



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO
DAS ATIVIDADES DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE
FERRO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS: UM ESTUDO DE
CASO

GABRIELA SANTOS OLIVEIRA

BELO HORIZONTE,
DEZEMBRO / 2017

GABRIELA SANTOS OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO
DAS ATIVIDADES DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE
FERRO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS: UM ESTUDO DE
CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Ambiental e
Sanitarista.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Alves Pereira Wilken

BELO HORIZONTE,

DEZEMBRO / 2017

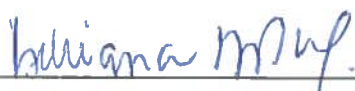
GABRIELA SANTOS OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DAS
ATIVIDADES DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO
NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS: UM ESTUDO DE CASO.

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais
como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheira Ambiental e
Sanitarista.

Data de aprovação: 07/12/2017

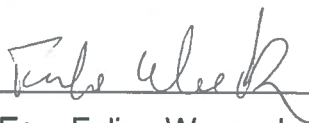
Banca Examinadora:



Profa. Dra. Adriana Alves Pereira Wilken – Presidente da Banca Examinadora
(Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG -
Orientadora)



Profa. Dra. Patrícia Procópio Pontes
(Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG)



Eng. Esp. Felipe Werneck
(Anglo American S/A)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, em especial, à minha mãe, pois foram as pessoas mais importantes na minha formação. Afinal de contas, sem o apoio deles eu não teria chegado até aqui.

Agradeço aos meus amigos e familiares por me concederem momentos de alegria, descontração e divertimento que foram tão importantes para a consecução deste trabalho quanto os momentos de foco, estudo e isolamento.

Agradeço à equipe de licenciamento da Anglo American: Aline, Felipe, Dani, André, Leandro, Ana, Carol, Marina, Fê Gonzaga, Fê Sena, Fê Almeida e Douglas, pelo grande aprendizado que me transmitiram e pela grande amizade firmada ao longo do estágio. Um agradecimento especial à Dani, que foi uma excelente tutora de estágio e se propôs-se a revisar meu trabalho sem nenhuma obrigação de fazê-lo, puramente para ajudar-me.

E, finalmente, mas não menos importante, agradeço à minha orientadora, Adriana Wilken, por puxar minha orelha e me orientar sabiamente para a realização de um bom trabalho.

RESUMO

A água é fundamental para a manutenção da vida, e apenas uma pequena fração dela apresenta-se na forma de água doce superficial. Há, portanto, uma grande necessidade de se evitar a contaminação dessa fração de água mais facilmente disponível. Para auxiliar a administração de recursos hídricos, faz-se necessário investigar e diagnosticar os fatores que impactam a qualidade das águas. Nesse contexto, o presente trabalho visa avaliar a influência das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro sobre a qualidade das águas de corpos lóticos situados às adjacências do complexo minerário do Sistema Minas-Rio. Para isso, foram selecionados dados de monitoramento antes e depois da implantação do empreendimento para serem analisados. Por terem localizações geográficas diferentes, os pontos anteriores e posteriores à implantação do empreendimento foram agrupados em zonas, delimitadas a partir das sub-bacias hidrográficas em que estavam inseridos. Os parâmetros considerados foram: pH, turbidez, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, DBO, chumbo total, ferro total, manganês total, mercúrio total, óleos e graxas, e coliformes termotolerantes. Foram analisadas as estatísticas descritivas e as séries temporais das zonas ao longo das campanhas de monitoramento para cada parâmetro, comparando com os limites impostos pela legislação. A ocorrência de diferenças nas concentrações dos parâmetros foi verificada entre as zonas e entre os períodos de coleta (anterior e posterior ao início da implantação do empreendimento) através de testes estatísticos. Foram observados valores médios mais elevados para os parâmetros sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, turbidez, ferro total e manganês total no período posterior à implantação e operação do empreendimento, comparado ao período anterior ($p < 0,05$). Além disto, foram registradas maiores valores médios destes mesmos parâmetros, e do pH, na sub-bacia em que se localiza o empreendimento, comparado com duas outras sub-bacias vizinhas ($p < 0,05$). De uma forma geral, os resultados indicaram que a implantação e operação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro influenciaram nos níveis dos parâmetros sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, turbidez, e manganês total nos corpos lóticos da sub-bacia em que está inserida. Apesar disto, houve conformidade dos parâmetros de qualidade de água com os limites impostos para corpos hídricos de classe 2 pela Resolução CONAMA 357/05 ao longo da maioria das campanhas de monitoramento.

ABSTRACT

Water is fundamental to life-sustaining, and only a small fraction of it is in the form of surface fresh water. Thus, there is a need to avoid contamination of this fraction of easily available water. To improve the management of water resources, it is necessary to investigate and diagnose factors that impact water quality. In this context, this paper aims to evaluate the influence of iron ore extraction and processing on the water quality of streams located next to Minas-Rio System mining complex. For this purpose, water-sampling data was selected before and after the implementation of the mining plant. Because the sampling points before and after were not situated at the same geographic locations, they were grouped into zones delimited from their sub-basins. The water quality parameters evaluated by this paper were: pH, turbidity, total dissolved solids, total suspended solids, BOD, total lead, iron, manganese, total mercury, oils and greases and thermotolerant coliforms. Firstly, it was analyzed the descriptive statistics of the zones and their time series for each parameter throughout the sampling campaigns. Then, the results were compared with the limits imposed by the Brazilian legislation. Differences caused by sampling location (zones) and caused by sampling time (before *versus* after mining implantation) were evaluated for each water quality parameter through statistical tests. Higher mean values were observed for total dissolved solids, total suspended solids, turbidity, iron and manganese after the implementation and operation of the mining site, compared to the previous period ($p < 0.05$). In addition, the mean values of these same variables, and also pH, were recorded to be higher in the sub-basin where the mining site is located, compared to two other neighboring sub-basins ($p < 0.05$). In general, the results indicated that the implantation and operation of iron ore extraction and process activities influenced the levels of total dissolved solids, total suspended solids, turbidity and total manganese in the lotic bodies of the sub-basin in which it is inserted. In spite of this, the water quality parameters complied with the Brazilian legislation during most monitoring campaigns.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Cronogramas de monitoramento da qualidade das águas e de implantação e operação do empreendimento minerário do Sistema Minas-Rio.....	27
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo com as principais estruturas do complexo minerário do Sistema Minas-Rio e hidrografia da região.	28
Figura 3. Fluxograma simplificado do processo de beneficiamento do Sistema Minas-Rio.....	30
Figura 4. Localização dos pontos de lançamento dos efluentes hídricos provenientes da barragem de rejeitos e do dique de contenção 2 do complexo minerário do Sistema Minas-Rio.	32
Figura 5. Pontos de monitoramento de águas superficiais anteriores à implantação do complexo minerário do Sistema Minas-Rio.	33
Figura 6. Pontos de monitoramento de águas superficiais posteriores à implantação do complexo minerário do Sistema Minas-Rio.	34
Figura 7. Delimitação das zonas com respectivos pontos de monitoramento anteriores e posteriores à implantação do complexo minerário do Sistema Minas-Rio.....	35
Figura 8. Séries temporais das médias de pH em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. As linhas sólidas representam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).	41
Figura 9. Séries temporais das médias de sólidos dissolvidos totais em corpos d'água superficiais superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. A linha sólida representa o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2)...	43
Figura 10. Séries temporais das médias de sólidos em suspensão totais em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras.	45
Figura 11. Séries temporais das médias de sólidos dissolvidos totais em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de	

extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. A linha sólida representa o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).48

Figura 12. Séries temporais das médias de ferro total em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras.50

Figura 13. Séries temporais das médias de manganês total em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. A linha sólida representa o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).52

Figura 14. Séries temporais das médias de DBO em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. A linha sólida representa o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).54

Figura 15. Séries temporais das médias de chumbo total em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. A linha sólida representa o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).56

Figura 16. Séries temporais das médias de mercúrio total em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. A linha sólida representa o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).57

Figura 17. Séries temporais das médias de óleos e graxas em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras.59

Figura 18. Séries temporais das médias de coliformes termotolerantes em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras.61

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Níveis descritivos (p) do teste de Kruskal-Wallis para comparar os efeitos dos locais de coleta (zonas A, B e C) sobre as variáveis das coletas realizadas no período anterior e no período posterior ao início da implantação do Sistema Minas-Rio.....	39
Tabela 2. Níveis descritivos (p) do teste de Mann-Whitney para comparar os efeitos dos locais de coleta (zonas A, B e C) sobre as variáveis das coletas realizadas no período posterior à implantação Sistema Minas-Rio	40
Tabela 3. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro pH.....	41
Tabela 4. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro sólidos dissolvidos totais.....	43
Tabela 5. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro sólidos em suspensão totais.....	45
Tabela 6. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro turbidez.....	48
Tabela 7. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro ferro total.....	50
Tabela 8. Estatística descritiva das zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro manganês total.....	52
Tabela 9. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro DBO ₅	54
Tabela 10. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro Chumbo Total.	56
Tabela 11. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro mercúrio total.	57
Tabela 12. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro óleos e graxas.	59
Tabela 13. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro coliformes termotolerantes.....	61

Tabela 14. Níveis descritivos (p) do teste de Mann-Whitney que compara o efeito dos períodos de coleta (anterior e posterior ao início da implantação do Sistema Minas-Rio) sobre as variáveis das coletas realizadas na zona A, para o período de chuva (janeiro, fevereiro e março), e para o período de seca (junho, julho e agosto)...63

Tabela 15. Matriz de correlação com níveis descritivos (p) do teste não paramétrico de Spearman para todas as variáveis nas três zonas de coleta e em ambos os períodos de coleta (anterior e posterior ao início da implantação do Sistema Minas-Rio), e variável de precipitação pluviométrica77

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANA – Agência Nacional de Águas

CERH-MG – Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

DAM – Drenagem Ácida de Mina

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DBC - Delineamento em Blocos Casualizados

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração

OMS – Organização Mundial da Saúde

PARH – Plano de Ação de Recursos Hídricos

PGRH - Programa de Gestão de Recursos Hídricos

pH – Potencial Hidrogeniônico

UC – Unidade de Conservação

UFC – Unidades Formadoras de Colônia

UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez

WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E MOTIVAÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	Qualidade da Água	18
3.1.1	<i>Parâmetros de Qualidade da Água</i>	19
3.2	A mineração de ferro e seus impactos sobre a qualidade das águas	24
4	METODOLOGIA	26
4.1	Caracterização da Área de Estudo	26
4.1.1	<i>Processo de Extração e Beneficiamento de Minério de Ferro</i>	29
4.2	Locais de monitoramento e parâmetros de qualidade de água	32
4.3	Análise estatística dos dados	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	Comparação entre locais de coleta (zonas A, B e C)	39
5.1.1	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	40
5.1.2	<i>Sólidos dissolvidos Totais</i>	42
5.1.3	<i>Sólidos em Suspensão Totais</i>	45
5.1.4	<i>Turbidez</i>	47
5.1.5	<i>Ferro Total</i>	49
5.1.6	<i>Manganês Total</i>	51
5.1.7	<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)</i>	53
5.1.8	<i>Chumbo Total</i>	55
5.1.9	<i>Mercúrio Total</i>	57
5.1.10	<i>Óleos e Graxas</i>	58
5.1.11	<i>Coliformes termotolerantes</i>	60
5.2	Comparação entre períodos de coleta (Anterior x Posterior)	62
6	CONCLUSÕES	67
7	PROPOSTAS DE CONTINUIDADE	69
8	REFERÊNCIAS	70

1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E MOTIVAÇÃO

A água é fundamental para a manutenção da vida. Apesar da sua abundância no planeta, apenas 0,8% da água disponível na Terra é doce e, dessa pequena fração, apenas 3% apresenta-se na forma de água superficial (VON SPERLING, 2014). Ressalta-se, portanto, a importância de se preservar os recursos hídricos e de evitar a contaminação da pequena fração mais facilmente disponível. Para auxiliar a administração de recursos hídricos, se faz necessário investigar e diagnosticar os fatores decorrentes de determinados eventos ou condições específicas que afetam a qualidade da água (GASTALDINI *et al.*, 2002).

A qualidade da água é resultante tanto de fenômenos naturais, quanto antrópicos. Segundo Von Sperling (2014), a qualidade de um corpo d'água é função do uso e da ocupação do solo da bacia hidrográfica em que está inserido. No Brasil, os corpos d'água devem atender aos padrões de qualidade definidos pela Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005, em função de seus usos preponderantes (BRASIL, 2005). Em Minas Gerais, os padrões de qualidade estão definidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01 de 05 de maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008). Essas normas utilizam-se de parâmetros físicos, químicos e biológicos tais como pH, temperatura, cor verdadeira, turbidez, DBO, oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, nutrientes, metais, entre outros, para caracterizar a qualidade das águas doces. Como estes parâmetros sofrem variações no tempo e no espaço, o acompanhamento de seus níveis pode contribuir com informações para tomada de decisões no gerenciamento dos recursos hídricos.

A indústria extrativista mineral corresponde a 8% de todo o PIB de Minas Gerais e emprega 60.600 pessoas no Estado. O minério de ferro, carro chefe da produção mineral do Estado, corresponde a 66% da produção brasileira (IBRAM, 2016). Assim sendo, é inegável a importância da mineração de ferro para o Estado e para o país. Não obstante aos benefícios socioeconômicos que esta atividade traz, como geração de empregos, aumento da arrecadação de impostos no município, movimentação da economia e desenvolvimento local, há que se considerar, também, que a lavra e processamento de minério gera impactos ao meio ambiente. Em se tratando de impactos sobre a qualidade das águas superficiais, tem-se o possível aumento da turbidez e, até mesmo, o assoreamento de corpos d'água próximos aos empreendimentos minerários (MECHI & SANCHES, 2010). Este fenômeno se deve principalmente à supressão da vegetação e à remoção da camada superficial do solo, práticas necessárias à lavra a céu aberto, mas que aumentam a erodibilidade do solo (ARAUJO, 2014). Os sedimentos carreados

para os corpos d'água podem conter metais pesados e substâncias tóxicas (SALOMONS, 1995), trazendo risco ao ecossistema aquático e à população que usufrui do recurso hídrico contaminado. Além disso, a drenagem ácida de mina (DAM), processo desencadeado a partir da exposição contínua de minerais sulfetados ao oxigênio e à umidade, pode acarretar na alteração do pH e no aumento de sólidos suspensos e dissolvidos nos corpos d'água (SALOMONS, 1995; CARUSO et al., 2012; RICHTER, 2013). Há, portanto, a necessidade do monitoramento da qualidade dos corpos hídricos próximos a empreendimentos minerários.

Poucos estudos analisaram a influência das atividades de mineração de ferro na qualidade das águas superficiais no estado de Minas Gerais (COSTA et al., 2003; VON SPERLING et al., 2004; PEREIRA et al., 2008; RODRIGUES et al., 2014). De uma forma geral, existe uma escassez de estudos científicos que avaliam a influência da mineração de ferro na região exterior ao Quadrilátero Ferrífero. O complexo minerário do Sistema Minas-Rio, localizado na sub-bacia do Rio Santo Antônio, afluente do Rio Doce, constitui em uma importante atividade econômica na região. Para o desenvolvimento das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro, a água é um importante insumo utilizado, cujos efluentes, após tratamento, são direcionados aos recursos hídricos localizados no entorno. Os corpos hídricos desta região são de suma importância para as comunidades locais, uma vez que suas águas são usadas para abastecimento doméstico, dessedentação de animais, recreação, lazer, além do uso na agroindústria e como meio para escoamento de efluentes sanitários (BRANDT, 2007). Dessa forma, para que haja uma boa gestão dos recursos hídricos da região estudada, faz-se necessária uma avaliação da influência da atividade minerária nos parâmetros de qualidade da água, além da avaliação da adequação da qualidade das águas superficiais aos seus diversos usos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro sobre a qualidade das águas de corpos lóticos.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a variabilidade temporal e espacial dos resultados dos parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade das águas de corpos lóticos localizados às adjacências do complexo minerário do Sistema Minas-Rio.
- Verificar o atendimento dos parâmetros de qualidade de água aos padrões ambientais legais.
- Identificar os parâmetros de qualidade da água influenciados pela implantação e operação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro do complexo minerário do Sistema Minas-Rio.

3 ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Qualidade da Água

A qualidade de um corpo d'água é função do uso e da ocupação do solo da bacia hidrográfica em que está inserido (VON SPERLING, 2014). Ou seja, as bacias que possuem predominância em cobertura vegetal natural tendem a apresentar qualidade de água superior às bacias extensamente ocupadas por pastos, indústrias e/ou edificações. Nesse contexto, com o objetivo de viabilizar a utilização das águas para atividades humanas de forma a manter os serviços ambientais e a biodiversidade dos ecossistemas aquáticos, padrões de qualidade foram estabelecidos. No Brasil, a Resolução CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), alterada pelas Resoluções CONAMA N° 410 de 2009 e 430 de 2011 (BRASIL, 2009; BRASIL 2011), classifica as águas doces do território nacional em cinco classes de qualidade, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes e as condições ambientais dos corpos de água, conforme apresentado na Quadro 1.

Quadro 1. Classificação de águas doces quanto à qualidade requerida para usos preponderantes segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Classe	Usos Preponderantes
Classe especial	Abastecimento para consumo humano, com filtração e desinfecção
	Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas
	Preservação dos ambientes aquáticos em UCs de proteção integral
Classe 1	Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado
	Proteção das comunidades aquáticas
	Recreação de contato primário (ex.: natação, esqui aquático e mergulho)
	Irrigação de hortaliças e frutas que são consumidas cruas
	Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas
Classe 2	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional
	Proteção das comunidades aquáticas
	Recreação de contato primário (ex.: natação, esqui aquático e mergulho)
	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
	Aquicultura e à atividade de pesca
Classe 3	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado
	Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras
	Pesca amadora
	Recreação de contato secundário
	Dessedentação de animais
Classe 4	Navegação
	Harmonia paisagística

Para cada classe de água são estabelecidos padrões, ou seja, limites de concentração de parâmetros de qualidade de água. A Resolução CONAMA 430/2011 também expressa que os lançamentos de efluentes em corpos hídricos devem passar por tratamento prévio de modo a atender aos padrões de lançamento e aos limites impostos aos parâmetros de qualidade de sua classe. Isto significa que os lançamentos não podem ocasionar a ultrapassagem dos padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes (BRASIL, 2011). Em Minas Gerais, a classificação dos corpos de água e seus respectivos padrões de qualidade estão definidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH N° 01 de 05 de maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008). Águas doces sem enquadramento serão consideradas classe 2 por esta deliberação normativa.

3.1.1 *Parâmetros de Qualidade da Água*

3.1.1.1 Sólidos Suspensos e Turbidez

A turbidez pode ser definida como o grau de interferência que um feixe de luz sofre quando passa pela água, conferindo um aspecto turvo à mesma (VON SPERLING, 2014). Esse fenômeno ocorre devido à presença de sólidos suspensos, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila), e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc. (CETESB, 2016). Usualmente, a turbidez em corpos hídricos é maior em épocas chuvosas do que em épocas secas, devido à lavagem superficial do solo na bacia de drenagem, e tende a ser mais alta em cursos d'água em constante agitação, como rios, do que em lagos, nos quais o repouso da água permite a sedimentação das matérias em suspensão (VIANNA, 2014). Atividades antrópicas podem ter relação direta com o aumento da turbidez de um corpo hídrico. Tem-se como exemplo o despejo de efluentes sanitários e/ou industriais e, também, a erosão do solo rios intensificadas pelo mau uso do solo e remoção de cobertura vegetal (ANA, 2006; CETESB, 2016).

Elevada turbidez pode comprometer o ecossistema aquático, além de comprometer os múltiplos usos aos quais o corpo d'água pode servir. Seu aumento reduz a penetração de luz solar e, conseqüentemente, a atividade fotossintética das algas e plantas aquáticas, diminuindo os níveis de oxigênio dissolvido na água e, portanto, a produtividade da fauna aquática (CETESB, 2016). Ademais, além de serem esteticamente desagradáveis, os sólidos em suspensão fornecem sítio propício para fixação de microrganismos patogênicos e compostos tóxicos (VON SPERLING, 2014), protegendo-os dos efeitos da desinfecção (WHO, 2006).

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o valor máximo para a turbidez de 100 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez) em corpos d'água de classe 2.

3.1.1.2 Sólidos dissolvidos

São considerados sólidos dissolvidos aqueles com diâmetro inferior a $10^{-3}\mu\text{m}$. Os sólidos dissolvidos são diretamente proporcionais ao teor de íons na água e, portanto, tem correlação com parâmetros como condutividade elétrica, pH (concentração de H^+), alcalinidade (presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos), dureza (presença de Ca^+ e Mg^+), cloretos (Cl^-), entre outros (VON SPERLING, 2014). As concentrações de sólidos dissolvidos na água variam consideravelmente em diferentes regiões geológicas devido à diferença da solubilidade dos minerais (WHO, 2006). Como o parâmetro está ligado ao desgaste de rochas por intemperismo (PORTO et al., 1991), sua concentração aumenta com a intensidade da chuva.

