



ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)

INTERVENÇÃO AMBIENTAL EMERGENCIAL COM SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO

EXECUÇÃO DE INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

OBRAS DE DESCARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM XINGU

MINA DE ALEGRIA

Mariana - MG

VOLUME II



ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)

**INTERVENÇÃO AMBIENTAL EMERGENCIAL COM SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO
EXECUÇÃO DE INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS
OBRAS DE DESCARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM XINGU**

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MEIO FÍSICO

**Nova Lima, MG
Maio de 2023**

APRESENTAÇÃO

O Estudo de Impacto Ambiental da sondagem da barragem Xingu - “Intervenção ambiental emergencial com supressão de vegetação para intervenções geotécnicas necessárias às obras de descaracterização da barragem Xingu”, é composto por 6 (seis) volumes, sendo este documento o **VOLUME II**, que consiste no Diagnóstico do Meio Físico.

VOLUME I	<ul style="list-style-type: none">• Introdução• Identificação do empreendedor e da empresa de consultoria• Estudo de alternativas locacionais e tecnológicas• Caracterização da intervenção• Área do Estudo
VOLUME II	<ul style="list-style-type: none">• Diagnóstico Ambiental do Meio Físico• Clima e Meteorologia• Qualidade do Ar• Ruído Ambiental e Vibração• Geologia• Geomorfologia e Pedologia• Hidrogeologia• Espeleologia• Recursos Hídricos e Qualidade das Águas Superficiais• Recursos Hídricos e Qualidade das Águas Subterrâneas
VOLUME III	<ul style="list-style-type: none">• Diagnóstico Ambiental do Meio Biótico• Área de Estudo do Meio Biótico• Flora Regional• Flora Local• Fauna Terrestre e Biota Aquática
VOLUME IV	<ul style="list-style-type: none">• Diagnóstico Ambiental do Meio Socioeconômico• Área de Estudo• Contextualização Regional• Contextualização Local• Propriedades• Caracterização das Comunidades ao Entorno• Análise Integrada do Diagnóstico Ambiental
VOLUME V	<ul style="list-style-type: none">• Passivos Ambientais• Avaliação de Impactos• Definição das Áreas de Influência• Programas de Mitigação, Monitoramento, Compensação e Recuperação• Prognóstico Ambiental• Conclusão• Equipe Técnica
VOLUME VI	<ul style="list-style-type: none">• Anexos

SUMÁRIO

VOLUME II	1
APRESENTAÇÃO.....	3
6. DIAGNOSTICO AMBIENTAL.....	7
6.1. MEIO FÍSICO	7
6.1.1. <i>Clima e Meteorologia</i>	7
6.1.1.1. Caracterização Climática	7
6.1.1.2. Caracterização Meteorológica	7
6.1.1.3. Rosa dos ventos	11
6.1.2. <i>Qualidade do Ar</i>	11
6.1.3. <i>Ruído Ambiental e Vibração</i>	12
6.1.3.1. Rede de monitoramento de vibração	12
6.1.3.2. Vibração	14
6.1.3.2.1. Requisitos legais	14
6.1.3.2.2. Resultados	14
6.1.4. <i>Geologia</i>	14
6.1.4.1. Geologia Regional	14
6.1.4.2. Geologia Local	15
6.1.5. <i>Geomorfologia e Pedologia</i>	17
6.1.6. <i>Espeleologia</i>	23
6.1.6.1. Materiais e Métodos	23
6.1.6.2. Área de prospecção – contextualização e potencial espeleológico.	24
6.1.7. <i>Recursos Hídricos e Qualidade das Águas Superficiais</i>	28
6.1.7.1. Recursos Hídricos	28
6.1.7.1.1. Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba	28
6.1.7.1.2. Uso das Águas	28
6.1.7.1.3. Enquadramento das Águas Superficiais	29
6.1.7.2. Qualidade das Águas Superficiais	29
6.1.7.2.1. Metodologia	29
6.1.7.2.2. Resultados e interpretações de dados	30
6.1.8. <i>Recursos Hídricos e Qualidade das Águas Subterrâneas</i>	40
6.1.8.1. Recursos Hídricos	40
6.1.8.1.1. Uso das Águas	40
6.1.8.1.2. Contexto Hidrogeológico.....	42
6.1.8.2. Qualidade das Águas Subterrâneas.....	46
6.1.8.2.1. Metodologia	46
6.1.8.2.2. Resultados e interpretação de dados.....	48
6.1.8.3. Áreas Contaminadas	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Cavidade denominada CAV-01-XG com coordenadas: 658.961,49/7.769.534,21. Possui 1,85 m de projeção horizontal, sem desnível.....	26
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comportamento climatológico de temperatura da estação João Monlevade. Fonte: INMET, 2023.	9
Figura 2: Comportamento climatológico da precipitação e umidade relativa do ar da estação João Monlevade. Fonte: INMET, 2023.	10
Figura 3: Comportamento climatológico da precipitação da estação Colégio Caraça. Fonte: ANA, 2023.	10
Figura 4: Rosa dos ventos - estação João Monlevade. Fonte: INMET: 2023.	11
Figura 5. Distribuição das vazões específicas dos poços inventariados da bacia do rio Piracicaba. Fonte: PARH RIO PIRACICABA, 2010.	41

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Tipologias climáticas do estado de Minas Gerais, 2023.	8
Mapa 2: Localização do ponto de monitoramento de vibração, 2023.	13
Mapa 3: Geologia da área de estudo, Mariana, 2023.	16
Mapa 4: Geomorfologia na área de estudo, Mariana, 2023.	18
Mapa 5: Hipsometria e topografia da área de estudo, Mariana, 2023.	19
Mapa 6: Declividade da área de estudo, Mariana, 2023.	20
Mapa 7: Pedologia na área de estudo, Mariana, 2023.	22
Mapa 8: ADA + <i>buffer</i> de 250m para a espeleologia da barragem de Xingu: potencial de ocorrência de cavidades, com a geologia litotípica e em imagem orbital, 2023.	25
Mapa 9: Localização dos pontos de monitoramento de águas superficiais, Mariana, 2023.	31
Mapa 10. Hidrogeologia na área de estudo, Mariana, 2023.	45
Mapa 11. Localização dos pontos de monitoramento de águas subterrâneas, Mariana, 2023.	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Detalhamento das estações analisadas.	7
Quadro 2: Dados de localização do ponto de monitoramento de vibração.	12
Quadro 3: Informações acerca da geomorfologia, declividade e variação da altitude da Área Diretamente Afetada	17
Quadro 4: Descrição do monitoramento da qualidade da água superficial (Fonte: VALE, 2022), 2023.	30
Quadro 5: Pontos de análise da matriz água superficial.	30
Quadro 6: Descrição geral da rede de monitoramento de qualidade da água subterrânea.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Frequência das classes de velocidade dos ventos.....	11
Tabela 2: Resultado do monitoramento de vibração.....	14
Tabela 3: Cavidades mais próximas dos limites externos da AID da ADA da barragem Xingu.....	24
Tabela 4: Espeleometria e rocha encaixante das cavidades encontradas na AID do empreendimento.	26
Tabela 5: Densidade de caminhamento por potencial espeleológico da barragem de Xingu.	26
Tabela 6: Disponibilidade hídrica superficial da sub-bacia do rio Piracicaba (Fonte: PIRH RIO DOCE, 2010)	28
Tabela 7: Usos da água na poligonal da área de estudo (Fonte: IDE SISEMA, 2023).....	29
Tabela 8: Número e tipos de captações por localidade na bacia do rio Piracicaba. Fonte: PARH RIO PIRACICABA, 2010.	41
Tabela 9: Resultados analíticos dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas.	49

