zn	mgL <sup>-1</sup>	0,18	5,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	1,38	0,02	0,02	0,02	0,02

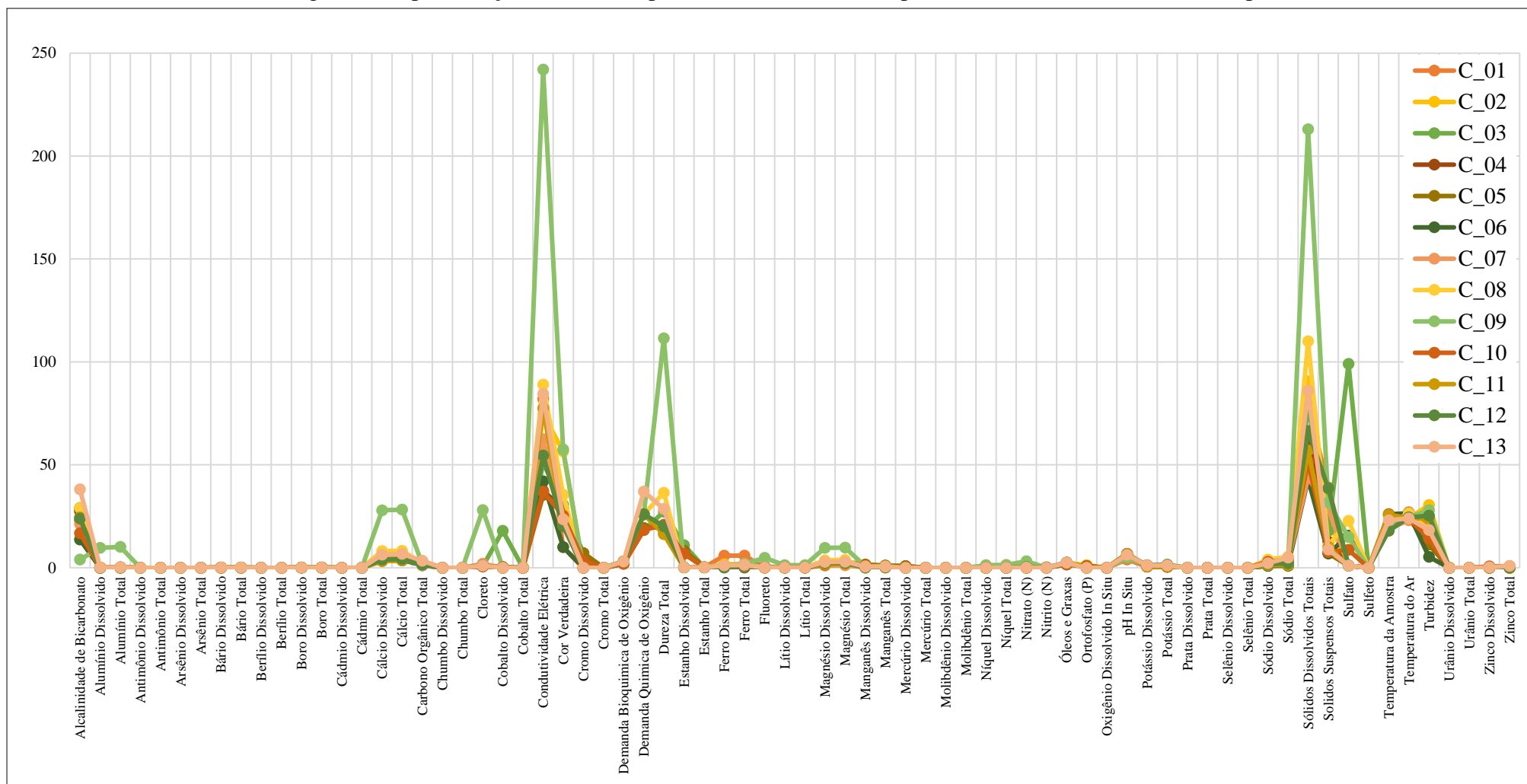
<sup>(1)</sup> Padrão de qualidade de águas doces de classe 2 segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005.

<sup>(2)</sup> Padrão de qualidade de águas para lançamento de efluente segundo a Resolução CONAMA n° 430/2011.

Fonte: Do autor (2022).