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o valor máximo de 500 mg/L de sólidos dissolvidos para corpos d'água de classe 2.

3.1.1.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A basicidade ou a acidez de uma solução pode ser expressa em termos de concentração de íons H^+ que é determinada pelo pH, logaritmo negativo da concentração molar de íons hidrogênio, ou, potencial hidrogeniônico (ESTEVES, 1998). A faixa de pH é de 0 a 14, sendo que, a solução é ácida se seu pH é inferior a 7, básica se seu pH é superior a 7 e neutra se seu pH é igual a 7.

A alteração natural nos valores de pH em um corpo hídrico está relacionada à dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, fixação da matéria orgânica e fotossíntese. A origem antropogênica dessa alteração está vinculada aos despejos domésticos (oxidação da matéria orgânica) e despejos industriais (VON SPERLING, 2014). Alterações do pH de um corpo hídrico podem exercer forte influência sobre os ecossistemas aquáticos, podendo causar efeitos sobre a fisiologia de diversas espécies, além de contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados, e para a solubilidade de nutrientes (CETESB, 2016).

O excesso de matéria orgânica contribui para a acidificação da água devido à liberação de gás carbônico decorrente da decomposição, a qual proporciona a formação de ácido carbônico em meio aquoso (MAROTTA et al., 2008). Por outro lado, elevados níveis de pH

podem estar associados à elevadas concentrações de nutrientes nas águas superficiais. Isso ocorre devido ao aumento da proliferação de algas e, conseqüentemente, do aumento da absorção de gás carbônico dissolvido da água durante o processo fotossintético, o que ocasiona um aumento do pH do meio (VON SPERLING, 2014).

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o intervalo de 6,0 a 9,0 para o pH em águas enquadradas como classe 2.

3.1.1.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável (ANA, 2005). Constitui-se em um método empírico e indireto para a quantificação de matéria orgânica biodegradável (VON SPERLING, 2014), e seu ensaio tem tempo e temperatura de incubação específicos. O teste mais comum de DBO é realizado em 5 dias a 20°C e denomina-se DBO_{5,20} (VON SPERLING, 2014; CETESB, 2016).

Os maiores incrementos de DBO em um corpo d'água são provocados por despejos predominantemente orgânicos, como efluentes domésticos (CETESB, 2016). O aumento na concentração de matéria orgânica pode interferir no equilíbrio do ecossistema aquático, devido à elevação do consumo de oxigênio dissolvido (OD) pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de estabilização da matéria orgânica. Nessa conjuntura, ocorre uma redução da biodisponibilidade de OD para os peixes e outros organismos aquáticos, levando à mortandade destes e o desequilíbrio ecossistêmico (VON SPERLING, 2014; CETESB, 2016).

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o valor máximo de 5 mg/L O₂ para o parâmetro DBO_{5,20} em corpos d'água classe 2.

3.1.1.5 Chumbo e mercúrio

Chumbo e mercúrio são metais pesados que, a partir de concentrações e níveis de exposições específicos, são tóxicos à flora, à fauna e ao homem. Esses metais bioacumulam ao longo da cadeia alimentar, resultando em um grande perigo para os organismos em níveis tróficos superiores. A intoxicação aguda por chumbo pode causar sintomas como agitação, irritabilidade, dores de cabeça, tremores musculares, cólicas abdominais, danos nos rins, alucinações, perda de memória, encefalopatia, entre outros (WHO, 2011). Já a exposição

crônica ao chumbo pode ser vinculada a sintomas como cansaço, insônia, irritabilidade, dores de cabeça, dor nas articulações e sintomas gastrointestinais, entre outros (WHO, 2011). O mercúrio causa ruptura grave em qualquer tecido em que entra em contato com suficiente concentração, mas os dois principais efeitos do envenenamento por mercúrio são distúrbios neurológicos e renais (WHO, 2005). Os sintomas de envenenamento por mercúrio incluem faringite, disfagia, dor abdominal, náuseas e vômitos, diarreia sangrenta, inchaço das glândulas salivares, estomatite, afrouxamento dos dentes, nefrite, hepatite, choque, colapso cardiovascular, insuficiência renal aguda e dano gastrointestinal severo, entre outros.

As concentrações dos metais tóxicos nos ambientes aquáticos naturais são mínimas, e seu aumento pode estar relacionado com despejos industriais, agricultura e atividades mineradoras e garimpeiras (VON SPERLING, 2014). O mercúrio e o chumbo são associados a depósitos auríferos, sendo que o mercúrio pode ser utilizado no processo de beneficiamento de ouro (COSTA *et al.*, 2003).

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece os valores máximos de 0,01 mg/l de chumbo total e de 0,0002 mg/L de mercúrio total para corpos d'água classe 2.

3.1.1.6 Ferro e Manganês

O ferro e o manganês estão presentes nas formas insolúveis (Fe^{3+} e Mn^{4+}) em vários tipos de solos. Na ausência de oxigênio dissolvido, em águas subterrâneas ou fundo de lagos, eles se apresentam na forma solúvel (Fe^{2+} e Mn^{2+}). A concentração desses íons nos corpos d'água superficiais tem origem natural na dissolução de compostos do solo, intensificada por estações chuvosas e mau uso do solo, que aumentam o carreamento dos solos e a erosão das margens (CETESB, 2016). Além da origem natural de ferro e manganês nos corpos d'água superficiais, estes podem ser advindos, também, de despejos industriais (VON SPERLING, 2014).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) o ferro e o manganês são essenciais à vida e estão presentes em muitos alimentos, não representando perigo à saúde. Entretanto, a ingestão de concentrações excessivas podem causar efeitos adversos. Uma dose letal de ferro (200 – 250mg/kg) pode causar necrose hemorrágica e desprendimento de áreas de mucosa no estômago com extensão na submucosa (WHO, 2003). A exposição crônica ao ferro normalmente é vinculada a uma desordem genética (hemocromatose). A ingestão diária de suplementos de ferro de 0,4 - 1mg/kg por longos períodos dificilmente causará efeitos adversos

em pessoas saudáveis (WHO, 2003). O manganês é um dos elementos menos tóxicos via oral. Entretanto, alguns estudos mostram que os efeitos neurológicos observados na exposição aguda ou crônica por inalação também podem ocorrer com a exposição oral, com sintomas incluindo letargia, aumento da tensão muscular, tremor e distúrbios mentais (WHO, 2011b).

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece valores máximo de 0,3 mg/L de ferro dissolvido e 0,1 mg/L de manganês total para corpos hídricos classe 2. Tal resolução não estabelece valores máximos para o parâmetro ferro total.

3.1.1.7 Óleos e Graxas

Óleos e graxas são substâncias de origem mineral, vegetal ou animal, que correspondem à fração da matéria orgânica solúvel em hexanos (VON SPERLING, 2014). São normalmente oriundos de despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, estradas e vias públicas (CETESB, 2016).

Além da questão estética, a presença de óleos e graxas em corpos hídricos diminui a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico, impedindo sua aeração. Além disso, por se tratar de matéria orgânica, em seu processo de decomposição, os óleos e graxas reduzem o oxigênio dissolvido, causando prejuízos ao ecossistema aquático (CETESB, 2016).

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece que óleos e graxas devem estar virtualmente ausentes em corpos hídricos classe 2.

3.1.1.8 Coliformes termotolerantes

A detecção dos agentes patogênicos em uma amostra d'água é extremamente difícil, em razão das suas baixas concentrações, o que demandaria o exame de grandes volumes da amostra para que fosse detectado um único ser patogênico. Por esse motivo, analisa-se a presença de organismos indicadores de contaminação fecal. Estes organismos, embora não sejam patogênicos, dão uma satisfatória indicação da contaminação por fezes humanas ou de animais e, por conseguinte, da sua potencialidade para transmitir doenças (VON SPERLING, 2014). Os organismos mais comumente utilizados com tal finalidade são as bactérias do grupo coliformes, especialmente do subgrupo coliformes fecais, ou termotolerantes, definidos como microrganismos do grupo coliforme capazes de fermentar a lactose a 44-45°C. Dentre os microrganismos desse subgrupo, somente a *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, estando

sempre presente em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros, enquanto os demais podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica (CETESB, 2016). A *E. Coli* seria, portanto, o indicador de contaminação fecal mais eficiente. Entretanto, o uso de coliformes termotolerantes é aceitável, estando, inclusive, citado nos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

A determinação da concentração dos coliformes termotolerantes é de suma importância para indicar a possibilidade da existência de microrganismos patogênicos responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifoide, febre paratifoide, disenteria bacilar e cólera (ANA, 2005).

A Resolução CONAMA 274/2000 estabelece os padrões de qualidade de balneabilidade para o uso da água em recreação de contato primário (BRASIL, 2000). Para os demais usos, a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece que um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros não deve ser excedido em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Além disso, tal resolução define que a *E. Coli* pode ser analisada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente (BRASIL, 2005).

3.2 A mineração de ferro e seus impactos sobre a qualidade das águas

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de minérios do mundo, produzindo 72 substâncias minerais, sendo que o minério de ferro lidera com 60% do valor total da produção mineral brasileira (ARAÚJO et al., 2014). É inegável que a mineração traz grandes impactos positivos para o Brasil, contribuindo com o PIB nacional e para uma balança comercial favorável. Entretanto, apesar de indubitavelmente gerar riqueza e crescimento econômico, a mineração, como qualquer atividade antrópica, causa impactos ambientais adversos sobre o meio ambiente.

A mineração exerce impactos negativos sobre a paisagem, a fauna e flora, o solo, os corpos hídricos, a qualidade do ar, entre outros (GIRODO, 2015). Uma das maiores problemáticas ambientais vinculadas à mineração são os impactos sobre os corpos hídricos. Primeiramente, destaca-se que praticamente toda atividade de mineração implica supressão de vegetação e remoção da camada de solo superficial de maior fertilidade, deixando os solos remanescentes expostos aos processos erosivos que podem acarretar em assoreamento dos corpos d'água do entorno. Dessa forma, a qualidade das águas dos rios e reservatórios da mesma

bacia, à jusante do empreendimento, pode ser prejudicada em razão da turbidez provocada pelo carreamento de sedimentos, assim como pela poluição causada por substâncias lixiviadas e carreadas ou contidas nos efluentes das áreas de mineração, tais como óleos, graxas e metais pesados (MECHI & SANCHES, 2010).

Em lavras de minério de ferro, o carreamento de ferro e manganês para os corpos d'água geralmente não é o problema mais grave associado às atividades minerárias. Entretanto, sedimentos carreados para os corpos d'água podem conter metais pesados e substâncias tóxicas (VERMA et al., 2012; AMEH & AKPAH, 2011; RODRIGUES et al., 2014), trazendo risco ao ecossistema aquático e à população que usufrui do recurso hídrico contaminado. Além disso, a drenagem ácida de mina (DAM), processo desencadeado a partir da exposição contínua de minerais sulfetados ao oxigênio e à umidade, pode acarretar na alteração do pH e no aumento de sólidos suspensos e dissolvidos nos corpos d'água (SALOMONS, 1995; OLÍAS et al., 2004; CARUSO et al., 2012; RICHTER, 2013).

Os impactos da mineração sobre a qualidade das águas dependem de vários fatores como o metal a ser extraído, o tipo de minério, o método de extração e beneficiamento, os meios de controle de poluição adotados e fenômenos naturais, como clima e topografia. A mineração de superfície com beneficiamento *in situ* tende a apresentar maiores impactos sobre o solo e a água, pois gera uma maior quantidade de rejeito e estéril, propiciando a lixiviação (ZABOWSKI *et al.*, 2001). Entretanto, nem todos os metais se solubilizam, tornam-se biodisponíveis ou são incorporados à cadeia alimentar. Se os rejeitos contiverem predominantemente metais que formam precipitados ou que são fortemente absorvidos e que não são solúveis, então haverá pouca lixiviação, resultando em baixa contaminação das águas (VERMA *et al.*, 2012).

De uma forma geral, as publicações divergem sobre a magnitude dos impactos da mineração de ferro sobre a qualidade das águas. Alguns autores concluem que os impactos são severos (GHOSE & SEN, 1999; GLEEKIA, 2016; GLEEKIA & SAHU, 2016), mas outros concluem que os impactos são diminutos ou insignificantes (COSTA *et al.*, 2003; DRAKE, 1981; ZABOWSKI, 2001). Essas divergências podem ser explicadas pelas especificidades das formações geológicas e das características limnológicas das regiões de estudo. Além disto, as diferentes abordagens e métodos utilizados nos estudos podem acarretar em conclusões divergentes. Por exemplo, ao estudarem os efeitos da mineração de ferro na qualidade das águas de lagos naturais na Rússia, Holopainen et al. (2003) verificaram alterações na composição química das águas dos lagos que recebiam efluentes das atividades minerárias, como o alto

valor de pH e a alta concentração de minerais, de potássio, lítio e nitrogênio. Por outro lado, Verma et al. (2012), ao estudarem os impactos do lixiviado da pilha de estéril de uma mina de ferro na Índia, não observaram severas alterações nos parâmetros físico-químicos de águas superficiais próximas a pilhas de estéril de minas de ferro, mas observaram poluição por metais pesados.

Em Minas Gerais, Von Sperling et al. (2004) estudaram a qualidade da água durante a formação de lagos em minas exauridas de ferro. Os autores constataram o predomínio de boa qualidade de água, com pH levemente alcalino, turbidez e DBO dentro dos limites da legislação, e ferro e manganês dentro dos valores típicos de bacias de drenagem geoquimicamente ricos em ferro. No mesmo Estado, Pereira et al. (2008) avaliaram os níveis de metais traço encontrados em corpos d'água superficiais localizados no entorno de uma mineração de ferro. Os autores verificaram que, apesar da mineração de ferro constituir em uma potencial fonte de metais para os corpos hídricos, ela também contribui para a redução da biodisponibilidade de metais, devido ao alto teor de ligantes parcialmente liberados pela mineração, como os carbonatos. Tratando-se de corpos lóticos em Minas Gerais, Costa et al. (2003) constataram que os valores anômalos de ferro, manganês e outros metais encontrados na bacia do Rio Gualaxo do Norte não tinham relação com as minerações de ferro existentes na região, que localizavam-se ao leste do Quadrilátero Ferrífero, mas aos itabiritos e às cangas derivadas da exploração predatória de ouro existente na região. Entretanto, os autores constataram que as minas de ferro eram responsáveis pelos valores anormais de bicarbonato e sódio nas águas superficiais, pois são usados como insumos nos processos de beneficiamento do minério na região. Percebe-se, através da revisão da literatura, que os resultados obtidos para cada estudo diferem entre si, uma vez que se aplicam apenas às condições singulares do estudo, já que o comportamento de variáveis ambientais apresentam interdependência com as características (biológicas, ecossistêmicas, geológicas, climatológicas etc.) do meio em que estão sendo analisadas.

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho compreende os corpos lóticos adjacentes ao complexo minerário do Sistema Minas-Rio, nos quais foram realizadas campanhas de monitoramento da qualidade das águas, tanto anteriormente quanto posteriormente ao início da implantação do empreendimento e durante sua operação. Este empreendimento realiza a

extração e beneficiamento *in situ* de minério de ferro, e localiza-se na zona rural dos municípios de Conceição do Mato Dentro e Alvorada de Minas, situados na bacia federal do Rio Doce, no estado de Minas Gerais (FERREIRA ROCHA, 2014; FERREIRA ROCHA, 2015).

A implantação do complexo minerário do Sistema Minas-Rio vem ocorrendo em etapas. A Figura 1 apresenta o cronograma de implantação e operação de ambas as etapas do empreendimento, bem como das campanhas de monitoramento realizadas, tanto antes do início da implantação do empreendimento, quanto posteriormente.

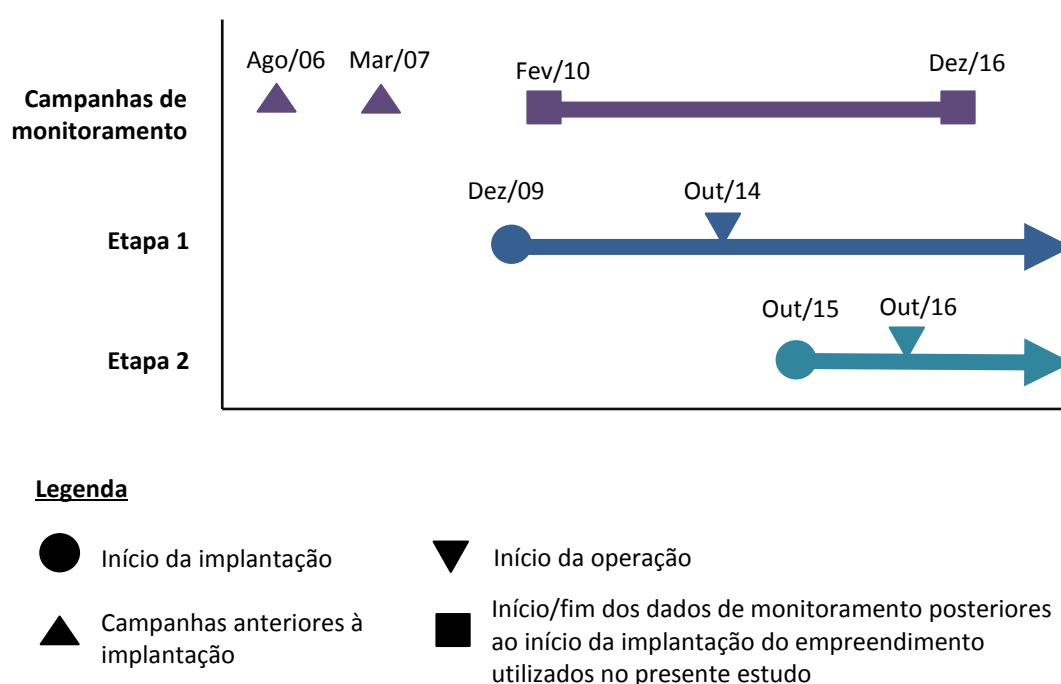


Figura 1. Cronogramas de monitoramento da qualidade das águas e de implantação e operação do empreendimento minerário do Sistema Minas-Rio.

A Etapa 1 abrange as seguintes estruturas: cava (Mina do Sapo), usina de beneficiamento, barragem de rejeitos, pilha de estéril e dique de contenção de rejeitos, denominado Dique 1 (Figura 2). A implantação da Etapa 1 iniciou-se em dezembro de 2009 e sua operação começou em outubro de 2014. A Etapa 2 do empreendimento consistiu na ampliação das frentes de lavra da Cava do Sapo e da pilha de estéril, na implantação de um novo dique de contenção, denominado Dique 2 (Figura 2), e de um novo sistema de reutilização de água recuperada da barragem de rejeitos com uma subestação elétrica. A Etapa 2 começou a ser implantada em outubro de 2015 e sua operação iniciou-se um ano depois (FERREIRA ROCHA, 2014). Já a Etapa 3, que prevê a expansão da cava da direção sul, está em processo

recreação de contato primário, irrigação, aquicultura e atividade de pesca. Como os demais rios da área de estudo não apresentam enquadramento, serão também considerados como classe 2, conforme preconizado pela Resolução CONAMA 357/05.

O complexo minerário se insere em uma área de transição entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado. Quanto à cobertura vegetal, a área de estudo constitui-se principalmente de fragmentos de floresta estacional semidecidual, campo rupestre, eucalipto e pastagem (FERREIRA ROCHA, 2015). Quanto ao solo da região, este é rico em ferro e manganês (MDGEO, 2011b). A área de estudo é próxima ao Quadrilátero Ferrífero. Costa et al. (2003) e Rodrigues et al. (2014) mostraram que os valores de *background* de ferro e manganês nos cursos d'água do Quadrilátero Ferrífero são superiores aos limites impostos pela legislação brasileira, devido às formações geológicas da região.

O clima da região é caracterizado como “subquente, semiúmido e tropical”, com temperaturas médias moderadas, inferiores a 23,5° ao longo do ano, e baixa amplitude térmica. A distribuição dos índices pluviométricos é irregular ao longo do ano, com precipitações mais elevadas no período de outubro a março e período seco entre abril e setembro (FERREIRA ROCHA, 2015).

Como pode ser observado na Figura 2, existem muitas comunidades situadas na área de estudo. A base da economia dessas comunidades é a agropecuária, especialmente a pecuária leiteira, o que explica a presença de vastos pastos na região (BRANDT, 2007). Os pastos nativos também constituem em significativa parcela de cobertura do solo, dividindo espaço com significativas manchas de matas preservadas, além de capoeiras e pequenos cultivos (FERREIRA ROCHA, 2015). Essas comunidades não possuem Estação de Tratamento de Efluentes (ETEs), sendo que a maior parte delas não conta com rede coletora, destinando seus esgotos em fossas sépticas ou rudimentares, a céu aberto ou diretamente em corpos d'água da região, comprometendo sua qualidade (FERREIRA ROCHA, 2014; FERREIRA ROCHA, 2015).