6. DIAGNOSTICO AMBIENTAL

6.1. MEIO FÍSICO

6.1.1. Clima e Meteorologia

6.1.1.1. Caracterização Climática

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima presente no estado de Minas Gerais é caracterizado por cinco tipos climáticos, sendo dois temperados (Cwb e Cwa), um tropical (Aw) e dois áridos (BSh e BWh) (MARTINS *et al.*, 2018). A caracterização realizada foi embasada na análise das normais climatológicas do estado entre os anos de 1981 a 2010. De acordo com a presente classificação climática, a área de estudo está compreendida no tipo climático Cwa, definido como clima subtropical com seca no inverno e verão quente, conforme disposto no **Mapa 1**.

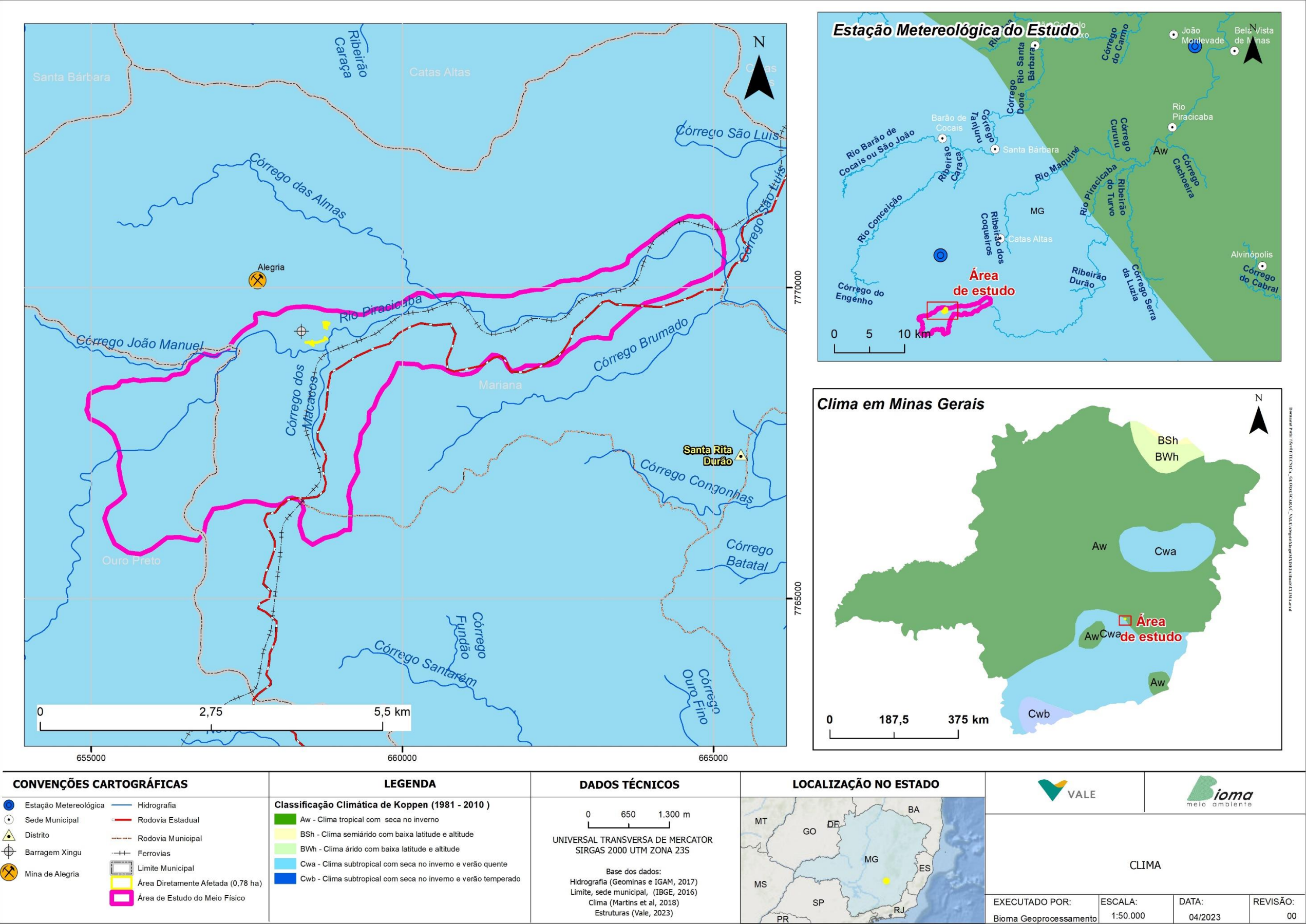
6.1.1.2. Caracterização Meteorológica

Foram utilizadas as normais climatológicas da estação João Monlevade, de 1981 a 2010, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A estação foi escolhida pela sua proximidade com a área de estudo (aproximadamente 52 km) e por estar localizada na mesma bacia hidrográfica. Também foram considerados os dados da estação pluviométrica Colégio Caraça, de responsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), no período de 1983 a agosto de 2022. Essa estação está a aproximadamente 8 km de distância da área de intervenção. O **Quadro 1** apresenta as principais informações das estações consultadas e o **Mapa 1** apresenta suas localizações.

Quadro 1: Detalhamento das estações analisadas.

Nome	Código	Município	Coordenadas UTM (SIRGAS 2000 23K)		Responsável Operadora	Período dos dados
			Latitude	Longitude		
João Monlevade	83591	João Monlevade	694371	7806939	INMET	1981-2010
Colégio Caraça	2043059	Santa Bárbara	658069	7777078	ANA/CPRM	1983-2022

Fonte: INMET (2023) e ANA (2023).



Mapa 1: Tipologias climáticas do estado de Minas Gerais, 2023.

De acordo com os dados do INMET, as normais climatológicas de 1981 a 2010 da estação João Monlevade apresentaram temperatura média mínima e máxima anual de 16,7 °C e 26,5 °C, respectivamente. A temperatura média compensada anual foi de 20,7 °C. A **Figura 1** mostra a variação da temperatura registrada pela estação.