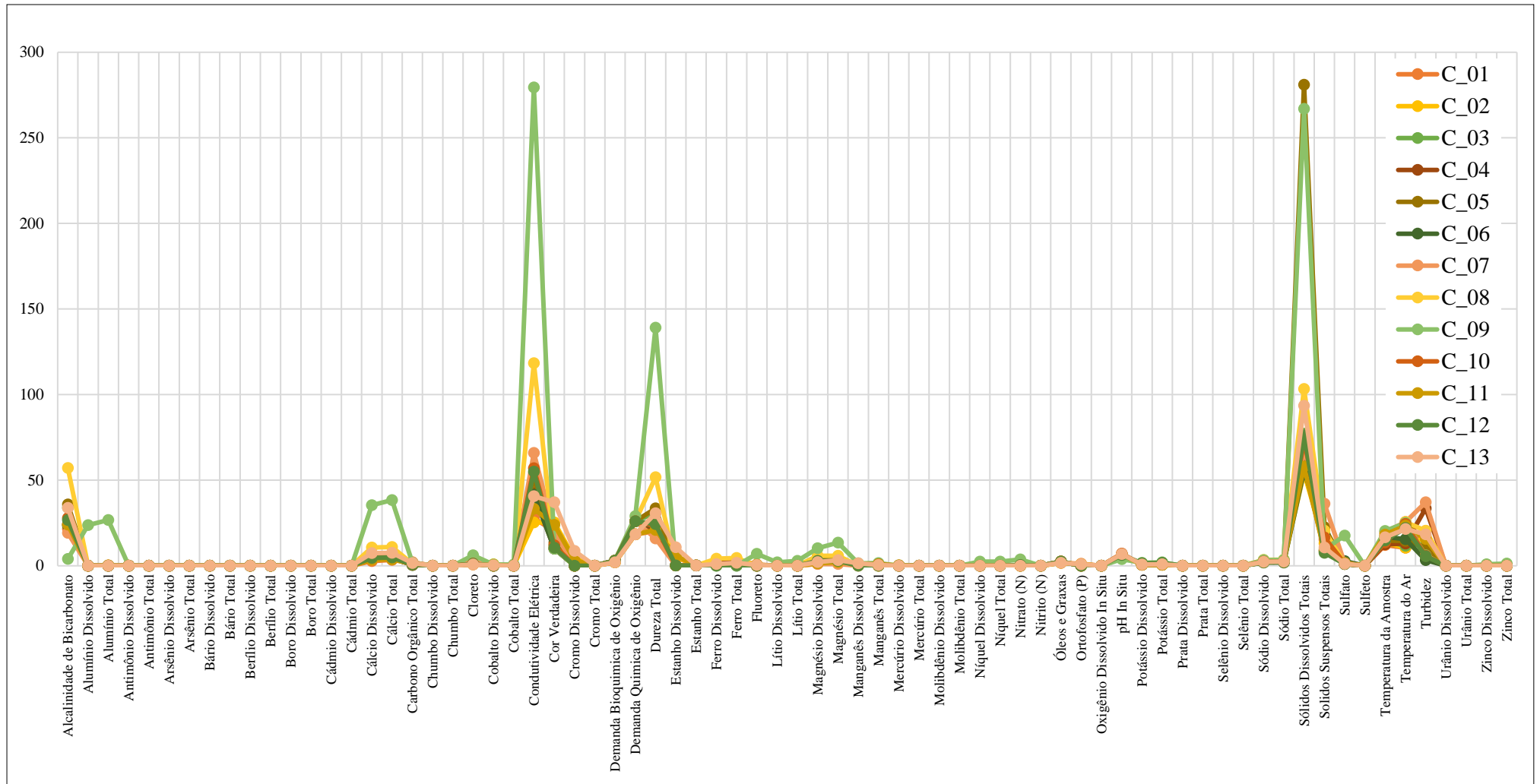


Figura 8 – Apresentação de todos os parâmetros analisados no período chuvoso nos mananciais superficiais.



Fonte: Do autor (2022).

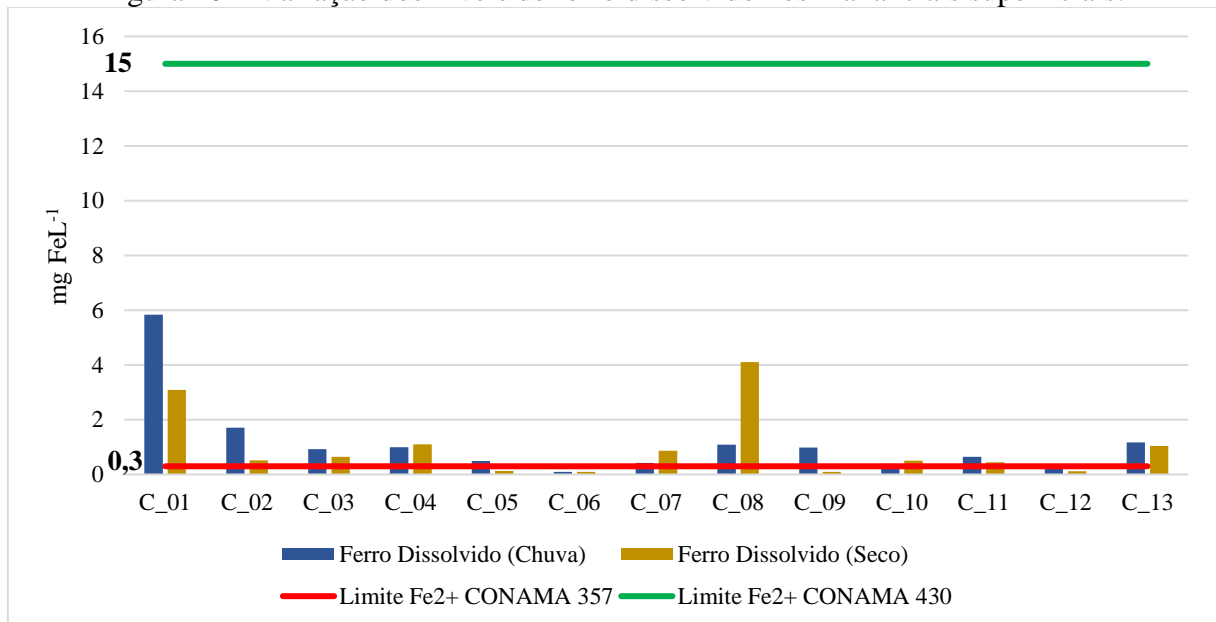
Figura 9 – Apresentação de todos os parâmetros analisados no período de seca nos mananciais superficiais.



Fonte: Do autor (2022).

Antagonicamente ao comportamento dos poços subterrâneos, os mananciais superficiais tiveram uma concentração maior na concentração de ferro dissolvido ( $\text{Fe}^{2+}$ ). A Figura 10 apresenta os dados compilados dos dois ciclos hidrológicos em cada manancial coletado (C\_01 ao C\_13) e é possível perceber o manancial superficial C\_06 tiveram seu parâmetro abaixo dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357, que é  $0,3 \text{ mgL}^{-1}$ , demais pontos, ao menos uma vez entre os dois ciclos hidrológico tiveram os valores das médias da variável de qualidade de ferro dissolvido maior que o limite máximo estabelecido na resolução citada. Quando comparado em relação aos parâmetros de lançamento de efluente, todos os locais estudados apresentaram valores abaixo dos limites estabelecidos na resolução CONAM nº430 que é de  $15 \text{ mgL}^{-1}$ .

Figura 10 – Variação dos níveis de ferro dissolvido nos mananciais superficiais.