4.1.1 *Processo de Extração e Beneficiamento de Minério de Ferro*

Em virtude das características do depósito mineral da região, o método de lavra utilizado no complexo minerário Minas-Rio é a céu aberto com bancadas descendentes e em conformação final de cava. O minério extraído da mina é transportado em caminhões fora-de-estrada até a unidade de beneficiamento.

Nessa unidade, o minério de ferro passa pelo processo à seco, no qual é cominuído através das britagens primária e secundária e britador de rolos de alta pressão (Figura 3). O minério passa então pelo processo à úmido, o qual conta com água proveniente do Rio do Peixe e com a água recuperada do processo (Figura 3). O minério é cominuído à úmido na moagem primária e é concentrado na flotação, separando-se do rejeito (Figura 3) (ANGLO AMERICAN, 2015).

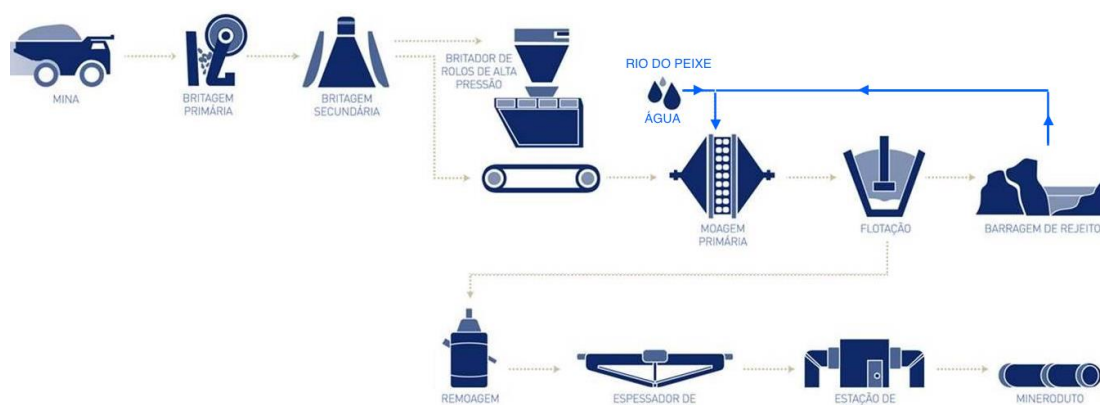


Figura 3. Fluxograma simplificado do processo de beneficiamento do Sistema Minas-Rio.

Na flotação, para promover a concentração do minério de ferro, são adicionados amido gelatinizado, amina, soda cáustica (para correção de pH) e água. O minério concentrado é então direcionado para a remoagem (Figura 3), que têm a função de adequar a granulometria do produto final (pellet feed) para transporte através de mineroduto. O minério concentrado segue para o espessador de concentrado (Figura 3), onde recebe adição de CO_2 , para correção do pH, e de floculante para promover a sedimentação dos sólidos. Esse material é, então, bombeado para o mineroduto. Após o beneficiamento, a polpa de minério é transportada, a úmido, via mineroduto até o Porto do Açu, no município de São João da Barra, estado do Rio de Janeiro, onde é realizada filtragem e, então, carregamento dos navios para a exportação do minério de ferro. No porto, a água utilizada no transporte do minério passa por um sistema de tratamento de efluentes (ANGLO AMERICAN, 2015). Aproximadamente 8% dessa água é reutilizada no porto e o restante é descartado no mar (ANGLO AMERICAN, 2017).

O rejeito da etapa de flotação é encaminhado para o espessador, onde são adicionados floculantes e coagulantes com o objetivo de promover a sedimentação dos sólidos e a clarificação da água. A água decantada no espessador segue para o reservatório de água recuperada, enquanto o material sedimentado é bombeado para a barragem de rejeito (ANGLO AMERICAN, 2015). A água recuperada é reutilizada no processo de beneficiamento. A água

da barragem de rejeito, proveniente não somente do processo de beneficiamento, como também da precipitação e da drenagem pluvial, é vertida por extravasamento para o Córrego Passa Sete, afluente do Rio do Peixe (ANGLO AMERICAN, 2015).

4.1.1.1 Efluentes líquidos

Quanto aos efluentes pluviais, as estruturas de microdrenagem do complexo minerário consistem em estruturas hidráulicas que direcionam as águas de escoamentos superficiais e internos das pilhas de estéril para dois diques de contenção de sedimentos, denominados Dique 1 e Dique 2. Os diques também recebem água bombeada do fundo da cava, além das contribuições naturais de escoamento superficial. O Dique 2 foi implantado na segunda etapa do empreendimento, devido à ampliação da pilha de estéril, e recebe todas as contribuições da micro-bacia, inclusive do Dique 1. O efluente do Dique 2 é lançado no Córrego Vargem Grande, no ponto mostrado na Figura 3 (FERREIRA ROCHA, 2014).

Os efluentes sanitários do complexo minerário são provenientes dos refeitórios e banheiros presentes nas instalações do empreendimento. Já os efluentes oleosos são provenientes da lavagem de veículos, equipamentos e pátios. Atualmente existem 20 sistemas de tratamento de efluentes sanitários e oleosos no complexo minerário, sendo que a maior parte da destinação dos efluentes tratados é para a barragem de rejeitos, sumidouros ou valas de infiltração (MDGEO, 2017). A água da barragem de rejeitos é vertida por extravasamento para o Córrego Passa Sete, no ponto mostrado na Figura 4. Além destes, uma estação de tratamento de esgoto sanitário lança o efluente tratado próximo ao ponto de lançamento do Dique 2, no Córrego Vargem Grande, também apresentado na Figura 4.

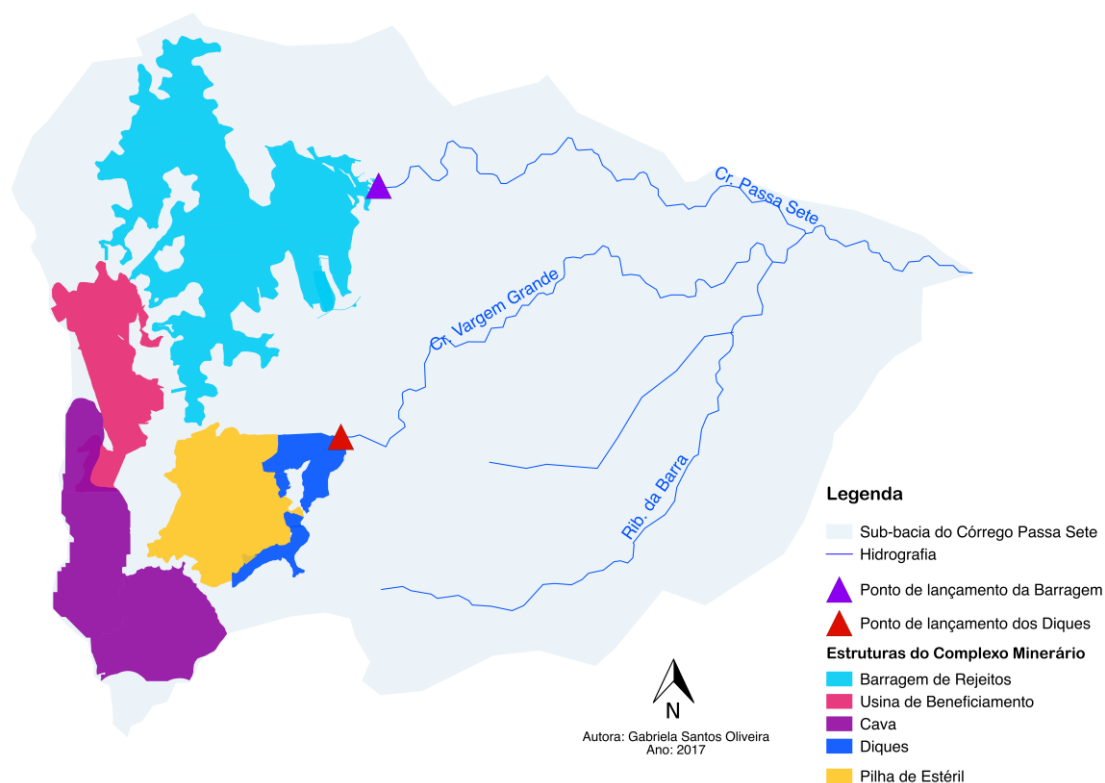


Figura 4. Localização dos pontos de lançamento dos efluentes hídricos provenientes da barragem de rejeitos e do dique de contenção 2 do complexo minerário do Sistema Minas-Rio.

4.2 Locais de monitoramento e parâmetros de qualidade de água

Para avaliar a influência espaço-temporal das atividades de mineração e beneficiamento de minério de ferro na qualidade das águas superficiais da área de estudo, foram selecionados dados de monitoramento referentes a períodos anteriores e posteriores ao início da implantação do empreendimento.

Os dados de qualidade das águas superficiais anteriores ao início da implantação do complexo minerário do Sistema Minas-Rio foram obtidos no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da Etapa 1 do empreendimento, publicado em setembro de 2007 (BRANDT, 2007). Esse monitoramento contou com duas campanhas, uma em agosto de 2006 (período de seca), e outra em março de 2007 (período chuvoso) (ver Figura 1), e consistem nos valores de *background* do presente estudo. Foram selecionados 17 pontos de monitoramento anteriores à implantação da mineração, os quais encontram-se descritos no Quadro 3 (Apêndice A) e ilustrados na Figura 5, a seguir.

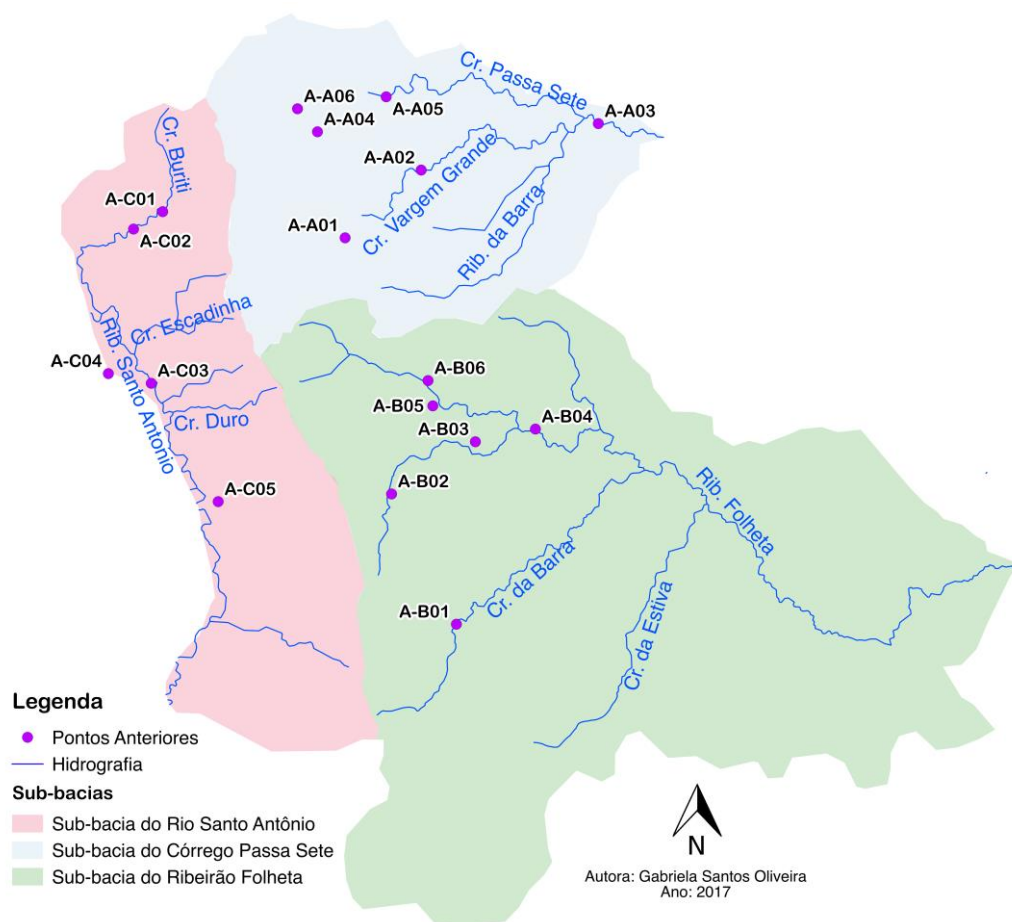


Figura 5. Pontos de monitoramento de águas superficiais anteriores à implantação do complexo minerário do Sistema Minas-Rio.

Os resultados de monitoramento de qualidade de águas superficiais posteriores à implantação do empreendimento foram obtidos nos relatórios do Programa de Gestão de Recursos Hídricos (PGRH). Foram selecionados 23 pontos de monitoramento posteriores ao início da implantação do complexo minerário em questão. Estes estão descritos no Quadro 4 (Apêndice A), e ilustrados na Figura 6.

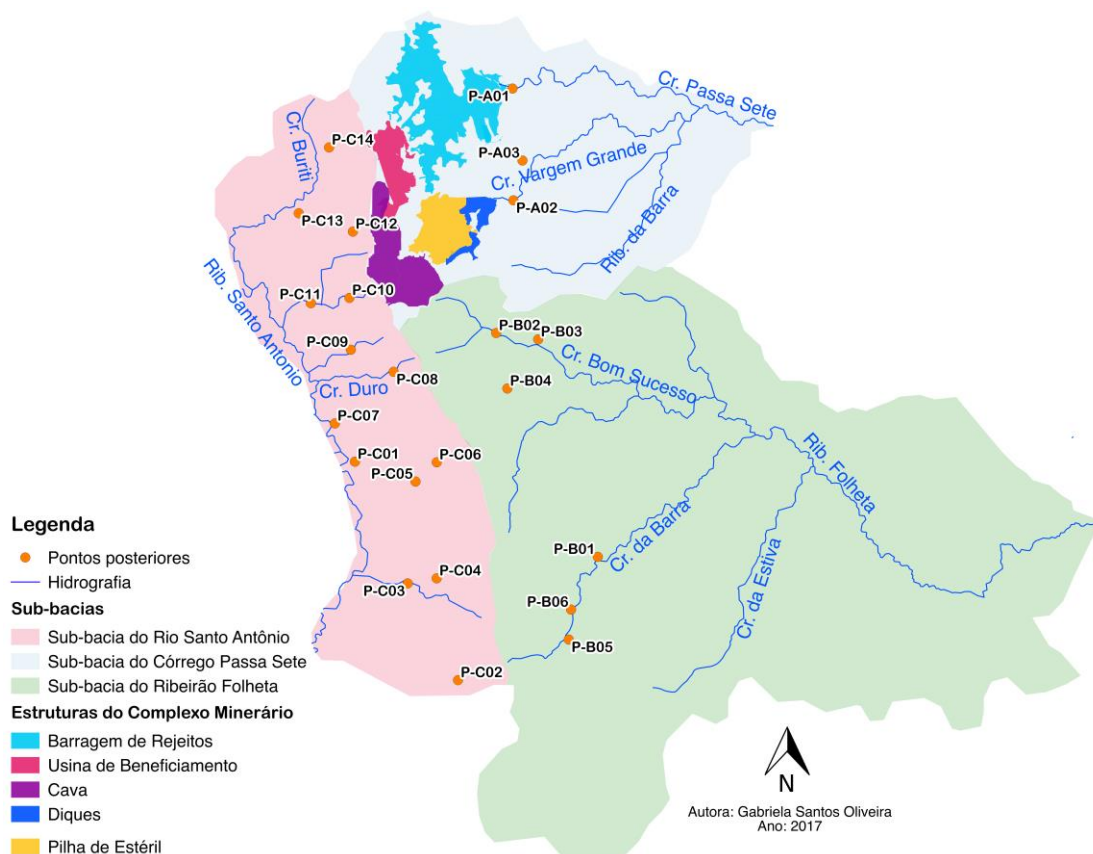


Figura 6. Pontos de monitoramento de águas superficiais posteriores à implantação do complexo minerário do Sistema Minas-Rio.

As coletas dos pontos posteriores ao início da implantação do complexo minerário ocorreram trimestralmente entre os anos de 2010 e 2016 (ver Figura 1), totalizando 26 campanhas de monitoramento (MDGEO, 2010, 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b, 2014, 2015, 2016, 2017). Ressalta-se que não houve monitoramento nos pontos da sub-bacia em que o empreendimento está localizado (pontos P-A01, P-A02 e P-A03) no ano de 2015, ou seja, no início da operação da Etapa 1 do empreendimento (ver Figura 1)

Como pode-se perceber pelas figuras 5 e 6, os pontos de monitoramento referentes ao período posterior ao início da implantação do empreendimento não são coincidentes geograficamente com os pontos de monitoramento estabelecidos anteriormente à implantação do empreendimento. Além disso, percebe-se que existem pontos de monitoramento distantes do empreendimento (ao sul), tanto anteriores quanto os posteriores à implantação do complexo minerário, que, a princípio, não sofreriam impactos diretos do empreendimento. Esse fato é justificado uma vez que layout original do projeto no EIA da Etapa 1, que propusera uma cava mais extensa no sentido norte-sul, foi alterado. Um outro motivo para essa configuração é que o projeto prevê futuras ampliações das frentes de cava para o sul, então, nesse caso, dados de

monitoramento desses pontos auxiliariam no diagnóstico ambiental dos próximos estudos (FERREIRA ROCHA, 2014; FERREIRA ROCHA, 2015).

Como a localização geográfica dos pontos de monitoramento anteriores e posteriores à implantação do empreendimento são diferentes, não se pode comparar os resultados ponto a ponto. Dessa forma, os pontos foram agrupados em blocos ou, espacialmente falando, em zonas. Como, segundo Von Sperling (2014), a qualidade da água depende do uso e ocupação do solo da bacia em que está inserida, as zonas foram delimitadas a partir das sub-bacias hidrográficas em que os pontos de monitoramento estão inseridos. Dessa forma, pressupõe-se que as unidades experimentais, ou pontos de monitoramento, de cada zona estejam em condições ambientais homogêneas. A Figura 7 apresenta a área de estudo partilhada nas zonas delimitadas com os respectivos pontos de monitoramento anteriores e posteriores à implantação do empreendimento.



Figura 7. Delimitação das zonas com respectivos pontos de monitoramento anteriores e posteriores à implantação do complexo minerário do Sistema Minas-Rio.

O Quadro 2 contém a descrição das zonas delimitadas a partir das sub-bacias em que os pontos de monitoramento estão inseridos.

Quadro 2. Descritivo das zonas de ponto de monitoramento, delimitadas a partir das sub-bacias existentes na área de estudo.

Zona	Descrição da Zona	Pontos anteriores à implantação	Nº de pontos	Pontos posteriores à implantação	Nº de pontos
A	Delimitada a partir da sub-bacia do Córrego Passa Sete, bacia em que o complexo minerário se insere.	A-A01 A-A02 A-A03 A-A04 A-A05 A-A06	6	P-A01 P-A02 P-A03	3
B	Delimitada a partir da sub-bacia do Ribeirão Folheta, localizada à sudeste da bacia em que o complexo minerário se insere, e onde há maior concentração de comunidades.	A-B01 A-B02 A-B03 A-B04 A-B05 A-B06	6	P-B01 P-B02 P-B03 P-B04 P-B05 P-B06	6
C	Delimitada a partir da bacia do Rio Santo Antônio, localizada na face Oeste do empreendimento (face não minerada que é Reserva Legal)	A-C01 A-C02 A-C03 A-C04 A-C05	5	P-C01 P-C02 P-C03 P-C04 P-C05 P-C06 P-C07 P-C08 P-C09 P-C10 P-C11 P-C12 P-C13 P-C14	14

Os pontos de monitoramento foram identificados com dígitos alfanuméricos. O primeiro dígito alfabético representa o momento do ponto, que pode ser anterior (A) ou posterior (P) ao início da implantação. O segundo dígito alfabético representa a localização, que pode ser na zona A, B ou C. E o dígito numérico é a identificação específica do ponto dentro da sua zona, podendo variar de 01 a 14, dependendo da quantidade de pontos contidos na zona. Por exemplo, o ponto A-B06 é um ponto anterior à implantação do empreendimento, localizado na zona B, e identificado como 06 dentro desta zona.

Os parâmetros de qualidade de água analisados foram: pH, turbidez, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, DBO, chumbo total, ferro total, manganês total, mercúrio total, óleos e graxas e coliformes termotolerantes. Como a precipitação pluviométrica pode influenciar nos resultados dos parâmetros de qualidade de água de corpos lóticos, foram obtidos

dados diários de precipitação (em mm) de um pluviômetro localizado na zona A (latitude: 668.278, longitude: 7.910.418, altitude: 696m), no período entre 25/02/2008 até 31/05/2016.

As amostragens nos pontos de coleta foram realizadas de acordo com as diretrizes estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) previstas nas normas NBR 9897/1987 (Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores – Procedimento) e NBR 9898/1987 (Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores – Procedimento) (ABNT, 1987a; ABNT, 1987b). As amostras foram coletadas na superfície da coluna d'água. Após a coleta, as amostras foram mantidas sob refrigeração e encaminhadas ao laboratório para análises. As análises foram realizadas de acordo com a versão mais recente do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater à época da elaboração de cada relatório (APHA, 2017; BRANDT, 2007; MDGEO, 2010, 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b, 2014, 2015, 2016, 2017).