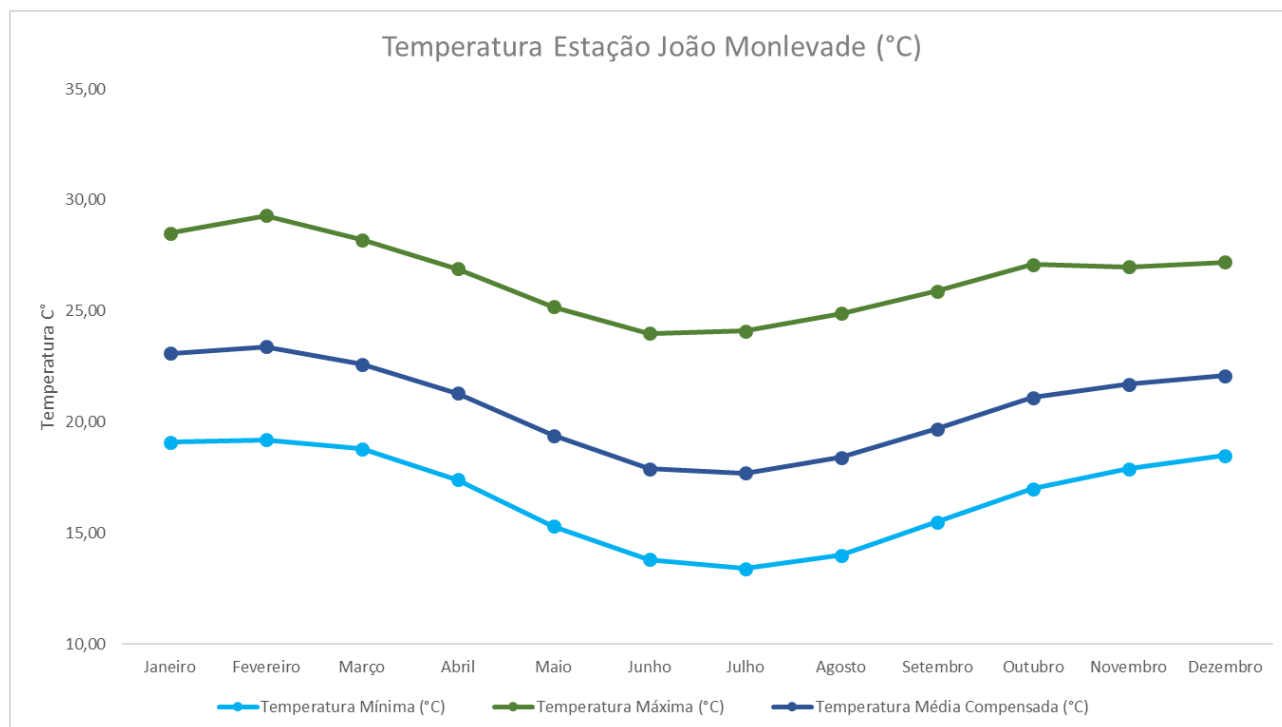


Figura 1: Comportamento climatológico de temperatura da estação João Monlevade. Fonte: INMET, 2023.

A precipitação acumulada anual, apresentada pelos dados da mesma estação, foi de 1.401,30 mm. Pode-se observar dois períodos distintos ao longo do ano, sendo um chuvoso e um de estiagem. Os períodos com maior incidência de chuva ocorreram entre os meses de outubro a março, com precipitação acumulada de 1.226,5 mm. Já o período de estiagem, compreendeu os meses de abril a setembro, com precipitação acumulada de 174,8 mm.

A umidade do ar compensada apresentou média anual em torno de 76,9%. Os menores percentuais se apresentaram no período entre julho e outubro. O menor percentual foi registrado no mês de agosto, com 72,1%. A **Figura 2** mostra o comportamento de precipitação e umidade do ar da estação ao longo do período analisado.

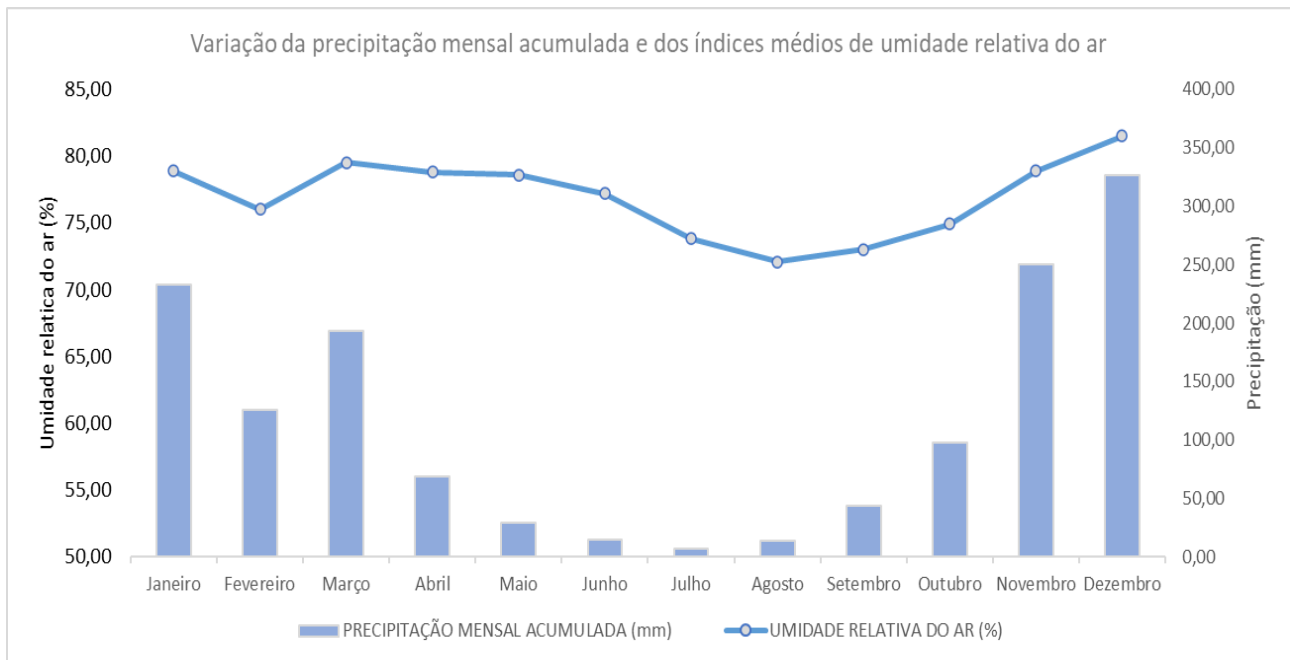


Figura 2: Comportamento climatológico da precipitação e umidade relativa do ar da estação João Monlevade. Fonte: INMET, 2023.

Os dados da estação pluviométrica Colégio Caraça, de responsabilidade da Agência Nacional das Águas (ANA), apresentaram comportamento semelhante à estação João Monlevade, com seca entre os meses de abril e setembro e chuvas entre outubro e março, conforme mostra a **Figura 3**.