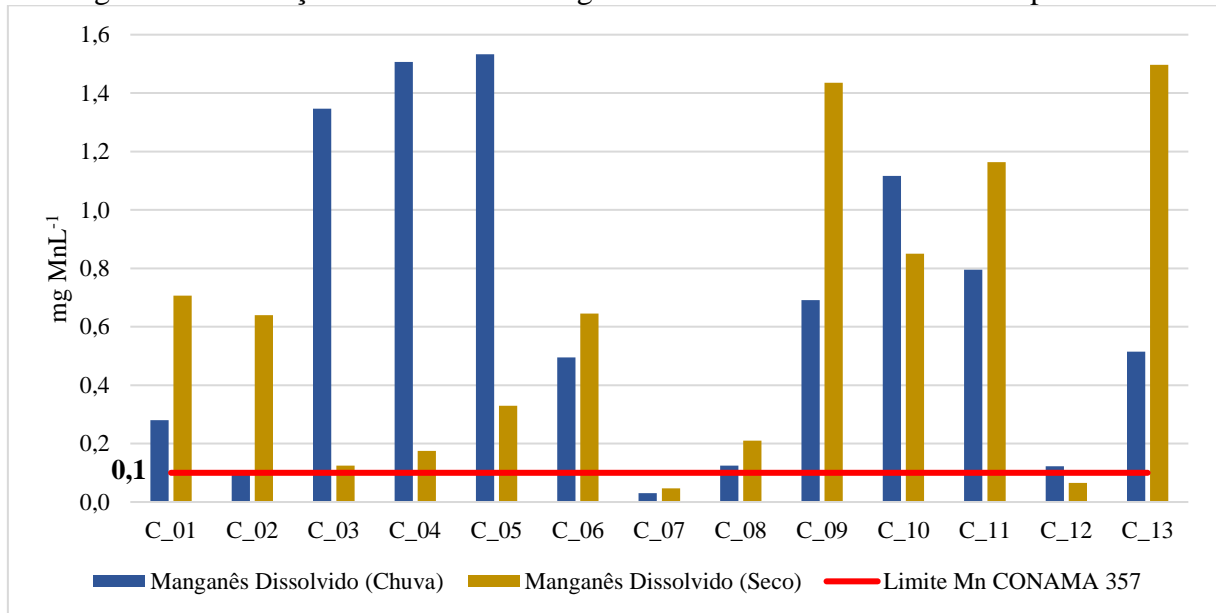


Fonte: Do autor (2022).

Por outro lado, a presença da variável de qualidade de manganês dissolvido ( $\text{Mn}^{2+}$ ) mostrou-se fortemente presente nas águas, motivados essa presença pela litologia local sendo fontes presentes desse mineral dissolvido (Lottermoser, 2007). Com exceção do manancial C\_07, todos os demais mananciais superficiais apresentaram valores acima do limite estabelecidos pela resolução CONAMA 357 para classificação de águas doces classe 2 ao menos em um período do ciclo hidrológico, o que pressupõe o forte intemperismo e lixiviação para a drenagem local. Com exceção do manancial C\_07, todos os demais mananciais superficiais apresentaram valores acima de  $0,1 \text{ mgL}^{-1}$ , limite estabelecidos pela resolução

CONAMA 357 para classificação de águas doces classe 2 ao menos em um período do ciclo hidrológico, o que pressupõe o forte intemperismo lixiviados para a drenagem local.

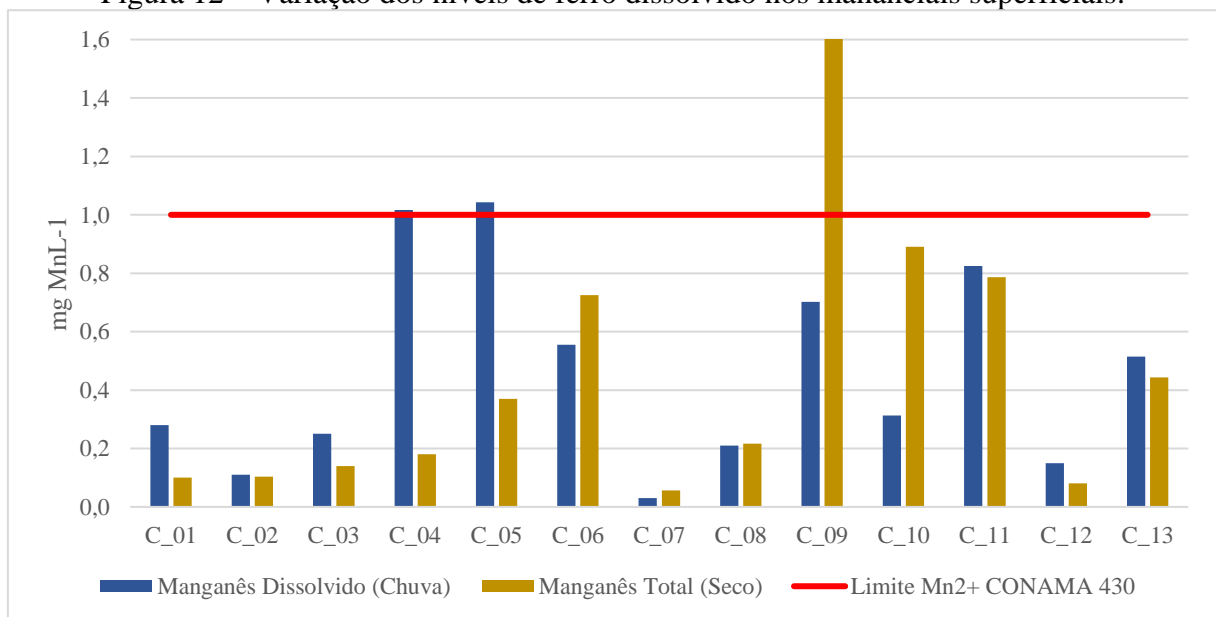
Figura 11 – Variação dos níveis de manganês dissolvido nos mananciais superficiais.



Fonte: Do autor (2022).

Como não há limites para lançamento de efluentes para a variável de manganês dissolvido, analisou-se ainda os limites permitidos para lançamento da variável manganês total (Mn), Figura 12.

Figura 12 – Variação dos níveis de ferro dissolvido nos mananciais superficiais.