A determinação dos limites de detecção (LD) de cada parâmetro é realizada no laboratório em que serão conduzidas as análises (APHA, 2017). Como houve mudança de laboratório entre as análises dos períodos anteriores e posteriores ao início da implantação do empreendimento minerário, houve alteração nos limites de detecção (LD) de alguns parâmetros. São eles: sólidos suspensos (anterior: LD=0,50mg/l; posterior: LD=2,0mg/l), óleos e graxas (anterior: LD=0,3mg/l; posterior: LD=1,0mg/l) e DBO (ago/06: LD=3,0mgO₂/l; mar/07: LD=0,1mgO₂/l; posterior: LD=2,0mgO₂/l).

4.3 Análise estatística dos dados

Inicialmente, foram analisadas as séries temporais das médias mensais de cada parâmetro nas zonas A, B e C ao longo das campanhas de monitoramento. Verificou-se também se as médias dos resultados de cada parâmetro nas zonas, tanto anteriormente quanto posteriormente ao início da implantação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro estavam dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05.

Foi feita uma análise da estatística descritiva dos dados com os parâmetros média, mediana, desvio padrão, variância, valor mínimo, valor máximo e coeficiente de variação para cada um dos parâmetros de qualidade da água analisados. Em seguida, foram verificadas diferenças nas concentrações dos parâmetros de qualidade de água entre as zonas (A, B e C) para o período anterior e para o período posterior ao início da implantação do empreendimento. Antes da análise estatística, testou-se a normalidade dos dados através do teste Kolmogorov-

Smirnov e a homogeneidade de variância através do teste Levene. Como a grande maioria das variáveis não apresentaram distribuição normal nem homogeneidade de variâncias entre os grupos, foram utilizados os testes não paramétricos para testar o efeito do local e do período de coleta nas medianas. Primeiramente, o teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para detectar diferenças entre as medianas das variáveis entre as três zonas, tanto antes quanto após o início da implantação do empreendimento (FIELD, 2005). Quando, através dos testes de comparação, foi detectada diferença entre as zonas, comparou-se os dados de qualidade de água entre pares de zonas (AxB, AxC e BxC) através do teste não paramétrico de Mann-Whitney (FIELD, 2005).

Para comparação das medianas das variáveis no período anterior e posterior à implantação do empreendimento, foi utilizado o teste de Mann-Whitney, apenas na zona A (zona em que o empreendimento está localizado). Anteriormente ao início da implantação da atividade de mineração e beneficiamento de minério de ferro, houve duas campanhas de monitoramento, uma em agosto de 2006 (período de seca), e em março de 2007 (período chuvoso). Dessa forma, comparou-se os dados da primeira campanha anterior (agosto de 2006) com todas as campanhas posteriores realizadas nos meses de junho, julho e agosto posteriores ao início da implantação da mineração. Similarmente, a segunda campanha anterior (março de 2007) foi comparada com todas as campanhas posteriores dos meses de janeiro, fevereiro e março.

Para se obter informações sobre o comportamento ambiental das variáveis, foram determinados os graus de correlações entre as concentrações dos diversos parâmetros de qualidade de águas e precipitação pluviométrica do mês da coleta, para o período posterior à implantação do empreendimento, segundo o coeficiente de correlação de Spearman (FIELD, 2005).

O nível de significância adotado foi de 5%. Os testes foram realizados utilizando-se o Software IBM SPSS Statistics versão 22.0. Vale ressaltar que para resultados de monitoramento que se mostraram abaixo do limite de detecção da metodologia de análise, estes foram considerados, para fins de análise estatística, com valores iguais à metade dos limites de detecção (ex.: se DBO = "<2,0mgO₂/l", utilizou-se o valor "1,0mgO₂/l"). Tais valores devem ser considerados nas análises estatísticas e não excluídos dela como se não existissem (USEPA, 2006).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Comparação entre locais de coleta (zonas A, B e C)

Os resultados dos testes de comparação entre zonas de pontos de coleta para o período anterior e para o período posterior ao início da implantação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Níveis descritivos (p) do teste de Kruskal-Wallis para comparar os efeitos dos locais de coleta (zonas A, B e C) sobre as variáveis das coletas realizadas no período anterior e no período posterior ao início da implantação do Sistema Minas-Rio.

Variáveis	P	
	Período anterior	Período posterior
pH	0,46	0,01
Turbidez	0,07	0,00
Sólidos dissolvidos totais	0,36	0,00
Sólidos em suspensão totais	0,95	0,00
DBO	0,87	0,54
Chumbo total	0,42	0,36
Ferro total	0,81	0,01
Manganês total	0,12	0,00
Mercurio Total	1,0	0,28
Óleos e graxas	0,92	$1,0 \times 10^{-3}$
Coliformes termotolerantes	0,88	$1,0 \times 10^{-3}$

Percebe-se, através da Tabela 1, que anteriormente ao início da implantação do empreendimento, as diferenças entre zonas foram não significativas para todos os parâmetros de qualidade de água analisados (teste Kruskal-Wallis, $p > 0,05$), o que indica que as zonas de monitoramento estão expostas a semelhantes condições ambientais. Entretanto, para o período posterior ao início da implantação, muitos parâmetros apresentaram diferenças significativas entre as zonas de coleta (pH, turbidez, sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, ferro total, manganês total, coliformes termotolerantes e óleos e graxas) (teste Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Para examinar a diferença entre zonas, comparou-se os pares de zonas através do teste de Mann-Whitney. Os resultados estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2. Níveis descritivos (p) do teste de Mann-Whitney para comparar os efeitos dos locais de coleta (zonas A, B e C) sobre as variáveis das coletas realizadas no período posterior à implantação Sistema Minas-Rio

Variáveis	Período posterior (p)		
	Zonas AxB	Zonas AxC	Zonas BxC
pH	0,00	$3,0 \times 10^{-3}$	0,82
Turbidez	0,00	0,00	0,13
Sólidos dissolvidos totais	0,00	0,00	0,02
Sólidos em suspensão totais	0,00	0,00	0,86
DBO	0,31	0,30	0,84
Chumbo total	0,17	0,28	0,53
Ferro total	$1,0 \times 10^{-3}$	0,01	0,15
Mangânês total	0,00	0,00	0,00
Mercúrio Total	0,22	0,14	0,46
Óleos e graxas	$1,0 \times 10^{-3}$	0,00	0,79
Coliformes termotolerantes	0,52	0,01	$2,0 \times 10^{-3}$

A seguir serão analisadas, por parâmetro de qualidade, as descritivas estatísticas, as séries temporais das médias mensais dos parâmetros nas zonas de coleta, e os resultados dos testes comparativos entre as zonas de coleta no período anterior e no período posterior ao início da implantação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro.

A matriz de correlação com os níveis descritivos dos testes de correlação de Spearman está contida no Tabela 15 no Apêndice B.

5.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A Figura 8 apresenta o gráfico das séries das médias de pH para cada uma das três zonas de pontos de amostragem ao longo de todas as campanhas de monitoramento realizadas anteriormente e posteriormente à implantação do empreendimento minerário. A Tabela 3 apresenta a estatística descritiva do parâmetro pH para tais zonas, em ambos os períodos, anterior e posterior à implantação do empreendimento.

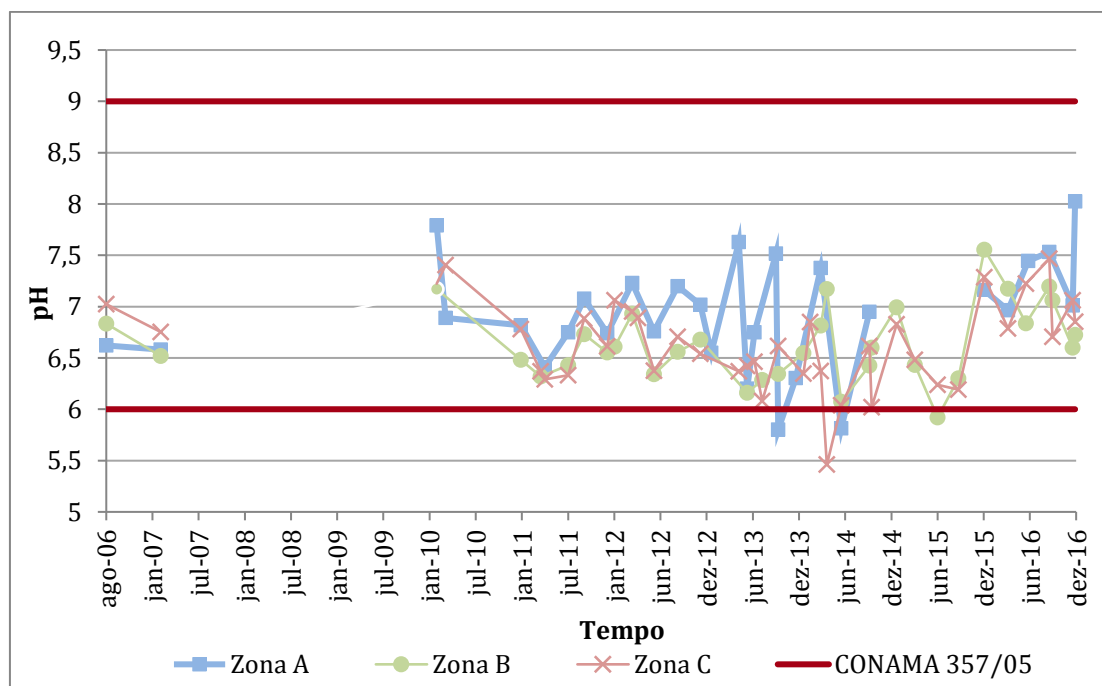


Figura 8. Séries temporais das médias de pH em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. As linhas sólidas representam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).

Tabela 3. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro pH.

		Parâmetro: pH							
	Zona	Nº de observações	Mín.	Média (M)	Mediana (Mdn)	Máx.	DP*	Variância	CV* (%)
Anterior	A	12	5,8	6,6	6,6	7,2	0,50	0,25	7,58
	B	12	6,1	6,7	6,7	7,3	0,32	0,10	4,79
	C	9	6,1	6,9	6,9	7,8	0,52	0,27	7,57
Posterior	A	68	5,2	6,9	6,9	8,4	0,67	0,44	9,67
	B	107	5,5	6,6	6,6	7,8	0,44	0,20	6,64
	C	292	5,5	6,7	6,6	8,0	0,48	0,23	7,21

* DP- Desvio Padrão; CV- Coeficiente de Variação.

Observa-se através da Figura 8 que o pH médio das zonas de pontos de monitoramento manteve-se dentro dos limites impostos para corpos d'água Classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005 durante quase todas as campanhas de monitoramento. A zona A cruzou o limite inferior duas vezes (pH=5,8 em out/2013 e jun/14), e a zona B uma única vez (pH=5,9 em jun/15), assim como a zona C (pH=5,46 em abr/14), e isso ocorreu na fase de implantação da Etapa 1 do empreendimento minerário.

Não foram observadas diferenças significativas nos níveis de pH entre as zonas de monitoramento anteriormente ao início da implantação do empreendimento (teste de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) (Tabela 1). Já posteriormente ao início da implantação, percebe-se que há diferença entre os valores de pH nas três zonas (teste de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) (Tabela 1), sendo que na zona A o pH tende a ser mais elevado (Mdn=6,9) do que na zona B (Mdn=6,6) (teste de Mann-Whitney, $p < 0,05$), e do que na zona C (Mdn=6,6) (teste de Mann-Whitney, $p < 0,05$) (Tabela 2). Como a atividade minerária localiza-se na zona A, esse resultado mostra que a implantação e operação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro podem ter influenciado o aumento dos níveis de pH da sub-bacia em que está inserida. Pereira et al. (2006), ao estudarem uma lagoa costeira que recebe influência da mineração e processamento de minério de ferro, também verificaram um aumento no pH. Os autores constataram que isso provavelmente ocorreu devido ao aporte de nutrientes advindos da mina, que naturalmente contém fósforo, e do processamento do minério, que utiliza aminas no beneficiamento. Entretanto, como pode-se perceber pela Figura 8 e pela Figura 1, os níveis mais elevados de pH foram constatados principalmente durante a fase de instalação do empreendimento minerário, não podendo ser relacionado com a utilização de amina no beneficiamento. A falta de campanhas de monitoramento no ano de 2015 prejudicou a análise da influência da operação do empreendimento nos níveis de pH. Além disso, como não há dados de monitoramento da concentração de fósforo total nas águas superficiais, não se pode afirmar que a causa da elevação do pH na zona A em relação às outras zonas tenha sido uma suposta concentração elevada de fósforo na água.

5.1.2 *Sólidos dissolvidos Totais*

A Figura 9 apresenta as séries das médias de sólidos dissolvidos totais para as três zonas ao longo das campanhas realizadas. A Tabela 4 apresenta a estatística descritiva do parâmetro para tais zonas, anterior e posteriormente à implantação do empreendimento.

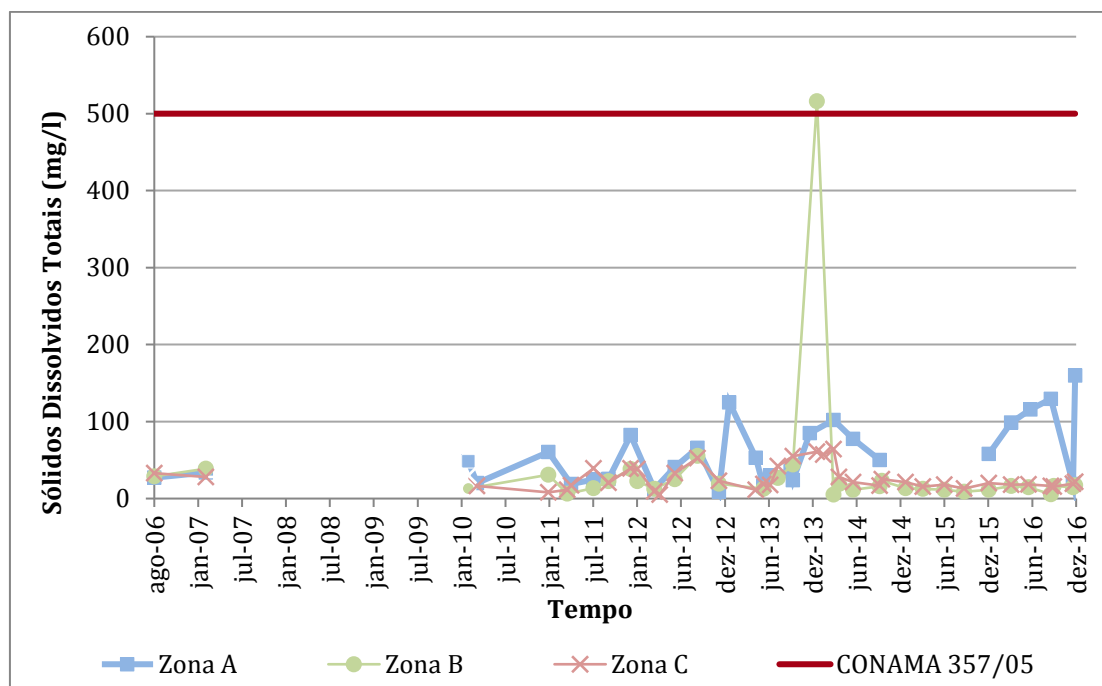


Figura 9. Séries temporais das médias de sólidos dissolvidos totais em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. A linha sólida representa o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).

Tabela 4. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro sólidos dissolvidos totais.

		Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l)							
	Zona	Nº de observações	Mín	Média (M)	Mediana (Mdn)	Máx	DP	Variância	CV (%)
Anterior	A	12	21,0	30,5	30,0	43,0	6,2	38,8	20,4
	B	12	<10,0	33,7	35,0	46,0	12,5	157	37,2
	C	9	10,0	30,2	29,0	55,0	14,3	205	47,4
Posterior	A	68	<10,0	57,9	39,7	283	63,0	3970	109
	B	107	<10,0	33,7	15,0	1458	140	19702	416
	C	291	<10,0	26,6	18,0	165	26,6	718	101

* DP- Desvio Padrão; CV- Coeficiente de Variação.

Pela Figura 9, pode-se notar que as médias de sólidos dissolvidos totais das zonas de pontos de monitoramento mantiveram-se abaixo do limite imposto pela legislação (500mg/l) durante todas as campanhas de monitoramento, exceto pela campanha de jan/14 da zona B (516mg/l). Nessa campanha o ponto de monitoramento P-B04 (situado no afluente do afluente do Córrego Bom Sucesso) apresentou a concentração de sólidos suspensos totais de 1458mg/l, mas os demais pontos da zona tiveram concentrações muito baixas (<87mg/l). Não choveu no

dia da coleta (08/01/14), bem como nos 5 dias que o antecederam, o que elimina a hipótese da causa desse valor elevado ser o carreamento de sólidos suspensos (e consequentemente aumento dos dissolvidos) provenientes da bacia hidrográfica. Além disso, o ponto P-B04 apresentou baixa turbidez (3,9UTN) e baixa concentração de sólidos em suspensão totais (12mg/l) nessa mesma campanha, sendo que estas variáveis apresentaram correlações significativas com a variável sólidos dissolvidos totais (teste de Spearman, $p < 0,05$) (Tabela 15). O ponto não localiza-se na sub-bacia onde localiza-se o empreendimento, então a elevada concentração de sólidos dissolvidos totais não está diretamente relacionada com a atividade minerária. Dessa forma, conclui-se que este é um valor anômalo, podendo se tratar de um *outlier*.

Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de sólidos dissolvidos totais entre as zonas de monitoramento anteriormente à implantação do empreendimento (testes de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) (Tabela 1). Já posteriormente ao início da implantação, percebe-se que há diferença entre os valores dessa variável entre as três zonas (teste de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) (Tabela 1). Quando compararam-se as zonas par a par, notou-se que todas as zonas apresentam diferenças entre si (teste de Mann Whitney, $p < 0,05$ para AxB, AxC e BxC), sendo que na zona A (Mdn=39,7mg/l) a concentração de sólidos dissolvidos tende a ser mais elevada do que nas demais zonas (Zona B: Mdn=15,0mg/l; Zona C: Mdn=18,0mg/l) (Tabela 2). Como o empreendimento minerário se localiza na zona A e verificou-se que esta tem concentrações maiores de sólidos dissolvidos do que as demais zonas, pode-se dizer que há evidências que a implantação e operação das atividades de mineração e beneficiamento de minério de ferro influenciaram no aumento das concentrações de sólidos dissolvidos totais dos corpos hídricos situados à sua adjacência. Esse resultado já era esperado uma vez que, como visto anteriormente, a operação e, principalmente, a implantação da atividade minerária implica em supressão de vegetação e remoção da camada de solo superficial, o que pode intensificar o carreamento de sedimentos para os corpos d'água, aumentando os níveis, de sólidos suspensos (ANA, 2006; MECHE & SANCHES, 2010; CETESB, 2016), e consequentemente, de sólidos dissolvidos. Além disso, na fase de operação, a concentração de sólidos dissolvidos nos corpos superficiais pode estar relacionada à concentração de íons do efluente do processo de beneficiamento do minério de ferro, como constatado por Pereira et al. (2008) ao estudarem os efeitos da mineração e processamento de minério de ferro sobre lagoas costeiras.

5.1.3 Sólidos em Suspensão Totais

A Figura 10 apresenta as séries das médias de sólidos em suspensão totais para as três zonas ao longo das campanhas. A Tabela 5 apresenta a estatística descritiva do parâmetro para tais zonas, anterior e posteriormente à implantação do empreendimento.