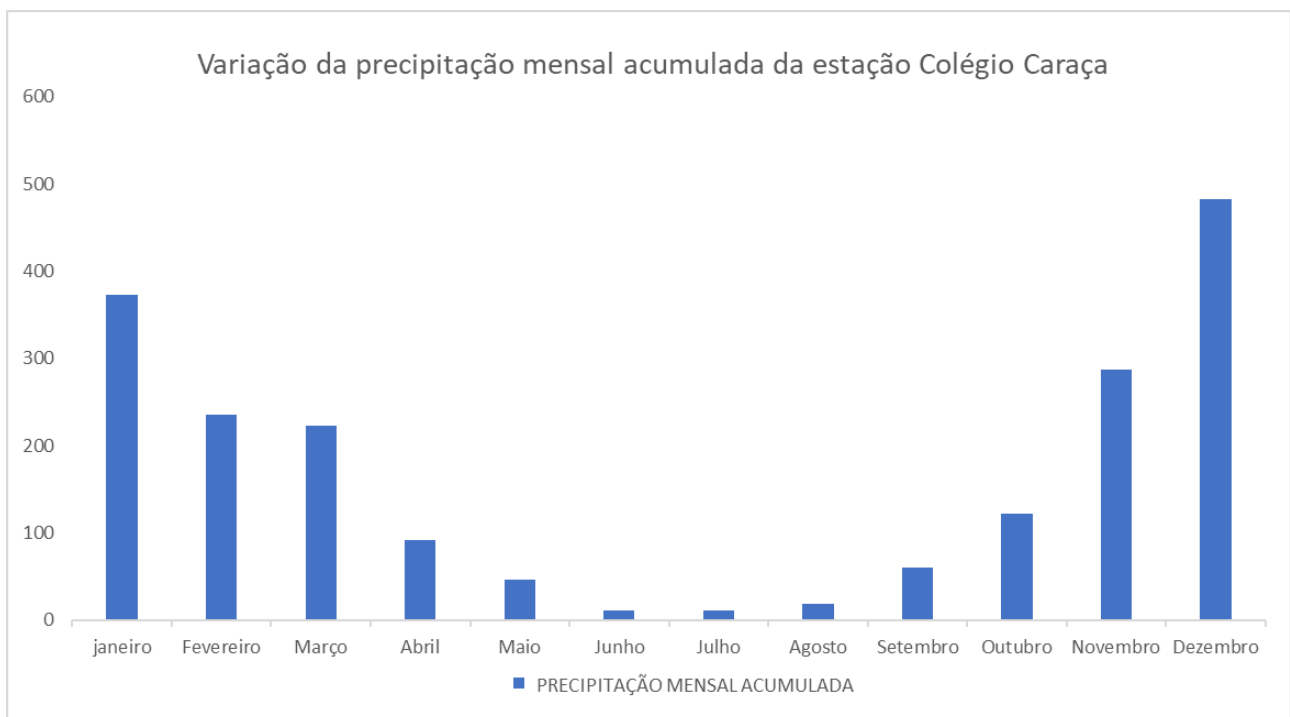


Figura 3: Comportamento climatológico da precipitação da estação Colégio Caraça. Fonte: ANA, 2023.

6.1.1.3. Rosa dos ventos

Os dados da estação João Monlevade mostraram que as direções dos ventos da região são, majoritariamente, para norte-nordeste (NNE) e nordeste (NE). Essa análise pode ser observada pela rosa dos ventos (**Figura 4**), produzida pelo software WRPLOT View, a partir da inserção dos dados referidos anteriormente.

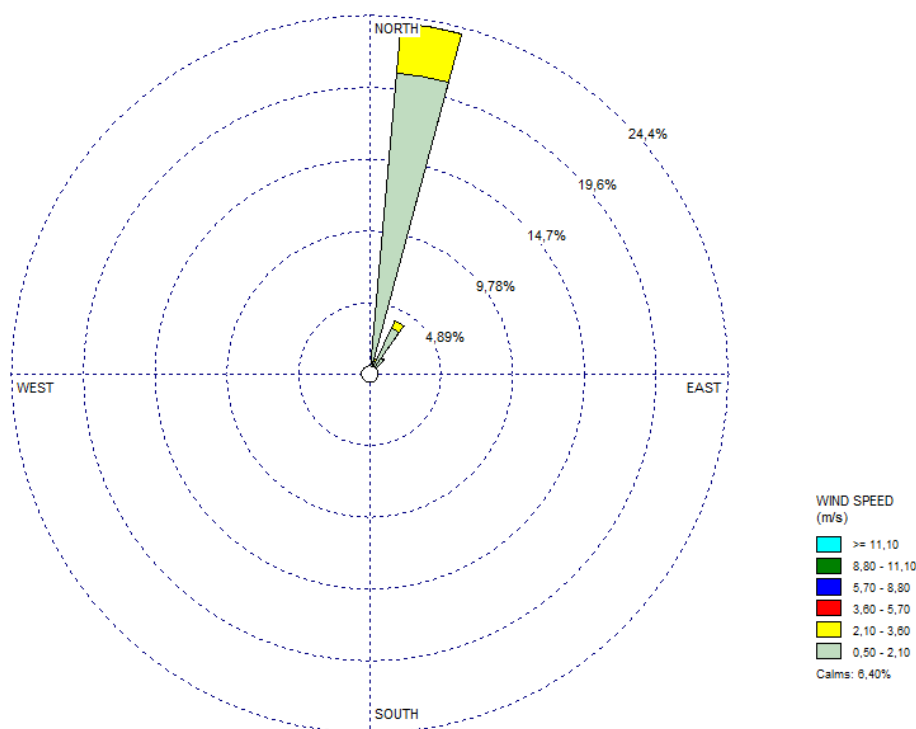


Figura 4: Rosa dos ventos - estação João Monlevade. Fonte: INMET: 2023.

A **Tabela 1** apresenta a frequência (%) das velocidades (m/s) analisadas. É possível observar a prevalência dos ventos entre 0,50 e 2,10 m/s e velocidade média de 1,24 m/s.

Tabela 1: Frequência das classes de velocidade dos ventos.

Velocidade dos Ventos (m/s) X Frequência de Ocorrência (%)					
Velocidade (m/s)	Calmaria	0,50 - 2,10	2,10 - 3,60	3,60 - 5,70	5,70 - 8,80
Frequência (%)	6,40%	26,39%	4,21%	0,03%	0,00%

Fonte: BIOMA, 2023.

6.1.2. Qualidade do Ar

A intervenção objeto desse estudo prevê a retirada de vegetação para viabilização de acessos, praças de sondagem, trânsito de equipes, veículos e equipamentos, para proporcionar uma área de suporte aos serviços de sondagem geotécnica. Tais atividades podem ocasionar a emissão de material particulado, pelo aumento da susceptibilidade do solo exposto à erosão eólica e pela movimentação intensa de pessoas e maquinário.

Apesar dos aspectos supracitados, pode-se dizer que eles são pouco significativos, visto que a intervenção será realizada de forma pontual. Considerando o entorno da área de estudo, a comunidade mais próxima é o distrito de Santa Rita Durão, que está a cerca de 7,0 km de distância. O distrito é separado por divisores

topográficos, com diferenças altimétricas consideráveis, apresentando um desnível de 75 m em relação à cota do local do projeto. A comunidade está a sul-sudeste (ESE) da área de estudo, em sentido diferente da direção dos ventos da região, que predominam para norte-nordeste (NNE), conforme a rosa dos ventos exposta anteriormente. Diante disso, dados de monitoramento desse tema não serão usados nesse diagnóstico ambiental.

6.1.3. Ruído Ambiental e Vibração

A área habitacional mais próxima do local do projeto, conforme informado no item anterior, está a aproximadamente 7,0 km de distância. Além disso, entre a comunidade e a área de intervenção, existe a rodovia MG-129 e barreiras topográficas que servem como dissipadores de energia para a chegada do ruído até o distrito.