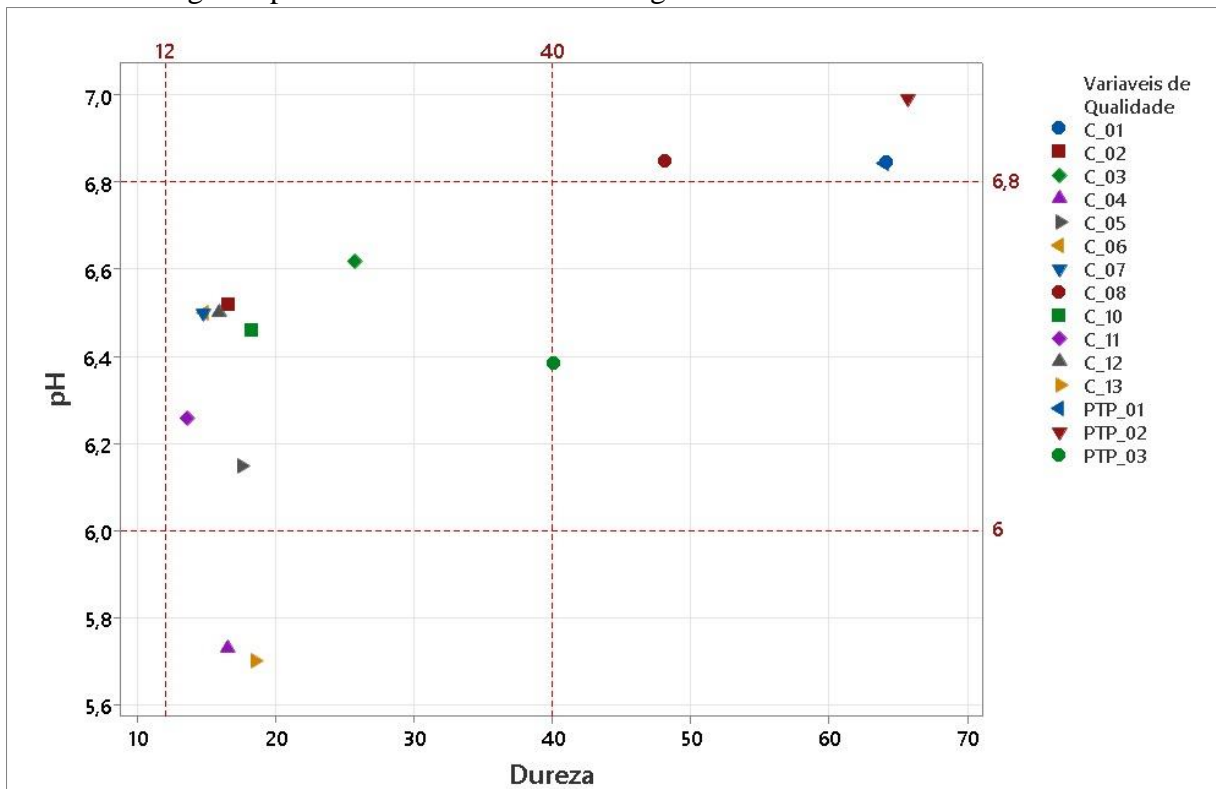
Fonte: Do autor (2022).

Os limites extrapolados aconteceram em dois mananciais em período chuvoso e um manancial no período de estiagem, sendo eles C\_04 e C\_05, período de chuvas e o C\_09 no período de estiagem. Os valores de do período chuvoso apresentou muito próximo dos padrões de referência, contudo destaca-se que esses valores são para lançamento de efluentes, o que em condições normais deveriam estar abaixo de  $1,0 \text{ mgL}^{-1}$ , o que demonstra que em períodos de maior pluviosidade há um aumento na concentração variável de manganês total, ultrapassando os padrões pré-estabelecidos em legislações para lançamento de efluentes, ou seja, um manancial de água doce classe 2 apresenta teores de manganês total superior aos definidos para lançamento de efluente, chamando atenção para a validação de modelos estáticos para definição de padrões para lançamento sem levar em consideração fatores de entrada que podem interferir nos resultados medidos, ou seja, apresentando assim potencialmente falsos negativos.

### 5.3. Avaliação do equilíbrio do ciclo do carbono em águas

Ao observar a Figura 13, nota-se que uma boa parte dos valores de pH resultantes das análises das águas superficiais e subterrâneas da região de mineração estão entre 6,0 e 6,8.

Figura 13 – Relação do pH e da concentração de bicarbonato para diferentes pontos de coleta de água superficiais e subterrâneas na região estudada.

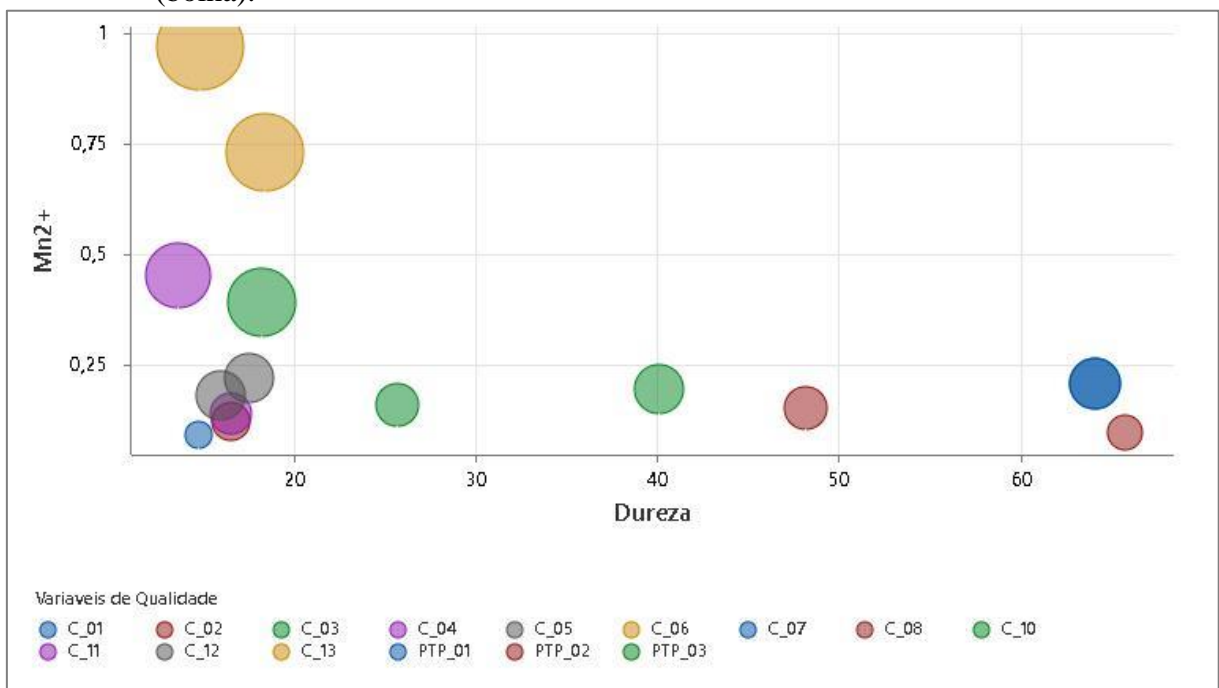


Fonte: Do autor (2022).