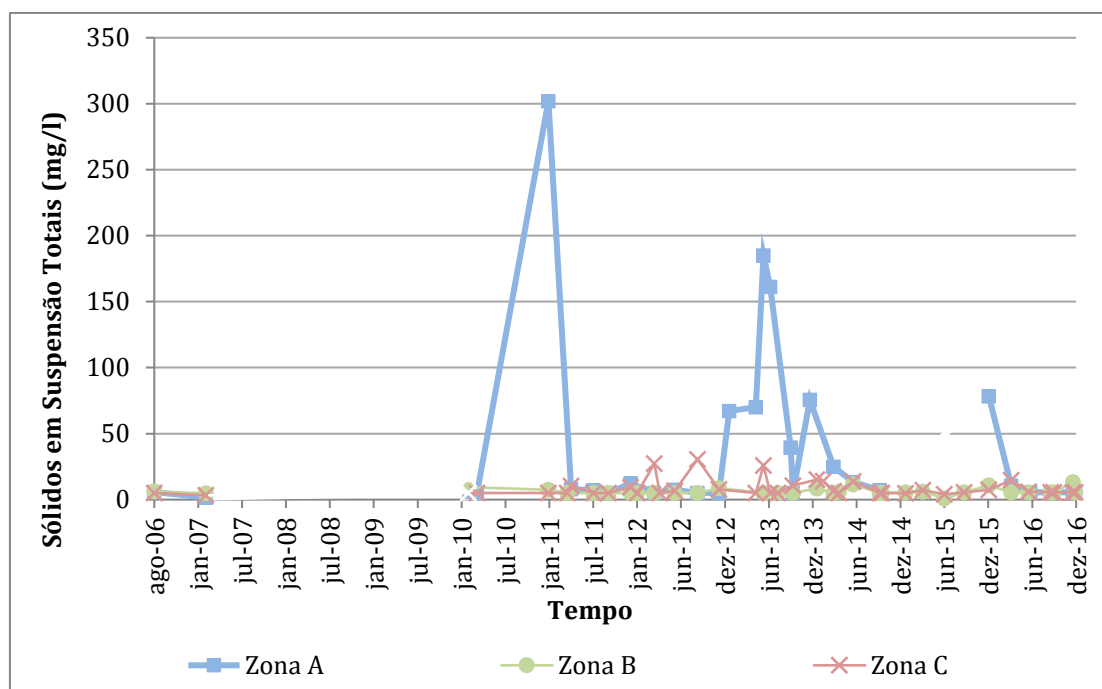


Figura 10. Séries temporais das médias de sólidos em suspensão totais em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras.

Tabela 5. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro sólidos em suspensão totais.

		Sólidos em Suspensão Totais (mg/l)							
	Zona	Nº de observações	Mín	Média (M)	Mediana (Mdn)	Máx	DP	Variância	CV (%)
Anterior	A	12	<0,50	3,7	4,5	10,0	2,8	7,8	75,2
	B	12	<0,50	5,4	5,0	23,0	6,5	42,0	119
	C	9	<0,50	4,0	5,0	10,5	3,1	9,3	75,7
Posterior	A	68	5,0	40,9	5,5	590	103	10638	252
	B	102	<2,0	6,1	5,0	31,0	4,2	17,4	68,5
	C	292	<2,0	9,4	5,0	338	27,3	743	288

* DP- Desvio Padrão; CV- Coeficiente de Variação.

A Resolução CONAMA 357/2005 não estabelece limite para a concentração de sólidos em suspensão totais em corpos hídricos de classe 2. Entretanto, pode-se notar, pela Figura 10

que, enquanto nas zonas B e C as concentrações médias se mantiveram abaixo de 31mg/l, na zona A houveram valores médios de concentração que superaram 100mg/l na fase de implantação da Etapa 1 do empreendimento minerário em jan/11 (302mg/l), em jun/13 (185mg/l), e jul/13 (161mg/l), e na fase de operação da Etapa 1 (após outubro de 2014), juntamente com a implantação da Etapa 2 (após outubro de 2015) (ver Figura 1).

O pico de jan/11 se deveu às altas concentrações das coletas dos pontos PA-02 (311mg/l) e PA-03 (590mg/l). No dia da coleta do ponto PA-02 para essa campanha, não houve precipitação significativa, e nem mesmo nos dias que o antecederam. Já no dia da coleta do ponto PA-03, houve precipitação de 22mm de chuva. Os picos das campanhas de jun/13 e jul/13 se deveram à alta concentração encontrada na coleta do ponto PA-02 (365mg/l e 403mg/l respectivamente). Nos dias da coleta do ponto PA-02 para a campanha de jun/13, houve precipitação de 22mm, e a precipitação acumulada dos cinco dias que o antecederam foi de 23mm. Já para a campanha de jul/13 não houve precipitação significativa, e nem mesmo nos cinco dias que o antecederam (0,2mm no dia de coleta e 1,5mm nos 5 dias antecessores). O pico ocorrido em dez/15, ou seja, durante a fase de operação, também deveu-se principalmente à campanha do ponto PA-02 (209mg/l), sendo que não houve precipitação no dia de sua coleta, mas choveu 58mm no terceiro dia anterior ao monitoramento.

Diante do exposto, dois dos três picos de concentração não pode ser diretamente relacionada à precipitação no dia da coleta ou nos cinco dias antecessores. Por outro lado, percebe-se que a grande maioria dos picos de concentração do parâmetro ocorreram na fase de implantação da Etapa 1 do empreendimento minerário, ou seja, entre dezembro de 2009 e outubro de 2014) (ver Figura 1; Figura 10), ou seja, na fase de obras e remoção de vegetação, e apenas na zona A. Dessa forma, pode-se relacionar as elevações nos valões médios de concentração de sólidos suspensos totais à fase de implantação do empreendimento minerário. resultado já era esperado, uma vez que a remoção da vegetação que ocorre nessa fase pode intensificar o carreamento de sólidos para os corpos d'água (ANA, 2006; MECHI & SANCHES, 2010; CETESB, 2016). O pico de na concentração média de sólidos em suspensão totais na zona A em dez/15 pode ser devido à influência da operação do empreendimento, entretanto, a falta de campanhas de monitoramento nessa zona durante o ano de 2015 prejudicou o que poderia ter sido uma análise mais precisa da influência da operação do empreendimento nas concentrações de sólidos em suspensão totais.

Além disso, quando comparadas as zonas de monitoramento no período anterior ao início da implantação da mineração, não observa-se diferenças significativas nas concentrações

de sólidos em suspensão totais entre elas (teste de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) (Tabela 1). Já posteriormente à implantação, percebe-se que há diferença entre os valores de sólidos em suspensão totais nas zonas (teste de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) (Tabela 1), sendo que na zona A, a concentração de sólidos suspensos totais é mais elevada ($Mdn=5,5mg/l$) do que na zona B ($Mdn=5,0mg/l$) (teste de Mann-Whitney, $p < 0,05$) e do que na zona C ($Mdn=5,0mg/l$) (teste de Mann-Whitney, $p < 0,05$) (Tabela 2). Como a atividade minerária localiza-se na zona A, constata-se que ela contribuiu no aumento da concentração desse parâmetro na sub-bacia em que está inserida. Esse resultado corrobora a assertiva anterior, de que os impactos gerados pelo empreendimento minerário, principalmente na fase de implantação, contribuíram para o carreamento de sólidos para os corpos d'água, causando o aumento da concentração de sólidos em suspensão totais (MECHI & SANCHES, 2010; CETESB, 2016).

Salienta-se que os parâmetros sólidos em suspensão totais, sólidos dissolvidos, turbidez, ferro total e manganês total apresentaram significativa correlação entre si (teste de Spearman, $p < 0,05$) (Tabela 15). Isso ocorre pois todos esses parâmetros são afetados pelo carreamento de sólidos para os corpos d'água, que é intensificado pela remoção da cobertura vegetal (ANA, 2006; MECI & SANCHES, 2010; CETESB, 2016), o que ocorre principalmente na fase de implantação de um empreendimento minerário. No caso do ferro total e manganês total, isso pode ocorrer pois a área de estudo está próxima do Quadrilátero Ferrífero, região onde foram encontradas elevadas concentrações desses metais (COSTA et al., 2003; RODRIGUES et al., 2014).

5.1.4 *Turbidez*

A Figura 11 apresenta as séries das médias de turbidez para as três zonas ao longo das campanhas. A Tabela 6 apresenta a estatística descritiva do parâmetro para tais zonas, anterior e posteriormente à implantação do empreendimento.

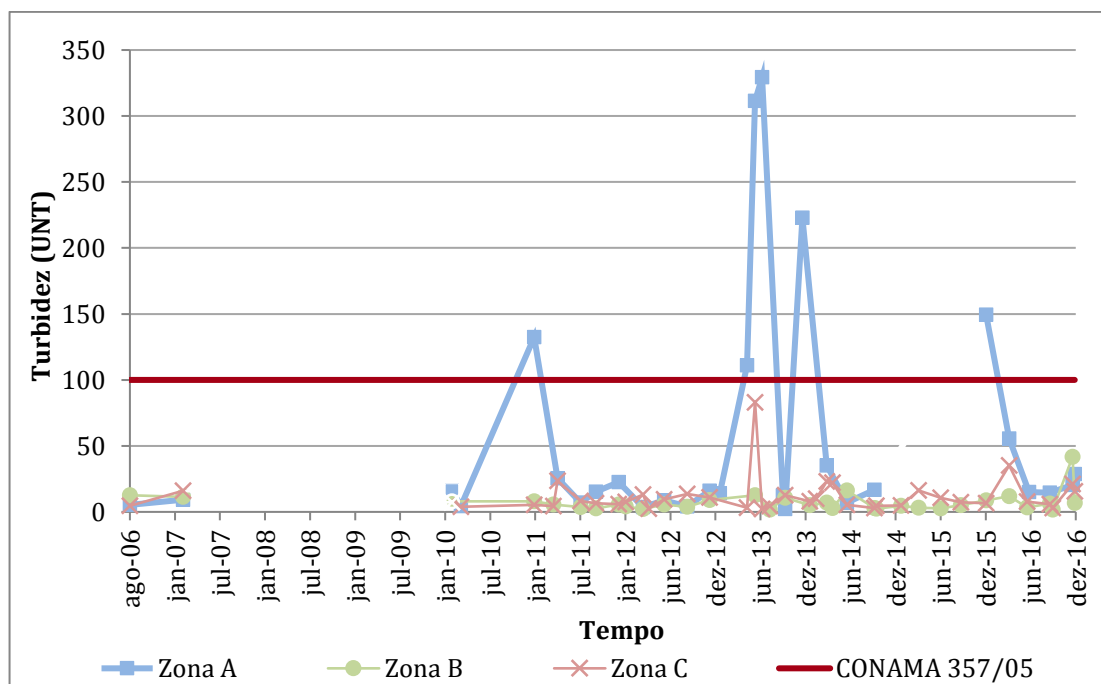


Figura 11. Séries temporais das médias de sólidos dissolvidos totais em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. A linha sólida representa o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).

Tabela 6. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro turbidez.

		Turbidez (UNT)							
	Zona	Nº de observações	Mín	Média (M)	Mediana (Mdn)	Máx	DP	Variância	CV (%)
Anterior	A	12	1,4	7,3	6,7	16,2	4,31	18,6	59,2
	B	12	1,6	12,0	12,0	23,2	6,08	37,0	50,6
	C	9	1,1	10,9	6,5	54,7	16,6	275	152
Posterior	A	68	0,79	58,4	13,3	799	139	19374	238
	B	107	<0,10	6,6	3,8	50,8	8,6	73,3	129
	C	284	<0,10	11,4	4,7	558	36,2	1309	318

* DP- Desvio Padrão; CV- Coeficiente de Variação.

Pela Figura 11, verifica-se que apenas o valor médio da zona A ultrapassou o limite imposto pela norma para turbidez (100UNT), e isso ocorreu em 6 momentos: na fase de implantação da Etapa 1 do empreendimento (ver Figura 1), em janeiro de 2011 (132UNT), em maio, junho, julho e dezembro de 2013 (111UNT, 311UNT e 329UNT, respectivamente); e na fase de operação da Etapa 1 e implantação da Etapa 2 (Figura 1), em dezembro de 2015 (149UNT). Observa-se pela Figura 11 que os picos de concentração de turbidez na zona A

aconteceram nas mesmas campanhas em que ocorreram picos de sólidos em suspensão (Figura 10). Isso porque esses parâmetros estão correlacionados (teste de Spearman, $p < 0,05$) (Tabela 15). Dessa forma, percebe-se que, similarmente aos sólidos em suspensão totais, os picos de turbidez podem ter sido causados pelas obras de implantação do empreendimento mineral, que intensificam o carreamento de sólidos para os corpos d'água, contribuindo para o aumento da turbidez dos mesmos (ANA, 2006; MECCHI & SANCHES, 2010; CETESB, 2016). O pico nos níveis médios de turbidez na zona A em dez/15 pode ser devido à influência da operação do empreendimento, entretanto, a falta de campanhas de monitoramento nessa zona durante o ano de 2015 prejudicou o que poderia ter sido uma análise mais precisa da influência da operação do empreendimento nos níveis do parâmetro.

Quanto à análise comparativa entre zonas, não foram observadas diferenças significativas nos níveis de turbidez anteriormente ao início da implantação do empreendimento (teste de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Já posteriormente à implantação, percebe-se que há diferença entre os valores de turbidez nas três zonas (teste de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$), sendo mais elevada na zona A (Mdn=13,3UNT) do que na zona B (Mdn=3,8 UNT) (teste de Mann-Whitney, $p < 0,05$) e do que na zona C (Mdn=4,7 UNT) (teste de Mann-Whitney, $p < 0,05$) (Tabela 2). Como a atividade minerária localiza-se na zona A, constata-se que ela influenciou no aumento dos níveis de do parâmetro em questão na sub-bacia em que está inserida. . Esse resultado corrobora a assertiva anterior, de que os impactos gerados pelo empreendimento mineral, principalmente na fase de implantação, contribuíram para o carreamento de sólidos para os corpos d'água, causando o aumento dos níveis de turbidez (MECCHI & SANCHES, 2010; CETESB, 2016).

5.1.5 *Ferro Total*

A Figura 12 apresenta as séries das médias de ferro total para as três zonas ao longo das campanhas. A Tabela 7 apresenta a estatística descritiva do parâmetro para tais zonas, anterior e posteriormente à implantação do empreendimento.

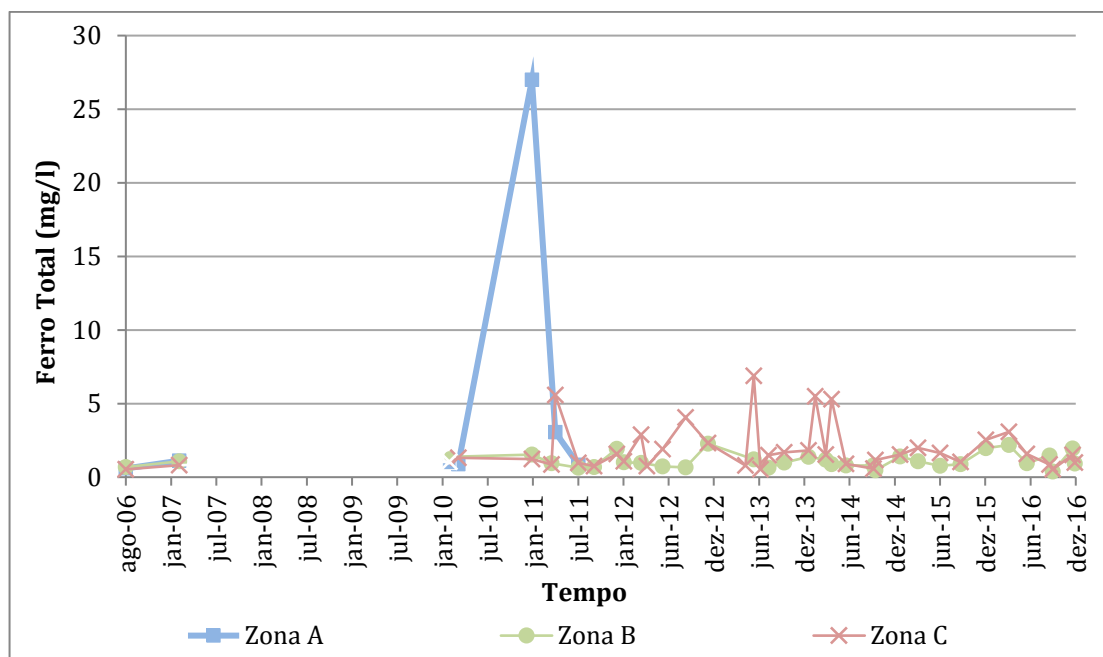


Figura 12. Séries temporais das médias de ferro total em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras.

Tabela 7. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro ferro total.

		Ferro Total (mg/l)							
	Zona	Nº observações	Mín	Média (M)	Mediana (Mdn)	Máx	DP	Variância	CV (%)
Anterior	A	12	<0,05	0,85	0,73	3,2	0,82	0,67	96,0
	B	12	<0,05	0,88	0,76	1,9	0,72	0,51	81,6
	C	9	0,09	0,69	0,56	1,8	0,46	0,21	66,8
Posterior	A	14	0,44	7,4	2,2	69,0	17,9	319,6	241
	B	107	0,27	1,2	0,85	4,9	0,85	0,72	74,0
	C	288	<0,05	1,8	1,0	42,4	3,8	14,4	210

* DP- Desvio Padrão; CV- Coeficiente de Variação.

A Resolução CONAMA 357/2005 não estabelece limite para a concentração de ferro total. Entretanto, pode-se notar, pela Figura 12, que há um valor médio elevado na zona A, mais especificamente na campanha realizada em jan/11 (27mg/l). Esse pico se deve a alta concentração de ferro encontrada no ponto PA-03 (69mg/l) nessa campanha. Ressalta-se que, no dia de coleta, houve precipitação de 23mm de chuva e que o parâmetro tem correlação muito significativa com a precipitação mensal (teste de Spearman, $p < 0,05$) (Tabela 15). Além disso, essa campanha aconteceu na fase implantação da Etapa 1 do empreendimento minerário e pode ter sido resultado da intensificação da erosão do solo devido às obras civis e remoção de

cobertura vegetal que ocorrem nessa fase (ANA, 2006; MECCHI & SANCHES, 2010), aliadas à precipitação ocorrida no dia de coleta, já que a área de estudo está próxima do Quadrilátero Ferrífero, região em que os corpos hídricos apresentam valores de *background* naturalmente elevados para ferro e manganês (COSTA et al., 2003; RODRIGUES et al., 2014). Ressalta-se que o número de campanhas realizadas para o monitoramento desse parâmetro na zona A posteriormente ao início da implantação do empreendimento foi muito baixo (14 campanhas) (Tabela 7), e que elas se concentraram entre fev/10 e jul/11, ou seja, no início da implantação da etapa um do empreendimento. Dessa forma, não há como avaliar se a operação do empreendimento influenciou na concentração de ferro total.

Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de ferro total entre as zonas de monitoramento anteriormente ao início da implantação do empreendimento (teste de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) (Tabela 1). Já durante a implantação, percebe-se que há diferença entre os valores dessa variável nas três zonas (teste de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) (Tabela 1), sendo que na zona A, a concentração de ferro total é mais elevada (Mdn=2,2mg/l) do que na zona B (Mdn=0,85mg/l) (teste de Mann-Whitney, $p < 0,05$) e do que na zona C (Mdn=1,0mg/l) (teste de Mann-Whitney, $p < 0,05$) (Tabela 2). Como o empreendimento localiza-se na zona A, constata-se que sua implantação pode ter influenciado na concentração de ferro total nos corpos hídricos da sub-bacia em que está inserida. Esse resultado já era esperado, uma vez que, como visto anteriormente, a implantação de um empreendimento minerário envolve remoção de vegetação, o que intensifica o carreamento de sedimentos do solo para os corpos hídricos (ANA, 2006; MECCHI & SANCHES, 2010) e a área está próxima ao Quadrilátero Ferrífero, região onde foram constatados altas concentrações de ferro no solo (COSTA et al., 2003; RODRIGUES et al., 2014), sendo este o mineral extraído pelo empreendimento em questão.

5.1.6 *Manganês Total*

A Figura 13 apresenta as séries das médias de manganês total para as três zonas ao longo das campanhas. A Tabela 8 apresenta a estatística descritiva do parâmetro para tais zonas, anterior e posteriormente à implantação do empreendimento.

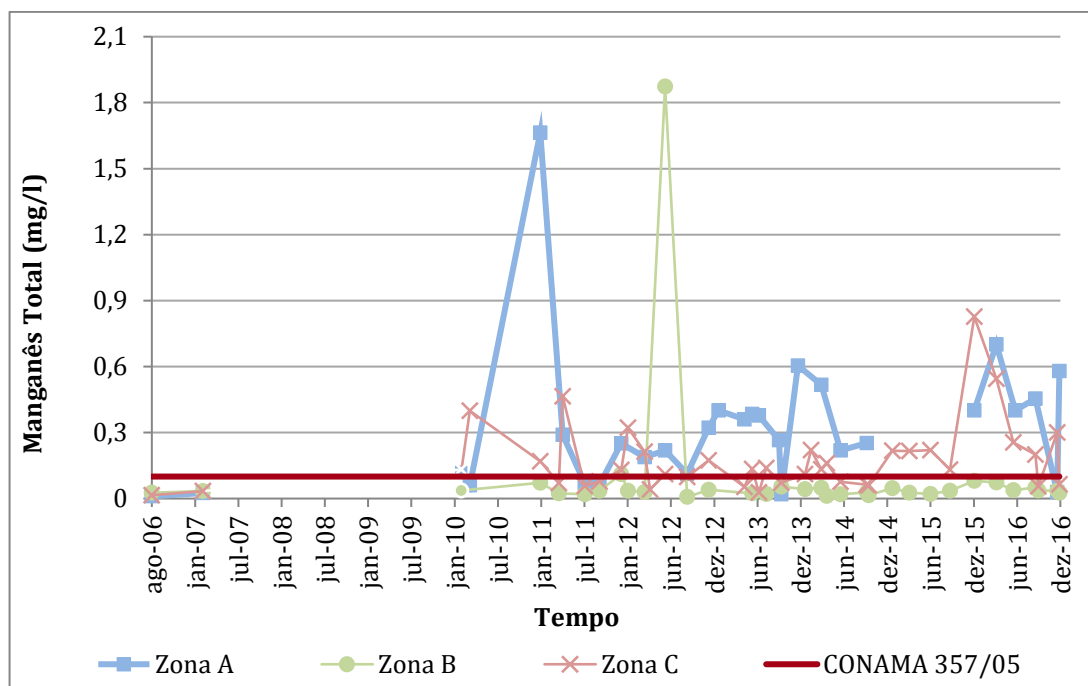


Figura 13. Séries temporais das médias de manganês total em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. A linha sólida representa o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).