Visto que as pressões sonoras provenientes das atividades associadas ao projeto são pouco relevantes em relação ao entorno e considerando que a intervenção será local e de forma concentrada, além do exposto acima, dados de monitoramento de ruído não serão apresentados nesse estudo.

O impacto causado pelo ruído estaria associado à saúde de colaboradores e prestadores de serviço presentes no local da intervenção. Por esse motivo, está previsto o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) pelos trabalhadores. Essa é uma ação já praticada pelo empreendedor em atividades e complexos minerários sob sua responsabilidade.

Em relação ao monitoramento sismográfico, foi considerado o ponto de controle existente no complexo da mina de Alegria, próximo à barragem de Xingu, tendo em vista que certas atividades implementadas na mina podem ser passíveis de vibração.

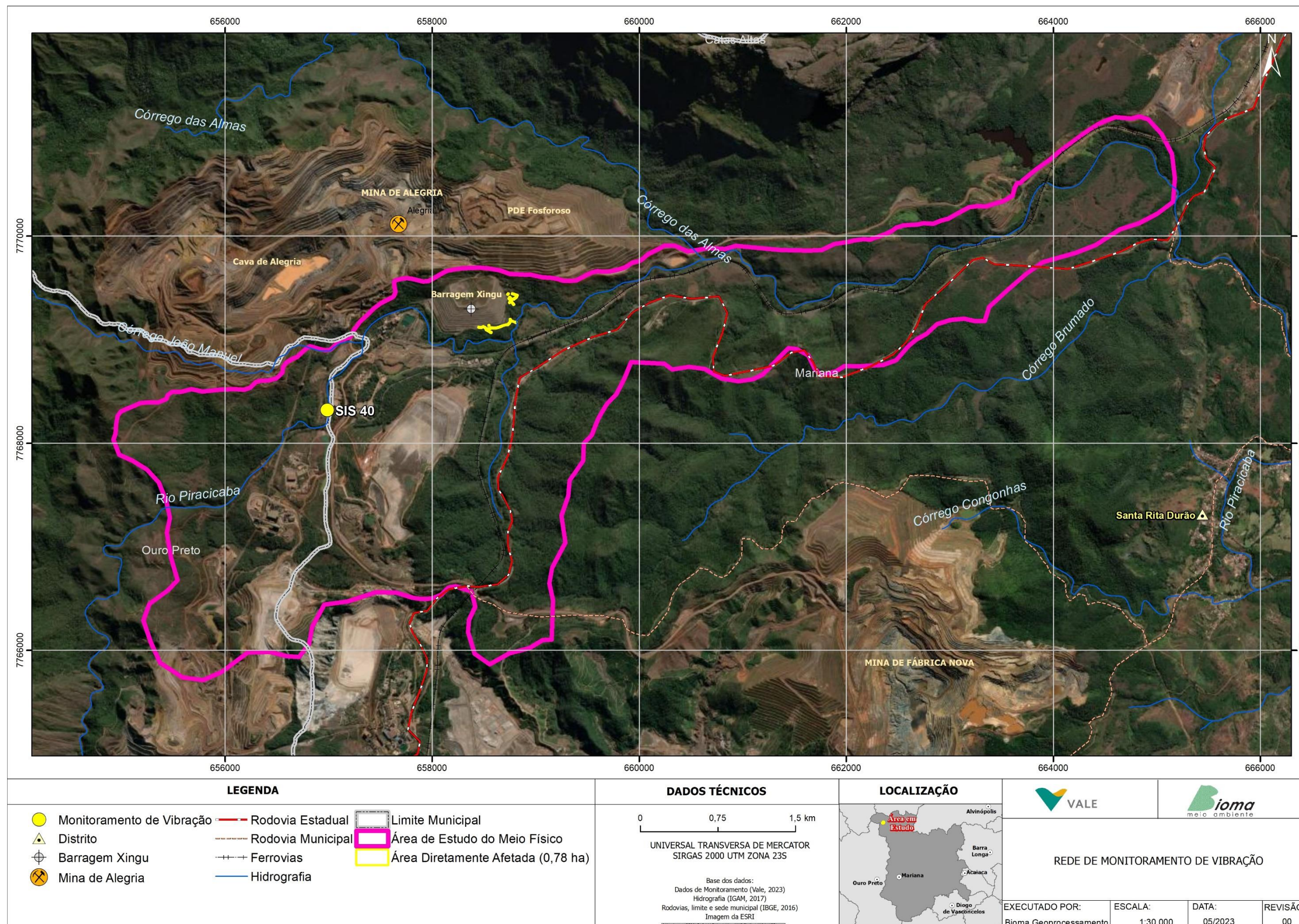
6.1.3.1. Rede de monitoramento de vibração

Os resultados dos monitoramentos de vibração e o ponto de controle utilizado foram retirados do estudo de impacto ambiental elaborado pela Amplo (2021), desenvolvido para a mesma região. O **Mapa 2** e o **Quadro 2** mostram a localização do ponto de monitoramento.

Quadro 2: Dados de localização do ponto de monitoramento de vibração.

Pontos	Coordenadas (UTM) (SIRGAS 2000 23K)		Parâmetros analisados
	Latitude	Longitude	
SIS 40	656.989	7.768.318	Vibração

Fonte: AMPLO (2021).



Mapa 2: Localização do ponto de monitoramento de vibração, 2023.

6.1.3.2. Vibração

6.1.3.2.1. Requisitos legais

Nas atividades características desse projeto não está previsto o uso de explosivos, cujos efeitos são avaliados pela norma ABNT NBR 9653:2018 - Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas. No entanto, a fim de caracterizar as condições de vibração do entorno da área de intervenção, serão apresentados os resultados de monitoramento sismográfico do ano de 2019, executado pela Vale S.A. na região da sede da Fazenda Alegria, onde ocorre o desmonte de rochas pelo uso de detonadores.

6.1.3.2.2. Resultados

Os níveis de vibração detectados se apresentaram abaixo do limite estabelecido pela norma supracitada. O equipamento foi configurado para identificar a velocidade de vibração de partículas de pico igual ou superior a 0,500 mm/s como limite mínimo de acionamento (AMPLO, 2021). Na **Tabela 2**, estão dispostos os resultados obtidos no monitoramento.

Tabela 2: Resultado do monitoramento de vibração

Data	Velocidade Partícula Vp/VR (mm/s)*				Frequência (Hz)			Deslocamento Partícula (mm)	Pressão Acústica (dBL)**	Frequência (Hz)
	Trans.	Vert.	Long.	Result.	Trans.	Vert.	Long.			
18/01/2019	<0,5	<0,5	<0,5						<112	
22/01/2019	<0,5	<0,5	<0,5						<112	
04/02/2019	1,2	0,7	0,7	1,3	1,9	1,5	1,8	0,944	102,77	2,5
13/02/2019	0,8	0,5	0,5	0,9	3,4	4,7	2,2	0,437	105,87	4,7
07/03/2019	7,3	7,4	7,4	10,4	5,6	5,6	5,3	0,215	122,09	13,0
20/03/2019	<0,5	<0,5	<0,5						<112	

Fonte: AMPLO, 2021.

* Medições com indicação de < 0,5 não houve o acionamento do "trigger" do equipamento.