Dos pontos de coleta pode-se observar que em média 60% encontram com valores de pH entre 6,0 e 6,8, e concomitante a níveis de bicarbonato entre 12 e 45 mgL<sup>-1</sup>, o que representa 75% dos pontos. Considerando que nesta faixa de pH grande parte são íons de bicarbonato, há uma grande associação da precipitação dos íons de manganês presentes no meio aquoso a partir dessas espécies presentes (Silva *et al.*, 2012).

Como a variação de pH para os corpos d'água é pequena, é possível relacionar uma elevada correlação negativa entre os teores de manganês livre e a concentração dos íons de bicarbonato (dureza), tudo isso correlacionado ao tamanho das bolhas representando o teor de manganês total, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Relação da concentração dos íons de manganês presentes na forma aquosa com teores de bicarbonatos (dureza) para diferentes pontos de coleta de água superficiais e subterrâneas na região de mineração correlacionados ao teor de manganês total (bolha).



Fonte: Do autor (2022).

Neste processo, carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ou dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), presente em meio aquoso, favoreceu a formação e precipitação de carbonatos dos metais. Esta reação, de maneira geral, ocorre em valores de pH inferiores aos da precipitação de hidróxidos (Mangrich *et al.*, 2014). Além disso, é possível verificar que há uma região gráfica onde grande parte da concentração do carbonato está inversamente relacionado com as concentrações de manganês, possuindo apenas alguns *outliers* como referente ao C\_01 e C\_02. Neste *outlier* há

uma elevada concentração de bicarbonato, o que poderia incidir em possível precipitação do manganês, diminuindo assim sua concentração como espécie dissolvida.

Neste caso, a solubilidade do metal depende diretamente da concentração de gás carbônico em solução e indiretamente do valor do pH, uma vez que o CO<sub>2</sub> em fase líquida se distribui em H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (Saúde, 2004). A precipitação do Manganês ocorre com pH maior que 6,5, dependendo da concentração de dióxido de carbono presente ao meio aquoso. Quando comparada com a precipitação do hidróxido, a porcentagem de carbonato se mostra muito mais seletiva ao manganês (Domingues *et al.*, 2006).

Em virtude da verificação da elevada correlação entre teores de carbono em suas diversas formas no corpo hídrico, bem como pH nas concentrações de manganês dissolvido foi possível realizar uma análise fatorial com extração dos componentes por método dos componentes principais e rotação varimax destes fatores conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Matriz de peso fatorial das variáveis da qualidade de água superficial e subterrânea observadas no estudo referente aos cinco Componentes Principais selecionados (PC).

Variáveis	PC1	PC2	Percentual de Explicação
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	<b>0,936</b>	0,189	<b>0,912</b>
pH	<b>0,769</b>	0,241	<b>0,650</b>
Condutividade Elétrica (CE)	<b>0,897</b>	0,039	<b>0,806</b>
Manganês Dissolvido (Mn <sup>2+</sup> )	-0,177	<b>-0,981</b>	<b>0,993</b>
Manganês Total (Mn)	-0,156	<b>-0,984</b>	<b>0,992</b>
Variância	2,3278	2,0249	<b>4,528</b>
Variância (%)	0,466	0,405	<b>0,871</b>

Fonte: Do autor (2022).

Na Tabela 13, podem ser visualizadas as cargas para cada variável monitorada. Essas cargas refletem a importância relativa de cada variável responsável por um componente principal específico: quanto maior o carregamento de uma variável, maior será a contribuição para representar o principal componente.

As variáveis dos Componentes Principais (PC1 e PC2) em conjunto representaram 87,1% da variabilidade dos dados acumulados no período de estudo entre os dois ciclos hidrológicos. No Componente Principal 1 (PC1), representadas pela concentração de carbonatos (CaCO<sub>3</sub>), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE), contribui respectivamente com 93,6%, 76,9% e 89,7% da explicação da tendência da variabilidade das concentrações de manganês presentes nos corpos receptores. Por outro lado, no Componente Principal 2, o manganês dissolvido (Mn<sup>2+</sup>) e o manganês total (Mn) foram as variáveis que

tiveram maior contribuição na explicação da tendência dos valores observados, 98,1% e 98,4%, respectivamente, ou seja, a concentração de manganês depende da concentração presente ao meio, que está relacionado com as variáveis apresentadas pelo Componente Principal 1.

Outro ponto importante que cabe destacar, é que as concentrações de manganês dissolvidos no meio estão diretamente relacionados com os teores de carbono em suas formas alotrópicas, possuindo correlações negativas quando analisou-se juntamente com espécies de manganês dissolvido nos corpos hídricos. Sendo assim, os parâmetros de qualidade de água poderiam considerar modelos mais dinâmicos, ou seja, modelos que consideram as diversas variáveis (taxa pluviométrica, litologia local entre outras) que podem contribuir potencialmente para alteração da biota aquática.

É de extrema importância que estas variáveis possam ser analisadas juntamente com os parâmetros de qualidade da água, principalmente em regiões de anomalias geológicas, especialmente devido à grande concentração de determinados componentes minerais que possam ser lixiviados. Indubitavelmente, há uma grande necessidade de se conhecer a litologia local, para que também, ela esteja associada aos parâmetros de controle estipulados pelos órgãos de regulamentação ambiental.