Tabela 8. Estatística descritiva das zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro manganês total.

		Manganês Total (mg/l)							
	Zona	Nº de observações	Mín	Média (M)	Mediana (Mdn)	Máx	DP	Variância	CV (%)
Anterior	A	12	<0,02	0,02	0,02	0,03	$8,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$	44,6
	B	12	<0,02	0,03	0,03	0,05	0,02	$3,0 \times 10^{-4}$	54,0
	C	9	<0,02	0,03	0,03	0,07	0,02	$3,0 \times 10^{-4}$	71,9
Posterior	A	68	<0,02	0,37	0,23	3,5	0,51	0,26	138
	B	107	<0,02	0,12	0,03	9,3	0,90	0,81	720
	C	292	<0,02	0,18	0,06	3,4	0,36	0,13	199

* DP- Desvio Padrão; CV- Coeficiente de Variação.

Constata-se, através da Figura 13, que as concentrações médias de manganês total nas zonas ultrapassaram o limite legal imposto pela Resolução CONAMA 357/05 para classe 2 em muitas campanhas posteriores ao início da implantação do empreendimento minerário, tanto nos anos correspondentes a etapas de implantação quanto nas etapas de operação (ver Figura 1). Notam-se concentrações elevadas em relação às demais na campanha de jan/11 na zona A (1,7mg/l) e na campanha de jun/12 na zona B (1,9mg/l), ambas ocorridas na etapa de

implantação da Etapa 1 do empreendimento. Esse valor médio mais acentuado na zona A ocorreu devido às altas concentrações, principalmente, no ponto P-A03 (3,5mg/l), sendo que, como explicado anteriormente, no dia dessa campanha a precipitação foi de 22,3mm de chuva. Já o pico mais relevante da zona B ocorreu devido à alta concentração do ponto P-B02, sendo que no dia da campanha não houve chuva significativa, nem mesmo nos dias que o antecederam. Vale lembrar que, como mencionado anteriormente, o solo da região é rico em manganês e os corpos hídricos apresentam valores de *background* naturalmente superior à Resolução CONAMA 357/05 (COSTA et al., 2003; RODRIGUES et al., 2014).

Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de manganês total entre as zonas de monitoramento anteriormente à implantação do empreendimento (teste de Kruskal-Wallis, $p>0,05$) (Tabela 1). Já posteriormente à implantação, percebe-se que há diferença entre os valores dessa variável em cada uma das três zonas (teste de Kruskal-Wallis, $p<0,05$) (Tabela 1). Quando compararam-se as zonas par a par, notou-se que todas as zonas apresentam diferenças entre si (teste de Mann-Whitney, $p<0,05$ para AxB, AxC e BxC), mas a zona A apresentou concentração média (Mdn=0,23mg/l) mais elevada que as demais zonas (Zona B: Mdn= 0,03mg/l; Zona C: Mdn=0,06mg/l) (Tabela 2). Como a atividade minerária localiza-se na zona A, constata-se que ela influenciou no aumento da concentração de manganês na sub-bacia em que está inserida. Esse resultado já era esperado, uma vez que a implantação e operação das atividades de extração de minério de ferro podem contribuir para a intensificação do carreamento de solo para os corpos hídricos (ANA, 2006; MECHI & SANCHES, 2010), a área de estudo está próxima do Quadrilátero Ferrífero, região onde o solo é rico em manganês (COSTA et al., 2003; RODRIGUES et al., 2014).

5.1.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Figura 14 apresenta as séries das médias de DBO para as três zonas ao longo das campanhas. A Tabela 9 apresenta a estatística descritiva do parâmetro para tais zonas, anterior e posteriormente à implantação do empreendimento.

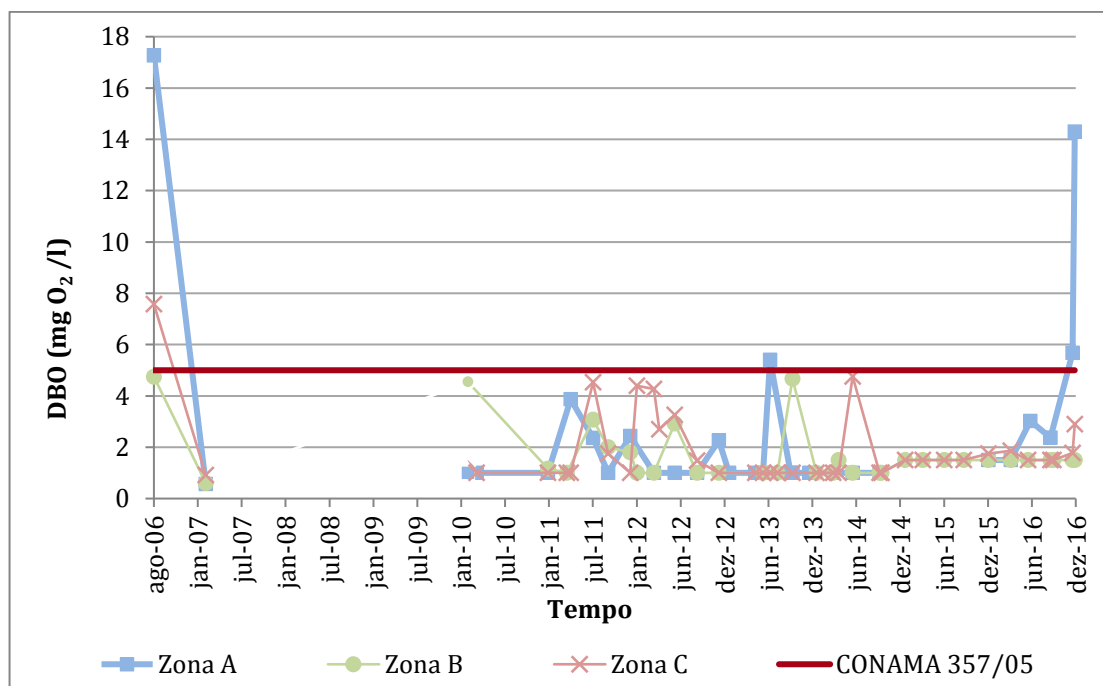


Figura 14. Séries temporais das médias de DBO em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. A linha sólida representa o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).

Tabela 9. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro DBO₅.

		DBO ₅ (mg O ₂ /l)							
Zona		Nº de observações	Mín.	Média (M)	Mediana (Mdn)	Máx	DP	Variância	CV (%)
Anterior	A	12	0,30	8,9	1,2	42,3	13,7	187	153
	B	12	0,30	2,7	1,2	10,6	3,4	11,4	126
	C	9	0,40	3,9	1,5	16,3	5,7	32,7	147
Posterior	A	68	<2	2,3	1,0	27,1	3,9	15,0	169
	B	106	<2	1,7	1,0	13,2	2,0	3,8	112
	C	291	<2	1,8	1,0	25,7	2,5	6,3	136

* DP- Desvio Padrão; CV- Coeficiente de Variação.

Através da Figura 14, constata-se que na 1ª campanha de monitoramento anterior à implantação do empreendimento (ago/06) os valores médios de DBO foram altos, principalmente na zona A, que atingiu 17,3mgO₂/l. Já na 2ª campanha anterior (mar/07), os valores dos três grupos atingiram baixas concentrações. Após o início da implantação do empreendimento, verificam-se alguns picos próximos ao limite legal imposto pela Resolução CONAMA 357/05 para corpos hídricos classe 2 (5mgO₂/l), havendo ultrapassagens na zona A

em jul/13 (5,4 mgO₂/l), na fase de implantação da Etapa 1, e em nov/16 (5,68mgO₂/l) e dez/16 (14,3mgO₂/l), na fase de operação das Etapas 1 e 2 (ver Figura 1). O parâmetro DBO apresentou significativa correlação com a precipitação pluviométrica mensal ($p < 0,05$), podendo ser este um fator contribuinte para os picos observados na Figura 14. Não foi possível analisar a relação da precipitação diária com os dois principais picos de concentração, uma vez que não houveram dados pluviométricos registrados na área de estudo previamente ao ano de 2008, e não obteve-se acesso aos dados de precipitação posteriormente ao mês de maio de 2016.

Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de DBO entre as zonas de monitoramento anteriormente ou posteriormente ao início da implantação do empreendimento (teste de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) (Tabela 1). Portanto não há evidências que a mineração influencia as concentrações de matéria orgânica biodegradável nos corpos hídricos adjacentes.

5.1.8 Chumbo Total

A Figura 15 apresenta as séries das médias de chumbo total para as três zonas ao longo das campanhas. A Tabela 10 apresenta a estatística descritiva do parâmetro para tais zonas, anterior e posteriormente à implantação do empreendimento.

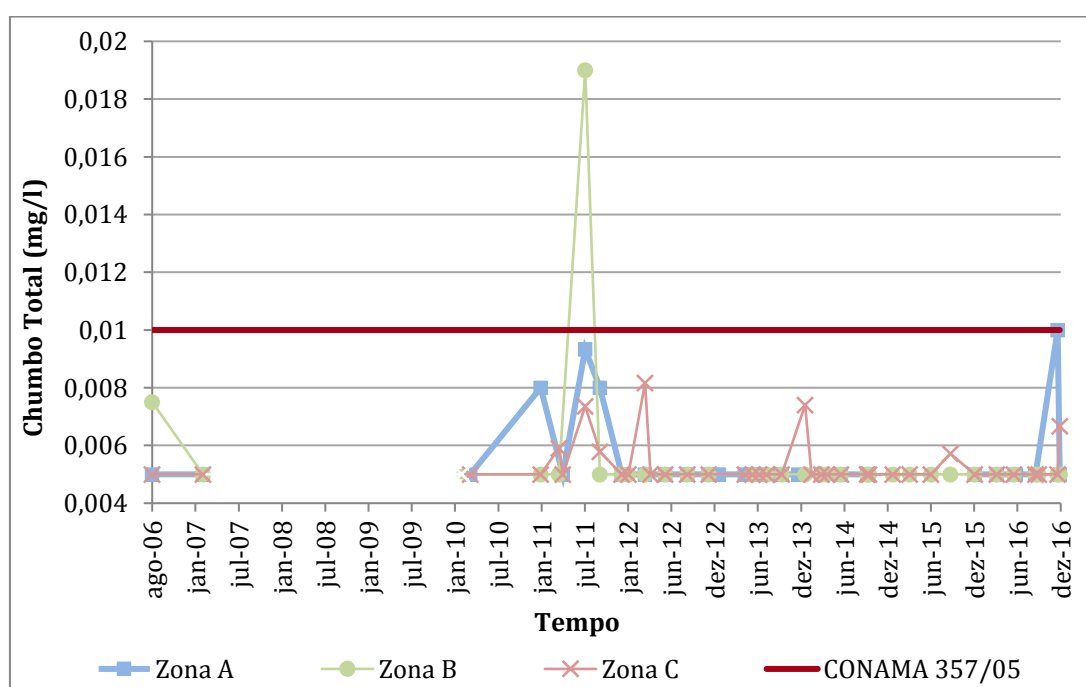


Figura 15. Séries temporais das médias de chumbo total em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. A linha sólida representa o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).

Tabela 10. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro Chumbo Total.

		Chumbo Total (mg/l)							
	Zona	Nº de observações	Mín	Média (M)	Mediana (Mdn)	Máx	DP	Variância	CV (%)
Anterior	A	12	<0,02	5,0x10 ⁻³	5,0x10 ⁻³	5,0x10 ⁻³	0	0	0
	B	12	<0,02	6,0x10 ⁻³	5,0x10 ⁻³	0,02	4,0x10 ⁻³	0	66
	C	9	<0,02	5,0x10 ⁻³	5,0x10 ⁻³	5,0x10 ⁻³	0	0	0
Posterior	A	68	<0,02	6,0x10 ⁻³	5,0x10 ⁻³	0,02	2,0x10 ⁻³	0	33
	B	107	<0,02	6,0x10 ⁻³	5,0x10 ⁻³	0,06	6,0x10 ⁻³	0	100
	C	292	<0,02	5,0x10 ⁻³	5,0x10 ⁻³	0,03	3,0x10 ⁻³	0	60

* DP- Desvio Padrão; CV- Coeficiente de Variação.

A Figura 15 mostra picos de valores médios de chumbo total na campanha de jul/11 nas três zonas, sendo que a zona B extrapola o valor limite imposto pela Resolução CONAMA 357/05 para corpos hídricos de classe 2 (0,01mg/l), atingindo uma concentração de 0,019mg/l. Embora o limite não tenha sido extrapolado pelas médias das zonas, observa-se através dos valores máximos que houveram extrapolações em todas as zonas no período posterior ao início da implantação do empreendimento minerário (Tabela 10). Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de chumbo total entre as zonas de monitoramento anteriormente ou posteriormente ao início da implantação do empreendimento (teste de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) (Tabela 1). Dessa forma, acredita-se que a mineração não exerceu influência sobre a concentração de chumbo total nos corpos hídricos adjacentes. Como se trata de uma variável ambiental, muitos fatores que não foram analisados no presente estudo podem influenciar na sua concentração no ambiente aquático. Costa et al. (2003) verificaram que as concentrações de chumbo no Quadrilátero Ferrífero, região próxima à área de estudo, não eram associadas à mineração de ferro, mas às formações geológicas da região. A presença do metal na formação geológica da região pode ser uma explicação para as elevações nas concentrações observadas na Figura 15.

5.1.9 Mercúrio Total

A Figura 16 apresenta as séries das médias de mercúrio total para as três zonas ao longo das campanhas. A Tabela 11 apresenta a estatística descritiva do parâmetro para tais zonas, anterior e posteriormente à implantação do empreendimento.

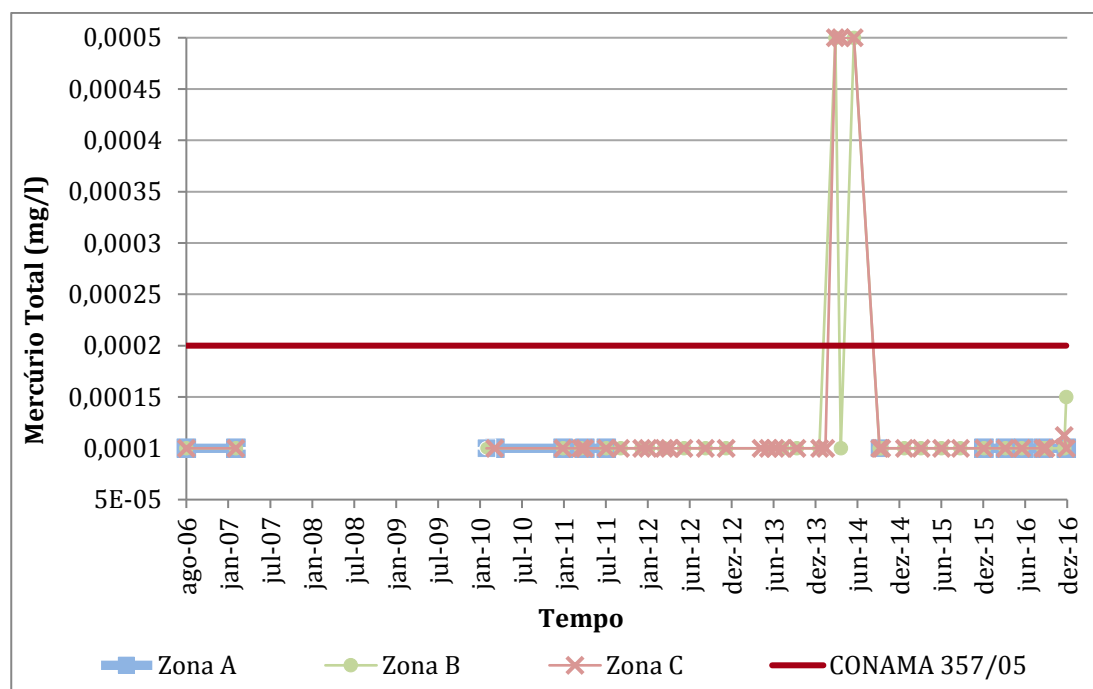


Figura 16. Séries temporais das médias de mercúrio total em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras. A linha sólida representa o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (classe 2).

Tabela 11. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro mercúrio total.

		Mercúrio Total (mg/l)							
	Zona	Nº de observações	Mín	Média (M)	Mediana (Mdn)	Máx	DP	Variância	CV (%)
Anterior	A	12	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	0	0	0
	B	12	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	0	0	0
	C	9	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	0	0	0
Posterior	A	26	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	0	0	0
	B	107	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-4}$	0	100
	C	286	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-4}$	0	100

* DP- Desvio Padrão; CV- Coeficiente de Variação.

O gráfico da Figura 16 apresenta concentrações constantes de mercúrio total abaixo do limite de detecção durante as campanhas de monitoramento, exceto pelas campanhas realizadas entre março e junho de 2014, nas quais as zonas B e C apresentam uma concentração média muito elevada (0,0005mg/l), quando comparado à concentração limite estabelecida pela Resolução CONAMA 357/05 para classe 2 (0,0002mg/l). Não houve monitoramento de mercúrio total na zona A entre set/2011 e set/15, com exceção da campanha realizada em set/14, que apresentou valor médio menor que o LD. Como o empreendimento não se localiza nas zonas onde houve os picos, não há como relacionar as atividades minerárias com as elevadas concentrações do parâmetro.

Estatisticamente não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de mercúrio total entre as zonas de monitoramento anteriormente ou posteriormente ao início da implantação do empreendimento (teste de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) (Tabela 1). Portanto, não há indícios de que a implantação e operação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro influenciaram nas concentrações de mercúrio total dos corpos lóticos adjacentes. Similarmente, Costa et al. (2003) verificaram que as elevadas concentrações de mercúrio no Quadrilátero Ferrífero, região próxima à área de estudo, estavam ligadas não aos impactos da mineração de ferro, mas ao uso de mercúrio nos duzentos anos de exploração aurífera que ocorreu na região durante os séculos 18 e 19.

5.1.10 Óleos e Graxas

A Figura 17 apresenta as séries das médias de óleos e graxas para as três zonas ao longo das campanhas. A Tabela 12 apresenta a estatística descritiva do parâmetro para tais zonas, anterior e posteriormente à implantação do empreendimento.

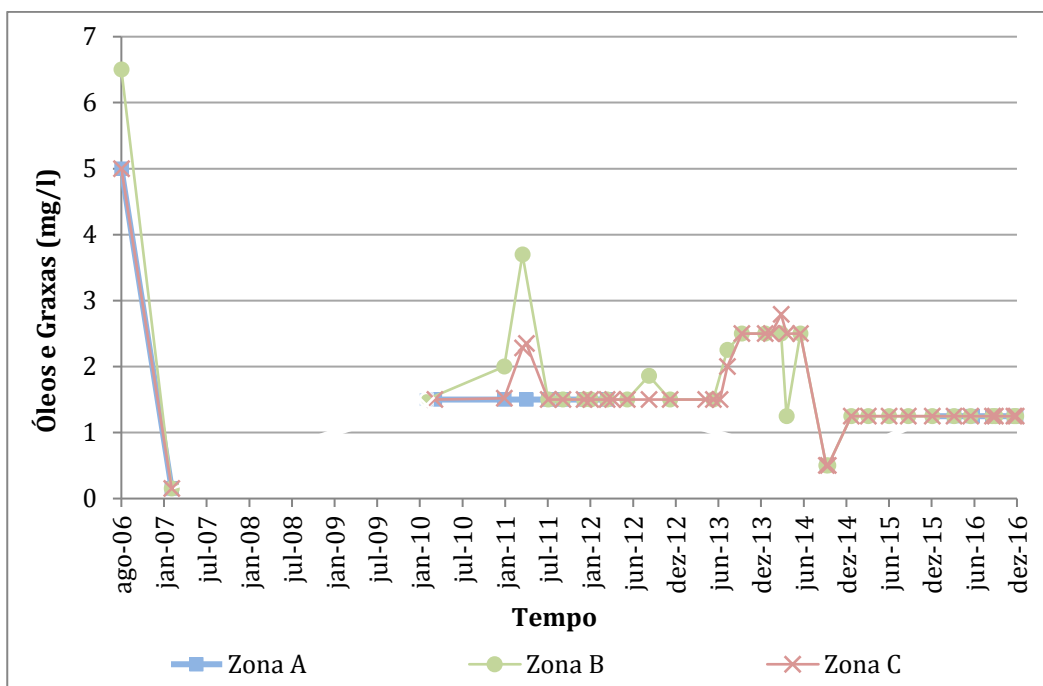


Figura 17. Séries temporais das médias de óleos e graxas em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras.