** Medições com indicação de < 112 não houve o acionamento do "trigger" do equipamento.

As medições acima do limite mínimo de acionamento se justificam pelas operações inerentes ao complexo minerário. Contudo, a execução do projeto desse estudo possivelmente não promoverá alterações significativas dos níveis de vibração na região, por tratar-se de atividade com pouco potencial de abalos sísmicos.

6.1.4. Geologia

6.1.4.1. Geologia Regional

As sequências que compõem o contexto do Quadrilátero Ferrífero (QF) estão subdivididas entre os Complexos Metamórficos (ortognaisses), o Supergrupo Rio das Velhas (rochas metavulcânicas máfica-ultramáficas e félsicas, metavulcanossedimentar química, metavulcanoclásticas e metassedimentar clástica), o Supergrupo Minas (rochas metassedimentares clásticas, químicas e clasto-químicas), o Supergrupo Estrada Real

(sequências tipo *flysch* e molassa sin-orogênicos, metassedimentares clásticas e químicas), as Suítes Intrusivas Máficas e Ultramáficas (intrusões pós-Minas) e as Unidades Cenozoicas (depósitos sedimentares, cangas, alúvios, elúvios e colúvios).

De acordo com a base de dados de Endo *et al.* (2019), as sequências que se manifestam dentro dos limites da Área de Estudo estão contidas entre as rochas do Supergrupo Minas, contendo os litotipos da Formação Moeda e Batatal do Grupo Caraça, da Formação Cauê e Gandarela do Grupo Itabira, e da Formação Cercadinho, Formação Fecho do Funil e Formação Barreiro do Grupo Piracicaba. Manifesta-se ainda as Formações Saramenha e Formação Córrego do Germano do Grupo Sabará, que está contido no Supergrupo Estrada Real, além de ocorrências pouco expressivas da Suíte Santa Rita e coberturas aluviais e de cangas.

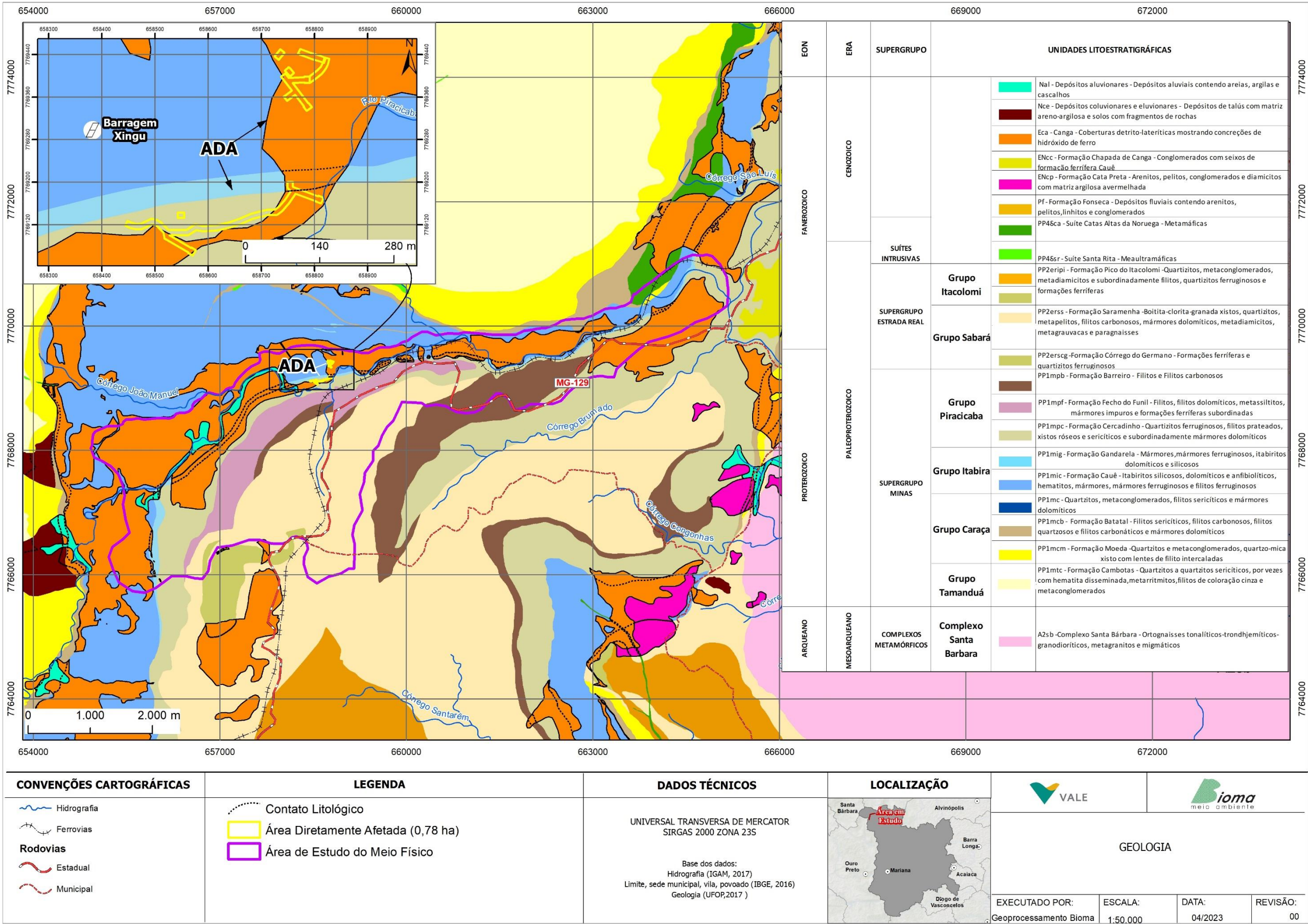
6.1.4.2. Geologia Local

Dentro do contexto supracitado, a Área Diretamente Afetada (ADA) da região da barragem Xingu e mediações a serem intervindas estão posicionadas, conforme a base de dados de Endo *et al.* (2019), sobre a Formação Cauê na totalidade da porção norte da ADA, sobre a Formação Gandarela em pequena proporção na faixa sul e sobre a Formação Cercadinho compondo a maioria da porção sul da ADA, de forma que as unidades constituintes dos setores norte e sul encontram-se sobrepostas, em grande parte, por coberturas de cangas (**Mapa 3**).

Considerando o Grupo Itabira, a Formação Cauê é composta principalmente por itabiritos, contendo variações entre friável e compacto, dolomítico, magnetítico, anfibolítico, com lentes de dolomito e filito, além de algumas camadas de hematitas compactas ou friáveis. A Formação Gandarela é composta em geral por dolomitos cinza-claros ou escuros e localmente contém conglomerados intraformacionais, calcários calcíticos e magnesianos, mármore, itabiritos dolomíticos, filitos dolomíticos e níveis magnesianos (ROMANO E REZENDE, 2017).

Representando localmente o Grupo Piracicaba tem-se a Formação Cercadinho que é constituída essencialmente por quartzitos puros ou ferruginosos cinza-escuros a cinza-médios, conglomerados *rice grit*, filitos cinzentos prateados e ferruginosos, além de lentes de dolomito e localmente de quartzito cianítico (ROMANO E REZENDE, 2017).