## 6. CONCLUSÃO

Em virtude do estudo, é possível verificar que em determinadas regiões, devido a litologia do solo, alguns metais podem estar disponíveis em corpos d'água em concentrações mais elevadas, podendo ser por questões de lixiviação do solo, estado de oxidação desses metais e pH. Foi possível verificar que o único parâmetro em concentrações fora dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011 foi o manganês, sendo a região analisada caracterizada por inúmeras jazidas de minerais com manganês e grandes ocorrências de gonditos. Além disso, com a constatação da variação de carbonatos no meio aquoso dos corpos d'água, foi possível averiguar o aumento da possibilidade de entropia do sistema, e consequentemente, podendo ocorrer precipitação do manganês presente no meio aquoso.

De ante as análises, um diagnóstico inicial do *background* para águas poderá direcionar um melhor controle dos efluentes de empreendimento instalado em locais com a anomalias geológicas, podendo ainda verificar que, limites estabelecidos nas regulamentações ambientais podem ter significância variação devido a litologia, resultando em padrões anômalos a legislação e normais ao meio ao qual está instalado.

## REFERÊNCIAS

- ABASCAL, E., GÓMEZ-COMA, L., ORTIZ, I., ORTIZ, A., 2022. Global diagnosis of nitrate pollution in groundwater and review of removal technologies. **Science of The Total Environment**. 810. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152233>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Hidroweb – **Sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em 26 Set. 2022.
- ALESSIO, Lorenzo; CAMPAGNA, Marcello; LUCCHINI, Roberto. From lead to manganese through mercury: mythology, science, and lessons for prevention. **American journal of industrial medicine**, v. 50, n. 11, p. 779-787, 2007.
- ASSUMPCÃO, Caymon de Siqueira. **Caracterização mineralógica e geoquímica do pegmatito da Mina de Volta Grande, Província Pegmatítica de São João Del Rei, Nazareno, Minas Gerais**. Dissertação (Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais), Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 88. 2015.
- ASTUTI, R.D.P., MALLONGI, A., RAUF, A.U., 2021. Natural enrichment of chromium and nickel in the soil surrounds the karst watershed. **Global Journal of Environmental Science and Management**. 7, 1–18. <https://doi.org/10.22034/GJESM.2021.03.05>
- ÁVILA, Ciro A. **Geologia, petrografia e geocronologia de corpos plutônicos Paleoproterozóicos da borda meridional do Cráton São Francisco, região de São João del Rei, Minas Gerais**. Rio de Janeiro. 401p. Tese (Doutorado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.
- BADOLA, N., BAHUGUNA, A., SASSON, Y., CHAUHAN, J.S., 2022. Microplastics removal strategies: A step toward finding the solution. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**. 16, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11783-021-1441-3>

BALARAM, V.; RANI, A.; RATHORE, D. P. S. Uranium in groundwater in parts of India and world: A comprehensive review of sources, impact to the environment and human health, analytical techniques, and mitigation technologies. **Geosystems and Geoenvironment**, p. 100043, 2022.

BARZEGAR, R., ASGHARI MOGHADDAM, A., TZIRITIS, E., 2016. Assessing the hydrogeochemistry and water quality of the Aji-Chay River, northwest of Iran. **Env Environmental earth sciences**. 75. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6302-1>

BOAVENTURA, G.R., DE FREITAS, A.L.S., 2006. Inorganic parameters as water quality indicators in acidic groundwater in a tropical region - Brasilia-DF (Brazil). **Water, Air, & Soil Pollution**. 171, 135–151. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-9023-8>

BONDU, Raphaël; CLOUTIER, Vincent; ROSA, Eric. Occurrence of geogenic contaminants in private wells from a crystalline bedrock aquifer in western Quebec, Canada: geochemical sources and health risks. **Journal of hydrology**, v. 559, p. 627-637, 2018.

BONIFÁCIO, C.M., NÓBREGA, M.T. de, 2021. Parâmetros de qualidade da água no monitoramento ambiental. **Recursos Hídricos gestão, Planejamento e técnicas em Pesquisa**. 219–232. <https://doi.org/10.37885/210805810>

BRANDÃO, Carlos Jesus; BOTELHO, Marcia Janete Coelho; SATO, Maria Inês Zanolli. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. In: **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. 2011. p. 325-325.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] União**:, n. 85, p. 127-127, 2021.

BRASIL, Lei. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. **Diário Oficial da União**, n. 66, p. 64-68, 2008.

BRASIL. Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, v. 18, n. mar, p. 58-63, 2005.

CALVO, A., DÉVÉNYI, D., KÓSZÓ, B., SANZ, S., OELBERMANN, A. L., MAIER, M., KEVE, T., KOMKA, K., GAMSE, T., WEIDNER, E., SZÉKELY, E., 2017. Controlling concentration of bioactive components in cat's claw based products with a hybrid separation process. **The Journal of Supercritical Fluids**. 125, 50–55.

<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.01.018>

CANPOLAT, Ö., VAROL, M., OKAN, Ö.Ö., ERIŞ, K.K., ÇAĞLAR, M., 2020. A comparison of trace element concentrations in surface and deep water of the Keban Dam Lake (Turkey) and associated health risk assessment. **Environmental Research**. 190.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110012>

CARUSO, B.S., MIRTSKHULAVA, M., WIREMAN, M., SCHROEDER, W., KORNILOVICH, B., GRIFFIN, S., 2012. Effects of Manganese Mining on Water Quality in the Caucasus Mountains, Republic of Georgia. **Mine Water and the Environment**. 31, 16–28. <https://doi.org/10.1007/s10230-011-0163-3>

CHEN, S., WU, C., HONG, S., CHEN, Q., 2020. Assessment, distribution and regional geochemical baseline of heavy metals in soils of densely populated area: A case study. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 17.

<https://doi.org/10.3390/ijerph17072269>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução No. 430, de 13 de maio de 2011; Dispõe sobre as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, Complementa e Altera a Resolução No. 357, de 17 de Março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial [da] União**, n. 92, p. 89-89, 2011.