Tabela 12. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro óleos e graxas.

		Óleos e Graxas (mg/l)							
	Zona	Nº de observações	Mín	Média (M)	Mediana (Mdn)	Máx	DP	Variância	CV (%)
Anterior	A	12	<0,30	2,6	2,6	5,0	2,5	6,4	98
	B	12	<0,30	3,3	2,6	14,0	4,1	17,1	124
	C	9	<0,30	2,3	<0,30	5,0	2,6	6,5	110
Posterior	A	29	<1,0	1,3	1,3	1,5	0,29	0,09	22
	B	107	<1,0	1,7	1,5	14,7	1,36	1,8	79
	C	291	<1,0	1,6	1,5	5,7	0,60	0,37	37

* DP- Desvio Padrão; CV- Coeficiente de Variação.

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece para corpos hídricos classe 2 óleos e graxas devem ser virtualmente ausentes. Analisando a Figura 17, nota-se que a 1ª campanha de monitoramento, que ocorreu anteriormente à implantação do empreendimento, foi a campanha com maior concentração média do parâmetro em questão nas três zonas, ultrapassando 5mg/l. Na 2ª campanha anterior à mineração, os valores foram bem inferiores (0,15mg/l para as três zonas). Os resultados das campanhas posteriores variaram bastante para as três zonas, com alguns picos de concentração, sendo que o mais alto aconteceu na zona B, em mar/11, em que

a concentração média de óleos e graxas chegou a 3,7mg/l. Essa concentração elevada deveu-se exclusivamente à coleta do ponto P-B06 que apresentou uma concentração de 14,7 mg/l, enquanto os demais pontos da zona tiveram concentração constante igual a 1,5mg/l, se tratando portanto de uma contaminação pontual. Como os picos de concentração não foram verificados na zona A, não se pode relacioná-los à implantação da mineradora.

Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de óleos e graxas entre as zonas de monitoramento anteriormente à implantação do empreendimento (teste de Kruskal-Wallis, $p>0,05$) (Tabela 1). Já posteriormente à implantação, percebe-se que há diferença entre os valores deste parâmetro nas três zonas (teste de Kruskal-Wallis, $p<0,05$) (Tabela 1), sendo que na zona A a concentração é menor (Mdn=1,3 mg/l) do que nas zonas B (Mdn=1,5 mg/l) e C (Mdn=1,5 mg/l) (teste de Mann-Whitney, $p<0,05$) (Tabela 2). Esse resultado pode ser devido ao reduzido número de observações na zona A (29 observações) (Tabela 12). Além disso, a mudança do limite de detecção ocorrida entre as o período anterior e posterior ao início da implantação do empreendimento pode ter prejudicado essa análise.

5.1.11 *Coliformes termotolerantes*

A Figura 18 apresenta as séries das médias de coliformes termotolerantes para as três zonas ao longo das campanhas. A Tabela 13 apresenta a estatística descritiva do parâmetro para tais zonas, anterior e posteriormente à implantação do empreendimento.

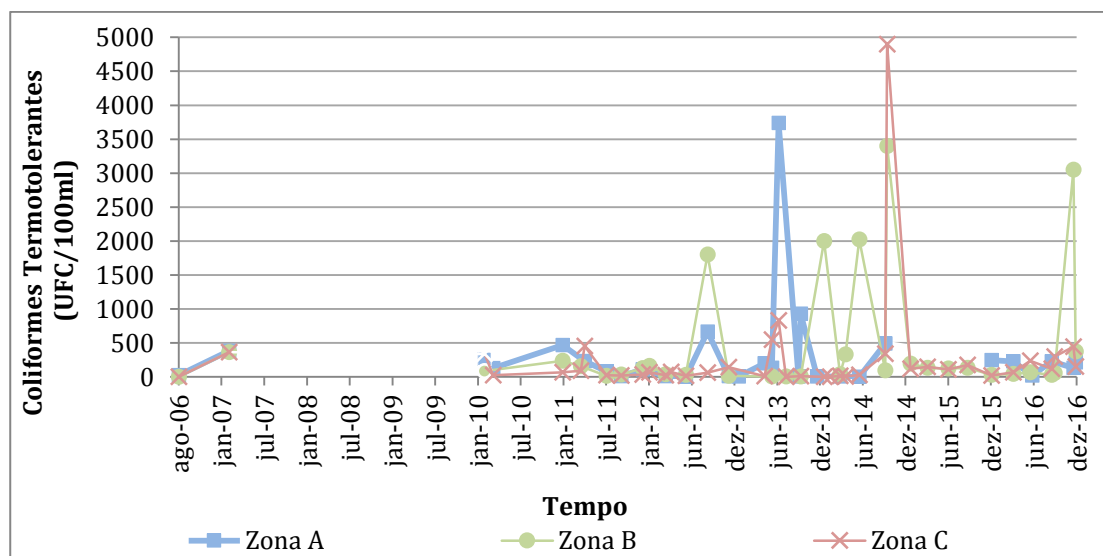


Figura 18. Séries temporais das médias de coliformes termotolerantes em corpos d'água superficiais localizados na região do Sistema Minas Rio, empreendimento de extração e beneficiamento de minério de ferro. As zonas A, B e C correspondem a grupos de locais de coleta de amostras.

Tabela 13. Estatística descritiva das Zonas anterior e posteriormente à implantação do Sistema Minas-Rio para o parâmetro coliformes termotolerantes.

		Coliformes Termotolerantes (UFC/100ml)							
	Zona	Nº de observações	Mín	Média (M)	Mediana (Mdn)	Máx	DP	Variância	CV (%)
Anterior	A	12	<1,0	206	78	800	259	67328	125
	B	12	<1,0	182	91	550	219	48147	119
	C	9	<1,0	203	60	620	253	64072	124
Posterior	A	68	<1,0	335	90	10000	1221	1489682	364
	B	107	<1,0	361	37	6000	1131	1279048	313
	C	291	<1,0	151	16	6000	557	310584	369

* DP- Desvio Padrão; CV- Coeficiente de Variação.

De acordo com a Resolução CONAMA Nº 357/05, para usos que não envolvam contato primário, não deverá ser excedido um limite de 1.000UFC/100ml em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral, para águas de classe 2. Não analisa-se aqui pontos individuais, mas grupos de pontos. Além disso, as amostragens do presente estudo foram realizadas trimestralmente. Dessa forma, a resolução em questão não pode ser usada aqui para determinar se o parâmetro coliformes fecais ultrapassou ou não o limite estabelecido. Entretanto, tomemos o valor de 1.000UFC/100ml como base de comparação. Como pode ser observado na Figura 18, esse valor foi ultrapassado uma vez pelos valores médios da zona A, em jul/13 (3740UFC/100ml) e na zona C em out/14 (4900 UFC/100ml), na fase de implantação. O pico da zona A deve-se à alta concentração

encontrada no ponto individual P-A01 (10.000UFC/100ml). Não choveu significativamente no dia da coleta (0,2mm) ou nos cinco dias que a antecederam (1,3mm). Já o pico na zona C deveu-se a alta concentração do ponto P-C02, sendo que no dia de coleta choveu 10,8mm. Já os valores médios da zona B ultrapassaram esse limite quatro vezes na fase de implantação da Etapa 1 e uma vez nas fases de operação das Etapas 1 e 2 (em set/12: 1800UFC/100ml, em jan/14: 2000 UFC/100ml, em jun/14: 2022UFC/100m, em out/14: 3400UFC/100ml, e em nov/2016: 3050UFC/100ml). Os picos da zona B ocorreram em meses de seca. Verificou-se que não houve precipitação pluviométrica na maioria dos dias das coletas dessas campanhas, assim como nos dias antecessores. Dessa forma, não se pode correlacionar os picos de concentração de coliformes termotolerantes com os níveis de precipitação diários.

Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de coliformes fecais entre as zonas de monitoramento anteriormente à implantação do empreendimento (teste de Kruskal Wallis, $p>0,05$) (Tabela 1). Já posteriormente à implantação, percebe-se que há diferença entre os valores deste parâmetro nas três zonas (teste de Kruskal-Wallis, $p<0,05$) (Tabela 1), sendo que na zona C a concentração é menor ($Mdn=16UFC/100ml$) do que nas zonas A ($Mdn=90UFC/100ml$) (teste de Mann-Whitney, $p<0,05$) e na zona B ($Mdn=37UFC/100ml$) (teste de Mann-Whitney, $p<0,05$) (Tabela 2). Entretanto, não houve diferença significativa entre as zonas A e B (teste de Mann-Whitney, $p>0,05$) e, portanto, não há indícios suficientes para afirmar que a mineração possa ter influenciado na concentração de coliformes termotolerantes dos corpos lóticos da sub-bacia em que está inserida. Como mencionado anteriormente, o parâmetro coliformes termotolerantes está relacionado à contaminação fecal e, por isso, normalmente está vinculado com o despejo de efluentes sanitários ou excretas de aves e mamíferos (VON SPERLING, 2014; CETEST, 2016). Também foi visto que a empresa tem medidas de controle para os efluentes sanitários gerados, contando com 20 estações de tratamento de efluentes sanitários e oleosos (MDGEO, 2017). Dessa forma, já era esperado que a mineração não influenciasse na concentração de coliformes fecais dos corpos hídricos adjacentes ao empreendimento.

5.2 Comparação entre períodos de coleta (Anterior x Posterior)

A zona A foi o local de coleta que mais se destacou na comparação entre zonas realizada no item anterior para cada parâmetro. Para avaliar se a implantação e operação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro influenciaram de fato nos parâmetros de

qualidade de água dos corpos lóticos próximos ao empreendimento, realizou-se também a comparação dessas variáveis na zona A entre o período de coleta anterior ao início da implantação do empreendimento e o período posterior. Para tanto, buscou-se analisar períodos de precipitação semelhantes, comparando-se dados de período chuvoso, antes e depois da implantação do empreendimento, bem como de períodos de seca antes e depois. Desta forma, foram comparados os resultados dos parâmetros de qualidade de água referentes às coletas realizadas em agosto de 2006 (período anterior ao início da implantação do empreendimento) com as coletas realizadas nos meses de junho, julho e agosto de 2010 a 2016 (período posterior ao início da implantação do empreendimento). Além disso, os resultados dos parâmetros referentes à coleta de março de 2007 foram comparados com os resultados das coletas realizadas nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2010 a 2016. Essas comparações foram testadas através do teste de Mann-Whitney, cujos resultados estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Níveis descritivos (p) do teste de Mann-Whitney que compara o efeito dos períodos de coleta (anterior e posterior ao início da implantação do Sistema Minas-Rio) sobre as variáveis das coletas realizadas na zona A, para o período de chuva (janeiro, fevereiro e março), e para o período de seca (junho, julho e agosto)

Variáveis	Coletas de janeiro, fevereiro e março			Coletas de junho, julho e agosto		
	p	Mediana (Mdn)		p	Mediana (Mdn)	
		Ant.	Post.		Ant.	Post.
pH	0,15	6,6	7,0	0,50	6,6	6,9
Turbidez	0,62	8,9	11,9	0,04	5,4	8,7
Sólidos dissolvidos totais	0,62	33	44,8	0,49	35	48,5
Sólidos em suspensão totais	0,00	1,3	5,3	0,05	5	5,5
DBO	0,00	0,55	<2,0	$1,0 \times 10^{-3}$	12,7	<2,0
Chumbo total	1,0	<0,02	<0,02	0,88	<0,02	<0,02
Ferro total	0,64	0,86	0,92	0,55	0,68	0,75
Manganês total	0,00	0,03	0,24	0	<0,02	0,21
Mercurio Total	1,0	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$	1,0	$<2,0 \times 10^{-4}$	$<2,0 \times 10^{-4}$
Óleos e graxas	$2,0 \times 10^{-3}$	<0,30	1,4	$1,0 \times 10^{-3}$	5,0	1,3
Coliformes termotolerantes	0,01	345	14	0,12	5,25	25,5

Para o parâmetro turbidez, verifica-se um aumento após o início da implantação do empreendimento minerário na zona A nos meses de junho, julho e agosto (anterior: Mdn=5,4UNT; posterior: Mdn=8,7UNT) (Teste Mann-Whitney, $p < 0,05$). E, apesar de não haver diferenças estatísticas entre os períodos de coleta para os meses de janeiro, fevereiro e março (teste de Mann-Whitney, $p > 0,05$), também verifica-se um aumento das medianas no

período posterior ao início da implantação (anterior: Mdn=8,9UNT; posterior: Mdn=11,9UNT) (Tabela 14).

Os parâmetros sólidos dissolvidos totais e ferro total também não apresentaram diferenças significativas entre os períodos de coleta (teste de Mann-Whitney, $p>0,05$), mas apresentaram um aumento de medianas após o início da implantação do empreendimento minerário na zona A, tanto nos meses de janeiro, fevereiro e março (para sólidos dissolvidos totais, anterior: Mdn=33mg/l e posterior: Mdn=44,8mg/l; para ferro total, anterior: Mdn=0,86mg/l e posterior: Mdn=0,92mg/l), quanto nos meses de junho, julho e agosto (para sólidos dissolvidos totais, anterior: Mdn=35mg/l e posterior: Mdn=48,5mg/l; para ferro total, anterior: Mdn=0,68mg/l e posterior: Mdn=0,74mg/l) (Tabela 14). O aumento da mediana de sólidos dissolvidos totais pode ser devido ao aumento verificado na concentração de sólidos suspensos totais, e aos íons liberados no processo de beneficiamento do minério de ferro (PEREIRA et al., 2008). O aumento do ferro total também está vinculado ao carreamento de sedimentos intensificado pela implantação e operação da atividade minerária, uma vez que o solo da região é naturalmente rico em ferro (COSTA et al., 2003; RODRIGUES et al., 2014).

Para a variável sólidos suspensos totais, verifica-se um aumento da concentração desse parâmetro posteriormente à implantação nos meses de junho, julho e agosto (anterior: Mdn=5 mg/l; posterior: Mdn=5,25mg/l) (Teste Mann-Whitney, $p<0,05$) e um aumento mais expressivo ainda nos meses de janeiro, fevereiro e março (anterior: Mdn=1,3 mg/l; posterior: Mdn=5,3 mg/l) (Teste Mann-Whitney, $p<0,05$). Esse resultado corrobora o resultado encontrado na comparação entre locais de coleta, uma vez que oferece evidências de que a implantação e operação das atividades de extração e beneficiamento do minério de ferro, realizadas na zona A, podem ter afetado os níveis de turbidez e sólidos em suspensão totais nos corpos lóticos adjacentes. Como visto anteriormente, esse resultado já era esperado uma vez que a atividade minerária pode intensificar o carreamento de sedimentos para os corpos d'água (ANA, 2006; MECHI & SANCHES, 2010).

Para a variável manganês total, verifica-se um aumento de concentração após o início da implantação do empreendimento minerário na zona A tanto nos meses de janeiro, fevereiro e março (anterior: Mdn=0,03mg/l; posterior: Mdn=0,24mg/l), como nos meses de junho, julho e agosto (anterior: Mdn=<0,02mg/l; posterior: Mdn=0,21mg/l) (teste de Mann-Whitney, $p<0,05$) (Tabela 14). Dessa forma, há evidências de que a implantação e operação da atividade minerária possa ter influenciado no aumento de manganês total nos corpos lóticos da sub-bacia em que se localiza. Tal resultado também era esperado, pois o solo da região também é muito

rico em manganês (COSTA et al., 2003; RODRIGUES et al., 2014), então o carreamento de sedimentos do solo para os corpos hídricos intensificado pela atividade minerária (ANA, 2006; MECHI & SANCHES, 2010) também pode acarretar no aumento da concentração desse parâmetro.

Os parâmetros chumbo total e mercúrio total não apresentaram diferenças entre os períodos de coleta na zona A (teste de Mann-Whitney, $p > 0,05$) (Tabela 14) para nenhum dos trimestres analisados. As medianas dos parâmetros chumbo total e mercúrio total permaneceram constantes e abaixo do limite de detecção (para chumbo total nos períodos anterior e posterior: $Mdn = < 0,02$; para mercúrio total nos períodos anterior e posterior: $Mdn = < 0,0002$) (Tabela 14). Como visto anteriormente, esses parâmetros também não apresentaram diferenças entre as zonas de coleta. Diante do exposto, pode-se afirmar que não há indícios que indiquem que a instalação e operação do empreendimento minerário influenciou nas concentrações de chumbo total e mercúrio total.

Na comparação entre zonas, verificou-se que os níveis de pH foram maiores na zona A do que nas demais zonas. Entretanto, na comparação entre os períodos de coleta, não verificou-se diferenças nos níveis de pH entre o período anterior e posterior ao início da implantação do empreendimento na zona A (teste de Mann-Whitney, $p > 0,05$) (Tabela 14). A mediana de pH teve um aumento pouco expressivo após o início da implantação, aproximando-se da neutralidade (para os meses de janeiro, fevereiro e março, anterior: $Mdn = 6,6$ e posterior: $Mdn = 7,0$; para os meses de junho, julho e agosto, anterior: $Mdn = 6,6$ e posterior: $Mdn = 6,9$) (Tabela 14). Dessa forma, apesar dos níveis de pH da zona A serem mais elevados do que das demais zonas, não há indícios suficientes para afirmar que essa diferença seja devido à implantação e operação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro.

Na comparação entre locais de coleta, verificou-se anteriormente que o parâmetro óleos e graxas apresentou menor concentração na zona A do que nas zonas B e C. Na comparação entre períodos de coleta, verificou-se que, nos meses de janeiro fevereiro e março, houve um aumento nas concentrações posteriormente ao início da implantação do empreendimento na zona A (anterior: $Mdn = < 0,30 \text{ mg/l}$, posterior: $Mdn = 1,4 \text{ mg/l}$) (teste de Mann-Whitney, $p < 0,05$) (Tabela 14). Já nos meses de junho, julho e agosto, verificou-se uma diminuição da concentração desse parâmetro no período posterior (anterior: $Mdn = 5,0 \text{ mg/l}$, posterior: $Mdn = 1,3 \text{ mg/l}$) (teste de Mann-Whitney, $p < 0,05$) (Tabela 14). Desse modo, não há como

concluir sobre a influência da implantação e operação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro no parâmetro óleos e graxas.

Para o parâmetro coliformes termotolerantes, havia sido verificado que as zonas A e B não apresentavam diferenças entre si, mas apresentavam maiores concentrações do parâmetro em questão quando comparados à zona C. Na comparação entre períodos de coleta, verificou-se que nos meses junho, julho e agosto não houveram diferenças entre as campanhas anteriores e posteriores ao início da implantação do empreendimento minerário. Porém, nos meses de janeiro, fevereiro e março, houve uma diminuição expressiva na concentração de coliformes termotolerantes nas águas da zona A (anterior: $Mdn=345UFC/100ml$, posterior: $Mdn=14UFC/100ml$) (teste de Mann-Whitney, $p<0,05$) (Tabela 14). Diante desses resultados, não há como concluir sobre a influência da implantação e operação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro no coliformes termotolerantes.

Para o parâmetro DBO, verificou-se que nos meses junho, julho e agosto houve uma expressiva diminuição posteriormente ao início da implantação do empreendimento minerário (anterior: $Mdn=12,65$, posterior: $Mdn=<2,0$) (teste de Mann-Whitney, $p<0,05$) (Tabela 14). Nos meses de janeiro, fevereiro e março, os testes estatísticos constataram um aumento da concentração de DBO posteriormente ao início da implantação (teste de Mann-Whitney, $p<0,05$) (Tabela 14). Entretanto, as alterações dos limites de detecção prejudicaram o resultado uma vez que a concentração mediana anteriormente ao início da implantação foi menor que o limite de detecção adotado posteriormente ao início da implantação (Anterior: $Mdn=0,55mg/l$) e a mediana posteriormente ao início da implantação foi igual ao limite de detecção (Posterior: $Mdn=<2mg/l$) (Tabela 14). Portanto não se pode concluir sobre a influência da implantação e operação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro sobre a DBO dos corpos d'água adjacentes.

6 CONCLUSÕES

Foi verificado através da análise das descritivas estatísticas e das séries temporais das médias dos parâmetros nas zonas de monitoramento que a maioria dos parâmetros apresentou conformidade com os limites impostos pelas Resolução CONAMA 357/05 ao longo das campanhas, com alguns picos extrapolando estes limites (sobretudo os parâmetros turbidez e manganês total), principalmente no período posterior ao início da implantação do empreendimento e na sub-bacia onde o empreendimento se localiza (zona A).