Recobrando as unidades supracitadas tem-se as coberturas de cangas detrítico-lateríticas mostrando concreções de hidróxido de ferro e são constituídas principalmente por fragmentos de formações ferríferas e subordinadamente por filito e quartzo cimentadas por óxidos de ferro (ENDO *et al.*, 2019).



Mapa 3: Geologia da área de estudo, Mariana, 2023.

6.1.5. Geomorfologia e Pedologia

A área de estudo está situada no Domínio das Sequências Vulcanossedimentares Proterozóicas Dobradas, Metamorfizadas de Baixo a Alto Grau, com processos denudacionais relacionados a padrões Montanhosos, conforme apresentado no **Mapa 4**.

No padrão Montanhoso predomina a atuação da morfogênese, com o sistema de drenagem em processos definidos de entalhamento, posicionamento de solos rasos em áreas declivosas e frequente atuação de erosão laminar e movimentos de massa, sendo que processos de pedogênese, como depósitos de tálus e de colúvios, podem ocorrer nas vertentes baixas. Corresponde aos alinhamentos serranos, maciços montanhosos, *front de cuestras* e *hogback*, característicos de relevos muito acidentados com vertentes geralmente retilíneas, concavas, escarpadas e com topos de cristas alinhadas, aguçadas ou levemente arredondadas (MACHADO E SILVA, 2010).

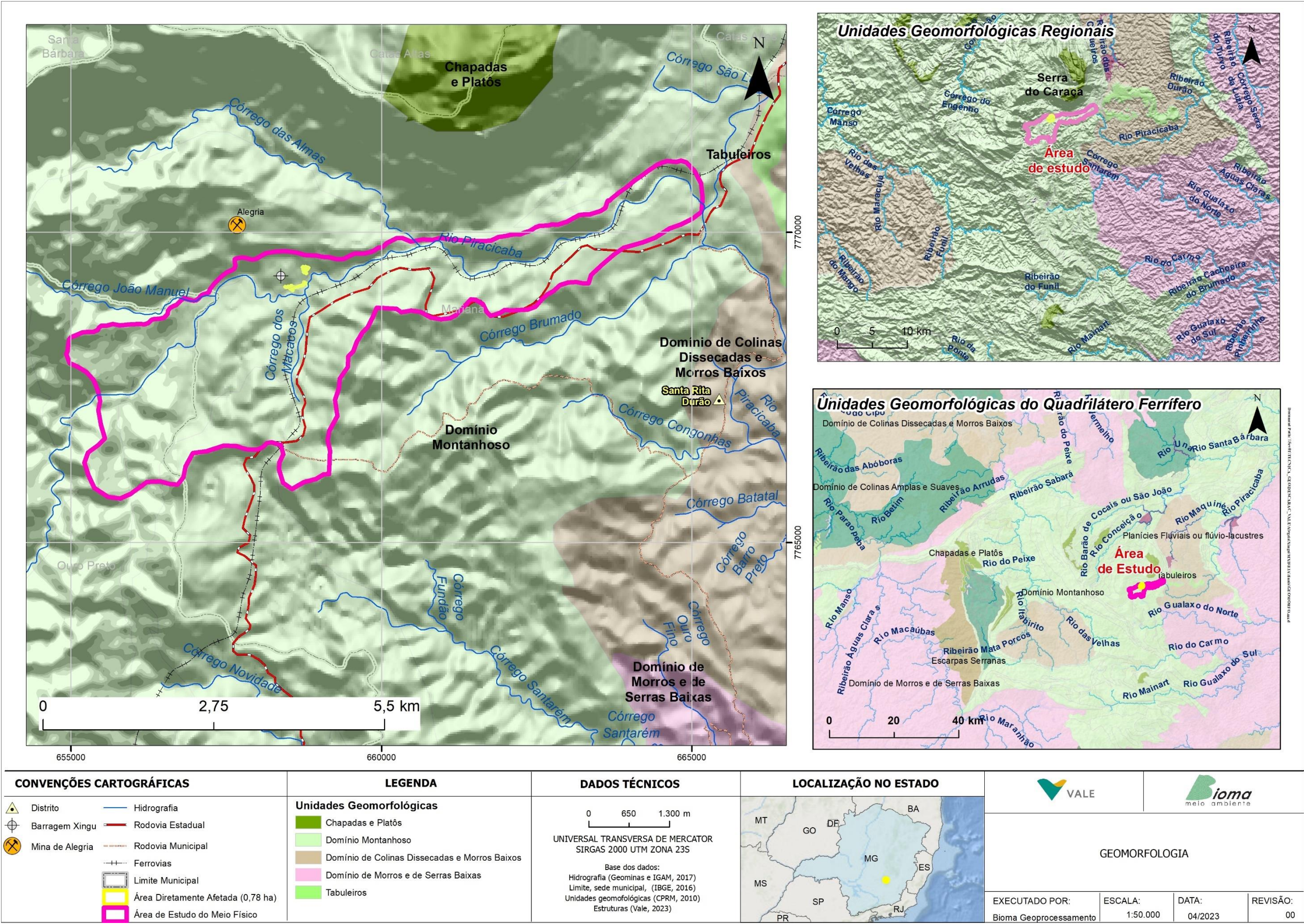
Segundo as definições da AMPLO (2021), a unidade geomorfológica local em que o contexto da ADA está inserido é caracterizado pela Unidade Morrarias de Mariana e constitui um agrupamento de morros em patamares altimétricos inferiores aos da Serra do Caraça no contato com suas vertentes. Apresentam relevos mais suavizados relacionados aos vales nos canais de drenagem, em especial o vale do rio Piracicaba, o nível de base local, e o vale do córrego das Almas.

Complementando os estudos geomorfológicos e objetivando uma melhor compreensão acerca da morfologia da área de estudo, foram desenvolvidos mapas de hipsometria (**Mapa 5**) e de declividade (**Mapa 6**).