COSTA, C.S.D., DA SILVA, M.G.C., VIEIRA, M.G.A., 2018. Investigation of the simultaneous biosorption of toxic metals through a mixture design application. **Journal of Cleaner Production**. 200, 890–899. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.314>

DAS, D., CHARUMATHI, D., DAS, N., 2011. Bioaccumulation of the synthetic dye Basic Violet 3 and heavy metals in single and binary systems by *Candida tropicalis* grown in a sugarcane bagasse extract medium: Modelling optimal conditions using response surface methodology (RSM) and inhibition kinet. **Journal of Hazardous Materials**. 186, 1541–1552. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.038>

DOMINGUES, A.F., BOSON, P. HELENA G., ALÍPAZ, S., 2006. A gestão dos recursos hídricos e a mineração. **Brasília: ANA, Ibram**, 334.

FARJANA, S.H., HUDA, N., MAHMUD, M.A.P., LANG, C., 2019. A global life cycle assessment of manganese mining processes based on EcoInvent database. **Science of the Total Environment**. 688, 1102–1111. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.184>

FERNÁNDEZ-NARANJO, F.J., ARRANZ-GONZÁLEZ, J.C., RODRÍGUEZ-GÓMEZ, V., RODRÍGUEZ-PACHECO, R.L., VADILLO, L., 2020. Geochemical anomalies for the determination of surface stream sediments pollution: case of Sierra de Cartagena-La Unión mining district, Spain. **Environmental Monitoring and Assessment**. 192. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8199-0>

FERNANDO, W.A.M., ILANKOON, I.M.S.K., SYED, T.H., YELLISHETTY, M., 2018. Challenges and opportunities in the removal of sulphate ions in contaminated mine water: A review. **Minerals Engineering**. 117, 74–90. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.12.004>

FERREIRA, Paulo Ernani Martins Ferreira. **Estudo dos Rompimentos de Barragens de Rejeitos no Estado De Minas Gerais**. TCC (Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Unilavras, Centro Universitário de Lavras. Lavras, p. 34. 2020.

GAO, Q., LI, Y., CHENG, Q., YU, M., HU, B., WANG, Z., YU, Z., 2016. Analysis and assessment of the nutrients, biochemical indexes and heavy metals in the Three Gorges Reservoir, China, from 2008 to 2013. **Water Research**. 92, 262–274. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.12.055>

GOLDANI, Eduardo. **Utilização de argilas na remoção de Mn e Fe de efluentes gerados pela atividade mineradora de carvão**. Dissertação (Pós-graduação em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 69. 2007.

GONÇALVES, G.M.C., LIMA, R.M.F., 2020. Proposal for an environmentally sustainable beneficiation route for the amphibolitic itabirite from the quadrilátero ferrífero-Brazil. **Minerals** 10, 1–13. <https://doi.org/10.3390/min10100897>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2002. Disponível em: [https://geofp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map\\_BR\\_clima\\_2002.pdf](https://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf) Acesso em: 8 jun. 2022.

IOANA-ALINA, C., 2019. Composting solid municipal waste, a determinant process for an integrated waste management. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2019. p. 012134.

JAKÓBCZYK-KARPIERZ, S., ŚLÓSARCZYK, K., 2022. Isotopic signature of anthropogenic sources of groundwater contamination with sulfate and its application to groundwater in a heavily urbanized and industrialized area (Upper Silesia, Poland). **Journal of Hydrology**. 612. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128255>

JIANG, Jing *et al.* Metal inhibition on the reactivity of manganese dioxide toward organic contaminant oxidation in relation to metal adsorption and ionic potential. **Chemosphere**, v. 170, p. 95-103, 2017.

KIRACOFE, Zachary A.; HENIKA, William S.; SCHREIBER, Madeline E. Assessing the geological sources of manganese in the Roanoke River Watershed, Virginia. **Environmental and Engineering Geoscience**, v. 23, n. 1, p. 43-64, 2017.

KOKI, I.B., LOW, K.H., ZAIN, S.M., JUAHIR, H., BAYERO, A.S., AZID, A., ZALI, M.A., 2020. Spatial variability in surface water quality of lakes and ex-mining ponds in malacca,

malaysia: The geochemical influence. **Desalination and Water Treatment**. 197, 319–327. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25982>

LI, L., WU, J., LU, J., LI, K., ZHANG, X., MIN, X., GAO, C., XU, J., 2022. Water quality evaluation and ecological-health risk assessment on trace elements in surface water of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 241, 113775. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113775>

LIAO, Y., CHEN, C., LIN, J., JIN, Z., XU, Y., LI, X., 2017. Recovery of humic substances from leachate nanofiltration concentrate by a two-stage process of tight ultrafiltration membrane. **Journal of cleaner production**. 161, 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.095>

LIN, C.Y., MOHAMMAD ALI, B.N., TAIR, R., MUSTA, B., ABDULLAH, M.H., CLEOPHAS, F., ISIDORE, F., MOHD NADZIR, M.S., ROSELEE, M.H., YUSOFF, I., 2022. Distance impacts toxic metals pollution in mining affected river sediments. **Environmental Research**. 214, 113757. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113757>

LIU, Z., PAN, L., HU, F., HU, Y., 2020. Advanced landfill leachate biochemical effluent treatment using Fe-Mn/AC activates O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> process: process optimization, wastewater quality analysis, and activator characterization. **Environmental Science and Pollution Research**. 27, 15337–15349. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08046-2>

LOTTERMOSER, B.G., 2007. Mine Wastes Characterization, Treatment, Environmental Impacts.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. D. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 5<sup>a</sup> Edição, pp. 3-7, 2010.

MA, Qing *et al.* Environmental risk assessment of metals in the volcanic soil of Changbai Mountain. Environ. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 11, p. 2047, 2019.

MANGRICH, A.S., DOUMER, M.E., MALLMANN, A.S., WOLF, C.R., 2014. Green Chemistry in Water Treatment: Use of Coagulant Derived from *Acacia mearnsii* Tannin Extracts . **Revista Virtual de Química**. 6, 2–15. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20140002>

MARTHA, G., n.d. This document does not substitute for EPA regulations ; nor is it a regulation itself . Thus , it does not and cannot impose legally binding requirements on the EPA , the states , tribes or the regulated community , and may not apply to a particular situa.

MARTINS, Fabrina Bolzan *et al.* Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2018.