Através da comparação entre zonas de coleta, os resultados indicaram que a implantação do empreendimento minerário influenciou no aumento das concentrações dos seguintes parâmetros nos corpos hídricos adjacentes: sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, turbidez, ferro total, manganês total. A influência da operação do empreendimento minerário pode ser constatada nos parâmetro sólidos dissolvidos totais e manganês total. Além desses, a operação do empreendimento também pode estar relacionado ao pico de valor médio existente na campanha de dez/15 nos parâmetros sólidos em suspensão totais e turbidez. A falta de campanhas de monitoramento na zona A durante o ano de 2015 prejudicou o que poderia ter sido uma análise mais precisa da influência da operação do empreendimento nos parâmetros de qualidade de água. Não foi possível relacionar a operação da mineração com os níveis de ferro total devido ao reduzido número de observações após o início da implantação do empreendimento, e à sua concentração no início da fase de implantação do empreendimento.

Comparando-se as coletas realizadas no período anterior à implantação do empreendimento (valores de *background*) com as realizadas no período posterior na zona de coleta onde localiza-se o empreendimento, verificou-se que esses mesmos parâmetros supracitados sofreram aumento das concentrações após o início da implantação do empreendimento. Esse resultado corrobora com a assertiva de que a implantação do empreendimento minerário influenciou nas concentrações dos parâmetros. Cabem aqui as mesmas considerações realizadas sobre o reduzido número de campanhas do parâmetro ferro total e sobre a inexistência de campanhas de monitoramento ao longo do ano de 2015.

Os resultados encontrados sobre a influência da implantação da mineração sobre os parâmetros supracitados eram esperados, uma vez que essa fase envolve remoção da vegetação e da camada superficial do solo, o que pode intensificar o carreamento de sedimentos para os corpos d'água, aumentando, portanto, os níveis de turbidez, sólidos em suspensão e sólidos

dissolvidos. Além disso, como solo da região é abundante em ferro e manganês, esse carregamento de partículas do solo intensificado pela implantação da mineradora também influenciou no aumento das concentrações desses metais nos corpos hídricos adjacentes. As concentrações de sólidos dissolvidos podem ter sido influenciadas também pelo conteúdo de íons nos lançamentos provenientes do beneficiamento.

A comparação entre zonas também verificou a influência da implantação da mineração no aumento dos níveis de pH nos corpos d'água adjacentes. Entretanto, esse resultado não foi corroborado pela comparação entre os períodos anterior e posterior ao início da implantação do empreendimento minerário.

De uma forma geral, os resultados indicaram que a implantação e operação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro influenciaram nos níveis dos parâmetros sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, turbidez e manganês total nos corpos lóticos da sub-bacia em que está inserida. Apesar disto, houve conformidade dos parâmetros de qualidade de água com os limites impostos para corpos hídricos de classe 2 pela Resolução CONAMA 357/05 ao longo das campanhas de monitoramento. Diante do exposto, conclui-se que a implantação e a operação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro tem potencial para exercer impacto sobre a qualidade da água de corpos lóticos da sub-bacia em que está inserida.

7 PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Este trabalho analisou apenas os parâmetros de qualidade da água que participaram de das campanhas de ambos os períodos anterior e posterior ao início da implantação do empreendimento minerário. Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se acrescentar, na análise entre locais de monitoramento, os parâmetros que foram monitorados apenas após o início da implantação do empreendimento minerário. São eles: alumínio dissolvido, cádmio total, cobre dissolvido, condutividade elétrica, cor verdadeira, ferro dissolvido, nitrato, nitrogênio amoniacal total, oxigênio dissolvido, temperatura da água e temperatura do ar. Dessa forma, poderá ser compreendida a influência da implantação e operação das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro também sobre estes parâmetros.

Além disso, propõe-se a continuidade do trabalho com os dados de monitoramentos a partir do ano de 2016. Dessa forma, a influência da operação do empreendimento sobre a qualidade da água será observada de forma mais consistente.

8 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR9897 - Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, junho de 1987a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR9898 - Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, junho de 1987b.

AMEH, E. G.; AKPAH, F. A. Heavy metal pollution indexing and multivariate statistical evaluation of hydrogeochemistry of River PovPov in Itakpe Iron-Ore mining area, Kogi State, Nigeria. **Advances in Applied Science Research**, v. 2 Issue 1, p. 33, february 2011.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (BRASIL). **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no BRASIL**. ANEXO I: Significado ambiental dos parâmetros do IQA Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, SPR, 2005.

ANGLO AMERICAN. **Plano de Aproveitamento Econômico da Mina do Sapo**. 2015.

ANGLO AMERICAN. **Relatório Mensal do Balanço Hídrico**. Relatório interno. Novembro, 2017.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 23rd edition. 2017.

ARAUJO, E. R.; OLIVIERI, R. D.; FERNANDES, F. R. C. Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente. Em: FERNANDES, F. R. C.; ALAMINO, R. C. J.; ARAUJO, E. R., eds. **Recursos Minerais e Comunidade: impactos humanos, socioambientais, econômicos**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

BRANDT MEIO AMBIENTE. **Estudo de Impacto Ambiental: Lavra a Céu Aberto para Produção de 56 Milhões de Toneladas por Ano, Tratamento de Minério de Ferro e Infra-Estrutura de Produção**. MMX – Minas-Rio Mineração e Logística LTDA. Setembro, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 274 de 29 de novembro de 2000**. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras.. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 29 de novembro de 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 de março de 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 410 de 05 de maio de 2009**. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3o da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 05 de maio de 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 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] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 de maio de 2011.

CARUSO, B.S.; MIRTSKHULAVA, M.; WIREMAN, M.; SCHROEDER, W.; KORNILOVICH, B.; GRIFFIN, S. Effects of manganese mining on water quality in the Caucasus Mountains. **Mine Water Environment**, v. 31, issue 1, p. 16–28. Republic of Georgia, 2012.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas superficiais do estado de São Paulo**. Série relatórios. Apêndice E: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. Governo do Estado de São Paulo. 2016. Disponível em: < <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/> >. Acesso em: 10 de julho de 2017.

CONSÓRCIO ECOPLAN - LUME. Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Santo Antônio. Contrato Nº 002/2007 – IGAM. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce**. 2010.

COSTA, A. T.; NALINI, H. A.; LENA JC, FRIESE, K.; MAGES, M. Surface water quality and sediment geochemistry in the Gualaxo do Norte basin, eastern Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Environmental Geology**, 45:226–235, 2003.

DRAKE, J. J. Effects of iron mining on surface water quality in the Schefferville area. **Applied Geography Journal**, v. 1, issue 4. January, 1981.

ESTEVES, FRANCISCO DE ASSIS. **Fundamentos de Limnologia**, 2ªed. Rio de Janeiro : Interciência, 1998.

FERREIRA ROCHA. **Estudo de Impacto Ambiental: Projeto de Otimização da Mina do Sapo**. Outubro, 2014.

FERREIRA ROCHA. **Estudo de Impacto Ambiental: Projeto de Extensão da Mina do Sapo**. Setembro, 2015.

GASTALDINI, M. C. C.; SEFFRIN, G. F. F.; PAZ, M. F. Diagnóstico Atual e Previsão Futura da Qualidade das Águas do Rio Ibicuí utilizando o Modelo QUAL2E. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 7, n. 3-4, p. 129-138, 2002.

GHOSE, M.K; SEN, P. K. Impact on surface water quality due to the disposal of tailings from iron ore mines in India. **Journal of Scientific & Industrial Research**, v. 58, Issue 9, p. 699-704, 1999.

GIRODO, A. C, ed. Mineração. **Projeto APA Sul RMBH**, v.2, 168f., Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

GLEEKIA, A. **Impacts of Iron Ore Mining on Water Quality and the Environment in Liberia**. Geomintech Symposium: New Equipment New Technology - Management and Safety in Mines and Mineral Based Industries, v. 4, n. 2. Bhubaneswar, May 2016.

GLEEKIA, A.; SAHU, H. B. **Impacts of Iron Ore Mining on Water Quality - A Comparative Study of India and Liberia**. 6th Asian Mining Congress: The Mining Geological and Metallurgical Institute of India (MGMI). Kolkata, February 2016.

HOLOPAINEN, I. J., HOLOPAINEN, A. L., HAMALAINEN, H., RAHKOLA-SORSA, M., TKATCHEVA, V., VILJANEN, M. Effects of mining industry waste waters on a shallow lake ecosystem in Karelia, north-west Russia. **Hydrobiologia**, v. 506, p.111–119, 2003.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Panorama da Mineração em Minas Gerais**. Instituto Brasileiro de Mineração, Sindicato Nacional da Indústria da Extração do Ferro de Metais. Brasília: IBRAM, 2015.

MAROTTA, H., SANTOS, R. O., ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 67-79, 2008.

MDGEO SERVIÇOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA. **Relatório De Monitoramento Dos Recursos Hídricos Do Projeto Minas-Rio: Monitoramento Qualitativo**. Belo Horizonte, Junho de 2010.

MDGEO SERVIÇOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA. **Relatório De Monitoramento Dos Recursos Hídricos Do Projeto Minas-Rio: Monitoramento Quantitativo Das Serras Do Sapo E Ferrugem, Conceição Do Mato Dentro-Mg. Atendimento A Condicionantes De Licença De Implantação – Li – Supram. Relatório Semestral**. Belo Horizonte, Maio de 2011a.

MDGEO SERVIÇOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA. **Relatório semestral de monitoramento qualitativo dos recursos hídricos do projeto Minas-Rio para atendimento a condicionantes da licença de instalação – LI - SUPRAM. Relatório semestral 4**. Belo Horizonte, Novembro de 2011b.

MDGEO SERVIÇOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA. **Relatório semestral de monitoramento qualitativo dos recursos hídricos do projeto Minas-Rio para atendimento a condicionantes da licença de instalação – LI - SUPRAM. Monitoramentos feitos em Dezembro de 2011/Janeiro de 2012 e Março/Abril de 2012**. Belo Horizonte, Maio de 2012a.

MDGEO SERVIÇOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA. **Relatório semestral de monitoramento qualitativo dos recursos hídricos do projeto Minas-Rio para atendimento a condicionantes da licença de instalação – LI - SUPRAM. Monitoramentos feitos em Junho de 2012/Julho de 2012 e Setembro/Outubro de 2012**. Belo Horizonte, Novembro de 2012b.

MDGEO SERVIÇOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA. **Relatório semestral de monitoramento qualitativo dos recursos hídricos do projeto Minas-Rio para atendimento a condicionantes da licença de instalação – LI - SUPRAM. Monitoramentos realizados em Dezembro de 2012/Janeiro de 2013**. Belo Horizonte, Maio de 2013a.

MDGEO SERVIÇOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA. **Relatório semestral de monitoramento qualitativo dos recursos hídricos do projeto Minas-Rio para atendimento a condicionantes da licença de instalação – LI - SUPRAM. Monitoramentos realizados de Junho a Setembro de 2013.** Belo Horizonte, Novembro de 2013b.

MDGEO SERVIÇOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA. **Relatório semestral de monitoramento qualitativo dos recursos hídricos do projeto Minas-Rio para atendimento a condicionantes da licença de instalação – LI - SUPRAM. Monitoramentos realizados de Setembro de 2013 a Fevereiro de 2014.** Belo Horizonte, Maio de 2014.

MDGEO SERVIÇOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA . **Relatório De Atendimento A Condicionante 4 Da Licença De Operação 123 De 2014 –Relatório Anual Do Programa De Gestão De Recursos Hídricos.** Belo Horizonte, Março de 2015.

MDGEO SERVIÇOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA. **Relatório Anual das Atividades Realizadas de Janeiro a Dezembro de 2015. Projeto de Otimização da Mina do Sapo. Processo N° 00472/2007/007/2014.** Belo Horizonte, Março de 2016.

MDGEO SERVIÇOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA. **Relatório Anual das Atividades Realizadas de Janeiro a Dezembro de 2015. Projeto de Otimização da Mina do Sapo. Processo N° 00472/2007/007/2014.** Belo Horizonte, Março de 2017.

MECHI, A.; SANCHES, D. J. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, p. 68, 2010.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa N° 20 de 24 de junho de 1997.** Dispõe sobre o enquadramento das águas da bacia do Rio das Velhas. Diário do Executivo, Minas Gerais, 24 de junho de 1997.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental e Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01, de 05 de maio de 2008.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário do Executivo, Minas Gerais, 13 de maio de 2008.

OLÍAS, M.; NIETO, J. M.; SARMIENTO, A. M.; CERÓN, J. C.; CANOVAS, C. R. Seasonal Water Quality Variations in a River Affected by Acid Mine Drainage: The Odiel River (South West Spain). **Science of the Total Environment**, v. 333, p. 267–281, 2004.

PEREIRA, A. A.; MENDONÇA, A. S. F. FILHO, M. C. A. Aspectos Qualitativos de Águas de Lagoas Costeiras e seus Fatores Influentes – Estudo de Caso: Lagoa Mãe-Bá, Espírito Santo. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n.1, 2006.

PEREIRA, A. A.; VAN HATTUM, B.; BROUWER, A.; VAN BODEGOM, P.M.; REZENDE, C. E.; SALOMONS, W. Effects of iron-ore mining and processing on metal bioavailability in a tropical coastal lagoon. **Journal of Soils Sediments**, v. 8, p. 239–252, 2008.

PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, R. L. (Org.). **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1991. p. 27-66. RICHTER, P.; PECHAROVÁ, E. Effects of Mining Activities on River Water Quality. **Polish Journal of**

Environmental Studies, v. 22, N. 4, p. 1269-1276, 2013.

RODRIGUES, A. S. L.; MALAFALIA, G; COSTA, A. T.; NALINI JÚNIOR, H. A. Iron Ore Mining Promotes Iron Enrichment In Sediments Of The Gualaxo River Basin, Minas Gerais State, Brazil. **Environmental Earth Science**, v. 71, p. 4177-4186, 2014.

SALOMONS, W. Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, predictions, prevention. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 52, p. 5-23, 1995.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental : conceitos e métodos**. 2a ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners**. Washington: Office of Environmental Information, 2006.

VERMA. S.R.; CHAUDHARI, P.R.; SATYANARANYAN, S. Impact of leaching from iron ore mines on terrestrial and aquatic environment. **International Journal of Environmental Science**, v. 2, n. 4, 2012.

VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. 5. ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 2014.

VON SPERLING, E; JARDIM, F. A.; GRANDCHAMP, C. A. P. Qualidade da água durante a formação de lagos profundos em cavas de mineração: estudo de caso do lago de Águas Claras – MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 250-259, 2004.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade da água e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Iron in drinking-water**. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, 2003.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Mercury in drinking-water**. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, 2005.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Lead in drinking-water**. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, 2011.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Manganese in drinking-water**. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, 2011b.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality: incorporating first addendum**, 3rd ed., v. 1, 2006.

ZABOWSKI D., HENRY C. L., ZHENG Z., ZHANG X. Mining impacts on trace metal content of water, soil, and stream sediments in the Hei River basin, China. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 131, p. 261–273, 2001.

Quadro 3. Descrição pontos de monitoramento anteriores à implantação do Sistema Minas-Rio

Ponto	Coord. X	Coord. Y	Corpo d'água	Descrição
A-A01	667686	7910189	Córrego Candeia Mansa	Inserido na sub-bacia do Córrego Passa Sete, bacia em que o complexo minerário se insere.
A-A02	669611	7911903	Córrego Vargem Grande	Inserido na sub-bacia do Córrego Passa Sete, bacia em que o complexo minerário se insere.
A-A03	674093	7913077	Córrego Passa Sete	Inserido na sub-bacia do Córrego Passa Sete, bacia em que o complexo minerário se insere.
A-A04	666986	7912870	Afluente da margem direita do Córrego Passa Sete	Inserido na sub-bacia do Córrego Passa Sete, bacia em que o complexo minerário se insere.
A-A05	668725	7913755	Córrego Passa Sete	Inserido na sub-bacia do Córrego Passa Sete, bacia em que o complexo minerário se insere.
A-A06	666481	7913452	Afluente da margem direita do Córrego Água Santa	Inserido na sub-bacia do Córrego Passa Sete, bacia em que o complexo minerário se insere.
A-B01	670502	7900420	Córrego da Barra	Delimitada a partir da sub-bacia do Ribeirão Folheta, localizada à sudeste da bacia em que o complexo minerário se insere, e onde há maior concentração de comunidades.
A-B02	668862	7903713	Afluente da margem direita do Córrego Bom Sucesso	Delimitada a partir da sub-bacia do Ribeirão Folheta, localizada à sudeste da bacia em que o complexo minerário se insere, e onde há maior concentração de comunidades.
A-B03	670982	7905033	Afluente da margem direita do Córrego Bom Sucesso	Delimitada a partir da sub-bacia do Ribeirão Folheta, localizada à sudeste da bacia em que o complexo minerário se insere, e onde há maior concentração de comunidades.
A-B04	672501	7905354	Córrego Bom Sucesso	Delimitada a partir da sub-bacia do Ribeirão Folheta, localizada à sudeste da bacia em que o complexo minerário se insere, e onde há maior concentração de comunidades.
A-B05	669905	7905941	Afluente da margem direita do Córrego Bom Sucesso	Delimitada a partir da sub-bacia do Ribeirão Folheta, localizada à sudeste da bacia em que o complexo minerário se insere, e onde há maior concentração de comunidades.
A-B06	669784	7906580	Afluente da margem esquerda do Córrego Bom Sucesso	Delimitada a partir da sub-bacia do Ribeirão Folheta, localizada à sudeste da bacia em que o complexo minerário se insere, e onde há maior concentração de comunidades.
A-C01	663070	7910851	Córrego Buriti	Delimitada a partir da bacia do Rio Santo Antônio, localizada na face Oeste do empreendimento (face não minerada que é Reserva Legal)
A-C02	662332	7910411	Córrego Buriti	Delimitada a partir da bacia do Rio Santo Antônio, localizada na face Oeste do empreendimento (face não minerada que é Reserva Legal)
A-C03	662781	7906511	Afluente da margem direita do Rio Santo Antônio	Delimitada a partir da bacia do Rio Santo Antônio, localizada na face Oeste do empreendimento (face não minerada que é Reserva Legal)
A-C04	661695	7906756	Afluente da margem direita do Rio Santo Antônio	Delimitada a partir da bacia do Rio Santo Antônio, localizada na face Oeste do empreendimento (face não minerada que é Reserva Legal)
A-C05	664474	7903519	Afluente da margem esquerda do Rio Santo Antônio	Delimitada a partir da bacia do Rio Santo Antônio, localizada na face Oeste do empreendimento (face não minerada que é Reserva Legal)

Quadro 4. Descrição pontos de monitoramento posteriores à implantação do empreendimento

Ponto	Coord. X	Coord. Y	Corpo d'água	Descrição
P-A01	668633	7913745	Córrego Passa Sete	À jusante do ponto de lançamento da barragem

P-A02	668666	7910712	Córrego Vargem Grande	À jusante do ponto de lançamento do Dique de Contenção e de efluente sanitário tratado.
P-A03	668905	7911785	Afluente da margem da esquerda do Córrego Vargem Grande	Na sub-bacia do Córrego Passa Sete, sub-bacia em que o complexo
P-B01	671199	7900806	Córrego Ponte Nova	Na sub-bacia do Ribeirão Folheta, à sudeste do empreendimento
P-B02	668188	7907079	Córrego Bom Sucesso	Na sub-bacia do Ribeirão Folheta, à sudeste do empreendimento
P-B03	669334	7906915	Afluente da margem esquerda do Córrego Bom Sucesso	Na sub-bacia do Ribeirão Folheta, à sudeste do empreendimento
P-B04	668492	7905576	Afluente de afluent e do Córrego Bom Sucesso	Na sub-bacia do Ribeirão Folheta, à sudeste do empreendimento
P-B05	670162	7898735	Córrego Ponte Nova	Na sub-bacia do Ribeirão Folheta, à sudeste do empreendimento
P-B06	670232	7899555	Afluente da margem esquerda do Córrego Ponte Nova	Na sub-bacia do Ribeirão Folheta, à sudeste do empreendimento
P-C01	664260	7903617	Córrego Palmital (Norte)	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C02	667146	7897635	Córrego Boa Vista	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C03	665773	7900269	Afluente da margem da esquerda do Córrego Palmital (Sul)	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C04	666564	7900407	Córrego Palmital (Sul)	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C05	665986	7903042	Córrego Palmital (Norte)	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C06	666565	7903567	Afluente da margem direita do Córrego Palmital (Norte)	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C07	663184	7904625	Afluente da margem esquerda do ribeirão Santo Antônio	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C08	665389	7906033	Córrego Durão	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C09	664220	7906633	Córrego Lapa do Lucas	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C10	664182	7908045	Afluente da margem esquerda do Córrego Escadinha	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C11	663129	7907900	Córrego Escadinha	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C12	664276	7909849	Afluente da margem esquerda do Córrego Buriti	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C13	662799	7910349	Afluente da margem esquerda do Córrego Buriti	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).
P-C14	663627	7912142	Afluente da margem esquerda do Córrego Buriti	Na sub-bacia do Rio Santo Antônio, na face Oeste da Serra (face não minerada).

Precipitação	Turbidez	Sólidos dissolvidos	Sólidos em suspensão	DBO	Chumbo	Ferro total	Manganês	Mercúrio	Óleos e graxas	Coliformes
--------------	----------	---------------------	----------------------	-----	--------	-------------	----------	----------	----------------	------------

[illegible]