MONTGOMERY, D.C., 2013. **Design and Analysis of Experiments**. Eighth Edition, 3rd ed.

MYMRIN, Vsévolod *et al.* Environmentally clean materials from hazardous red mud, ground cooled ferrous slag and lime production waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 161, p. 376-381, 2017.

NAPIER-MUNN, T., 2005. Mineral Processing Technology, Wills' Mineral Processing Technology. <https://doi.org/10.1016/b978-075064450-1/50000-x>

NAVES, F.L., 2019. Normal Boundary Intersection Applied to Controllers in Environmental Controls, in: Rincken, T. (Ed.), **Biosensors for Environmental Monitoring**. IntechOpen, 2019

NAVES, F.L., 2018. Otimização multivariada-multiobjetiva aplicada a processos ambientais. **Novas Edições Acadêmicas**, Riga.

PAIXÃO, K., ABREU, E., LAMAS SAMANAMUD, G.R., BOSCARO FRANÇA, A., ALMEIDA LOURES, C.C., PRADO BASTON, E., LIMA REZENDE NAVES, L., CANELLAS BOSCH, J., NAVES, F.L., 2019. Normal boundary intersection applied in the scale-up for the treatment process of Eriochrome Black T through the UV/TiO<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> system. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. 7, 102801. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.11.045>



PATRICIA, M.F., PURWONO, BUDIARDJO, M.A., 2018. Dose of Biocoagulant-Mixing Rate Combinations for Optimum Reduction of COD in Wastewater. **E3S Web Conferences**. 31, 03018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183103018>

PINTO, M.B., SAMANAMUD, G.R.L., BASTON, E.P., FRANÇA, A.B., NAVES, L.L.R., LOURES, C.C.A., NAVES, F.L., 2019. Multivariate and multiobjective optimization of tannery industry effluent treatment using *Musa sp* flower extract in the coagulation and flocculation process. **Journal of Cleaner Production**. 219, 655–666. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.060>

PRABAKARAN, K., NAGARAJAN, R., ESWARAMOORTHY, S., ANANDKUMAR, A., FRANCO, F.M., 2019. Environmental significance and geochemical speciation of trace elements in Lower Baram River sediments. **Chemosphere**, 219, 933–953. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.158>

PROUDFOOT, Owen *et al.* Manganese in manganism, Parkinson's disease, Huntington's disease, amyotrophic lateral sclerosis, and Batten disease: A narrative review. **Neurology India**, v. 65, n. 6, p. 1241, 2017.

Quéméneur, J. J. G., Ribeiro, A., Trouw, R. A. J., Paciullo, F. V. P., & Heilbron, M. (2003). Geologia da folha Lavras. **Companhia Mineradora de Minas Gerais. Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro. Projeto Sul de Minas—Etapa I. Relatório final. Belo Horizonte, COMIG/UFMG/UFRRJ/UERJ**, v. 1, p. 259-319, 2003.

REZENDE, V.L., 2016. A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. **Sociedade & Natureza**. 28, 375–384. <https://doi.org/10.1590/1982-451320160304>

RINKLEBE, J., ANTONIADIS, V., SHAHEEN, S.M., ROSCHE, O., ALTERMANN, M., 2019. Health risk assessment of potentially toxic elements in soils along the Central Elbe River, Germany. **Environment international**. 126, 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.011>

SALES DE CARVALHO, V., FERREIRA DOS SANTOS, I., ALMEIDA, L.C., TAVARES DE SOUZA, C., BALBINO DA SILVA JÚNIOR, J., SOUZA, L.A., DOS SANTOS, L.O., FERREIRA, S.L.C., 2021. Spatio-temporal assessment, sources and health risks of water pollutants at trace levels in public supply river using multivariate statistical techniques. **Chemosphere** 282, 130942. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130942>

SAMANTARA, M.K., PADHI, R.K., SOWMYA, M., KUMARAN, P., SATPATHY, K.K., 2017. Heavy metal contamination, major ion chemistry and appraisal of the groundwater status in coastal aquifer, Kalpakkam, Tamil Nadu, India. **Groundwater for sustainable development**, 5, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.04.001>

SANTOS, Rodrigo César de Vasconcelos dos. Contribuição do setor mineral no Produto Interno Bruto brasileiro. **Revista Radar**, v. 65. Brasília, 2021.

SAÚDE, M. DA, 2004. MANUAL DE PROCEDIMENTOS DA ÁGUA, Design. Brasília.

SILVA, Adarlene M. *et al.* Treatment of high-manganese mine water with limestone and sodium carbonate. **Journal of Cleaner Production**, v. 29, p. 11-19, 2012.

SOUSA, Rafaela. "Impactos ambientais causados pela mineração"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/os-problemas-gerados-pela-mineracao.htm>. Acesso em 21 de janeiro de 2023.

SU, Chen *et al.* Source characterization of nitrate in groundwater using hydrogeochemical and multivariate statistical analysis in the Muling-Xingkai Plain, Northeast China. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 7, p. 1-14, 2020.

THOMSON, B.M., TURNEY, W.R., 1994. Minerals and mine drainage, **Water Environment Research**. <https://doi.org/10.1002/j.1554-7531.1994.tb00112.x>

TORRES-MARTÍNEZ, J.A., MORA, A., KNAPPETT, P.S.K., ORNELAS-SOTO, N., MAHLKNECHT, J., 2020. Tracking nitrate and sulfate sources in groundwater of an urbanized valley using a multi-tracer approach combined with a Bayesian isotope mixing model. **Water Research**, 182, 115962. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115962>

USTAOĞLU, F., TEPE, Y., 2019. Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators.

**International Soil and Water Conservation Research**. 7, 47–56.

<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.09.001>

VAROL, M., ŞEN, B., 2012. Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. **Catena** 92, 1–10.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.11.011>

VASCONCELOS, Flávio de Moraes; TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. Avaliação da qualidade de água-Base tecnológica para a gestão ambiental. **Belo Horizonte: SMEA**, 2009.

ZIWA, Gabriel; CRANE, Rich; HUDSON-EDWARDS, Karen A. Geochemistry, mineralogy and microbiology of cobalt in mining-affected environments. **Minerals**, v. 11, n. 1, p. 22, 2020.