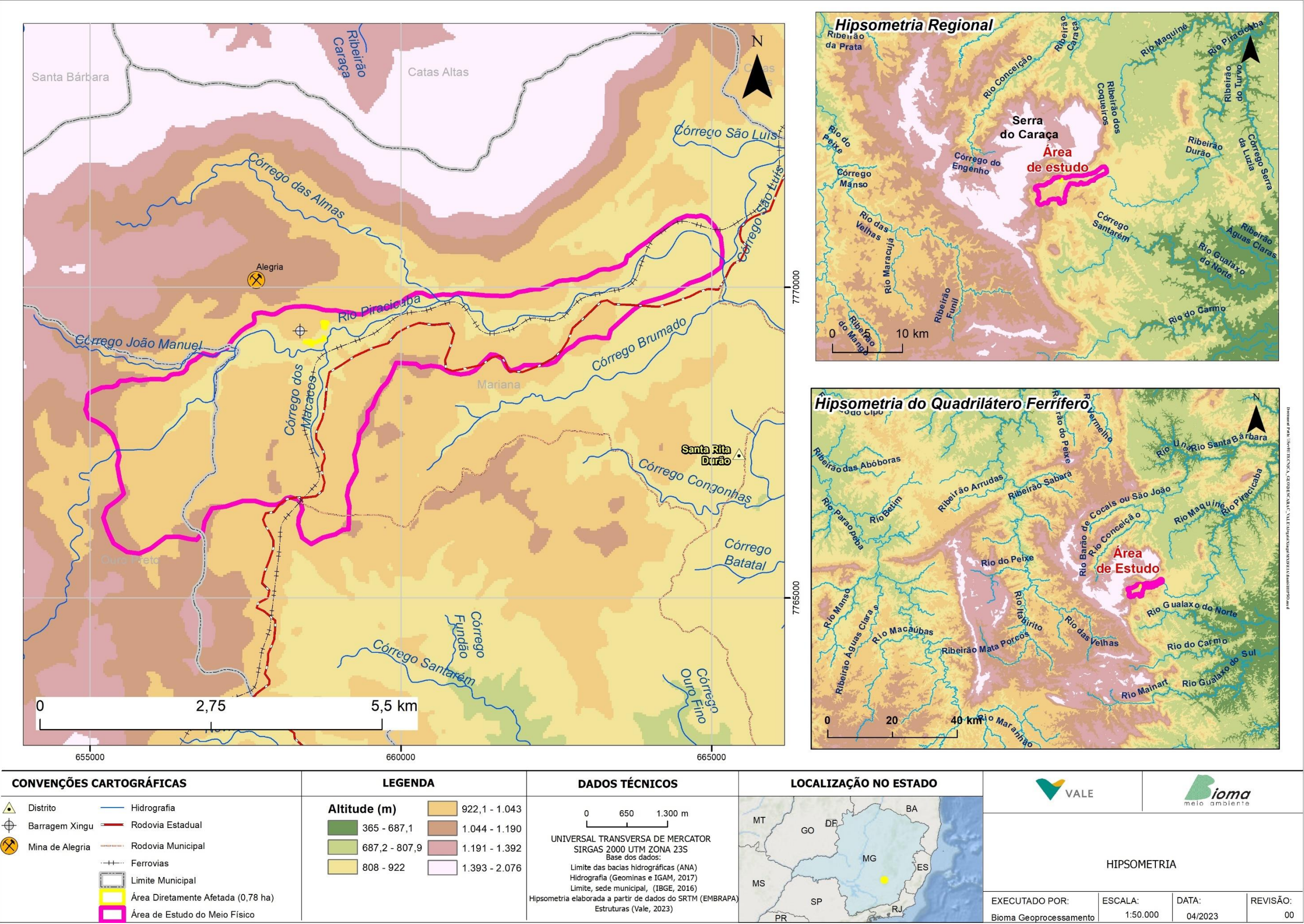
Em suma, a partir dos mapas de Declividade, Hipsometria e Geomorfologia, as informações para cada setor da Área Diretamente Afetada (ADA) estão descritas no **Quadro 3** a seguir.

Quadro 3: Informações acerca da geomorfologia, declividade e variação da altitude da Área Diretamente Afetada

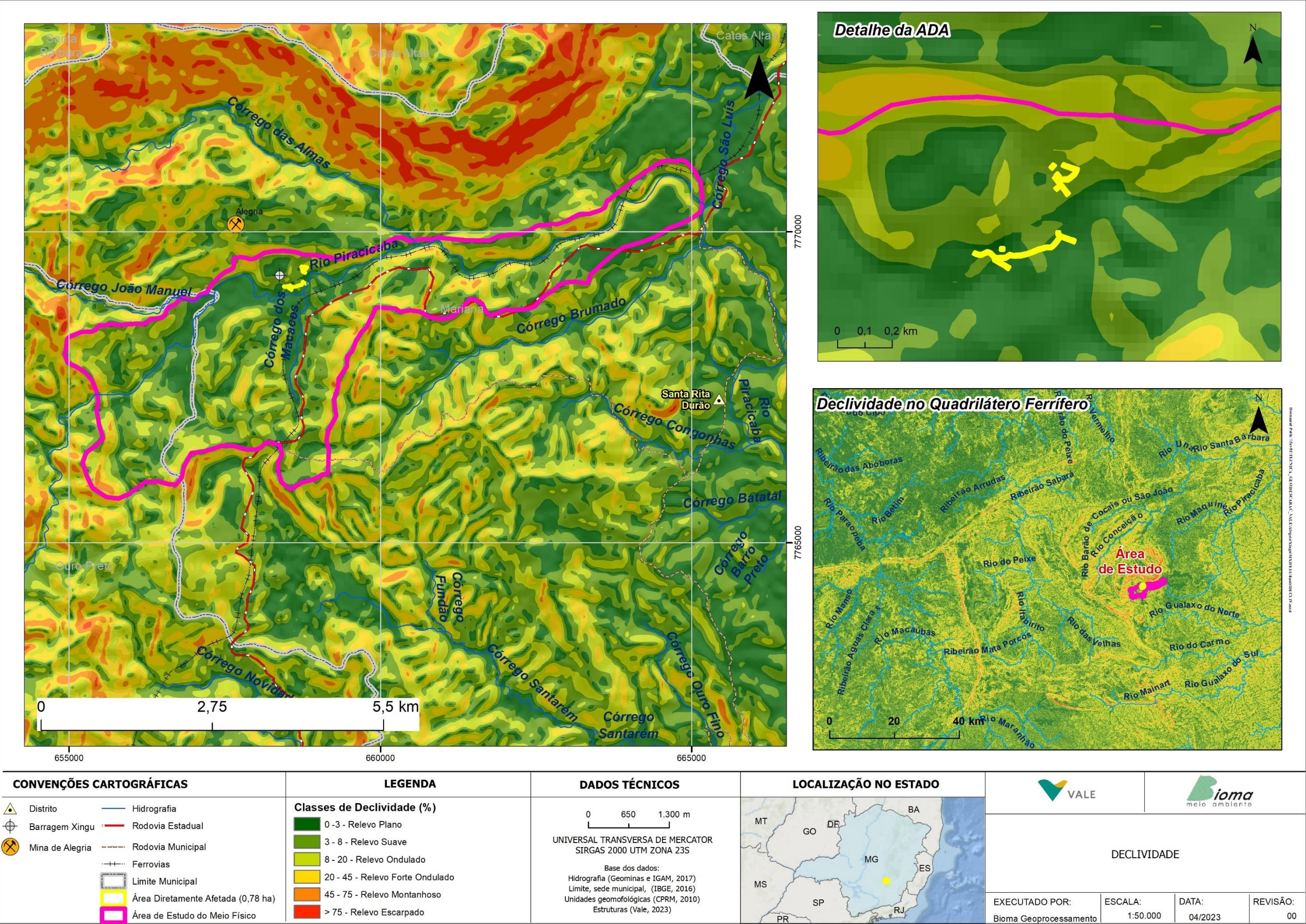
Área Diretamente Afetada (ADA)	Unidade de Relevô	Declividade	Variação da altitude (m)
Setor Norte	Domínio Montanhoso – Unidade Morrarias de Mariana	3 a 8% - Relevô suave ondulado	873 - 1029
Setor Sul		0 a 8% - Relevô plano a suave ondulado	



Mapa 4: Geomorfologia na área de estudo, Mariana, 2023.



Mapa 5: Hipsometria e topografia da área de estudo, Mariana, 2023.

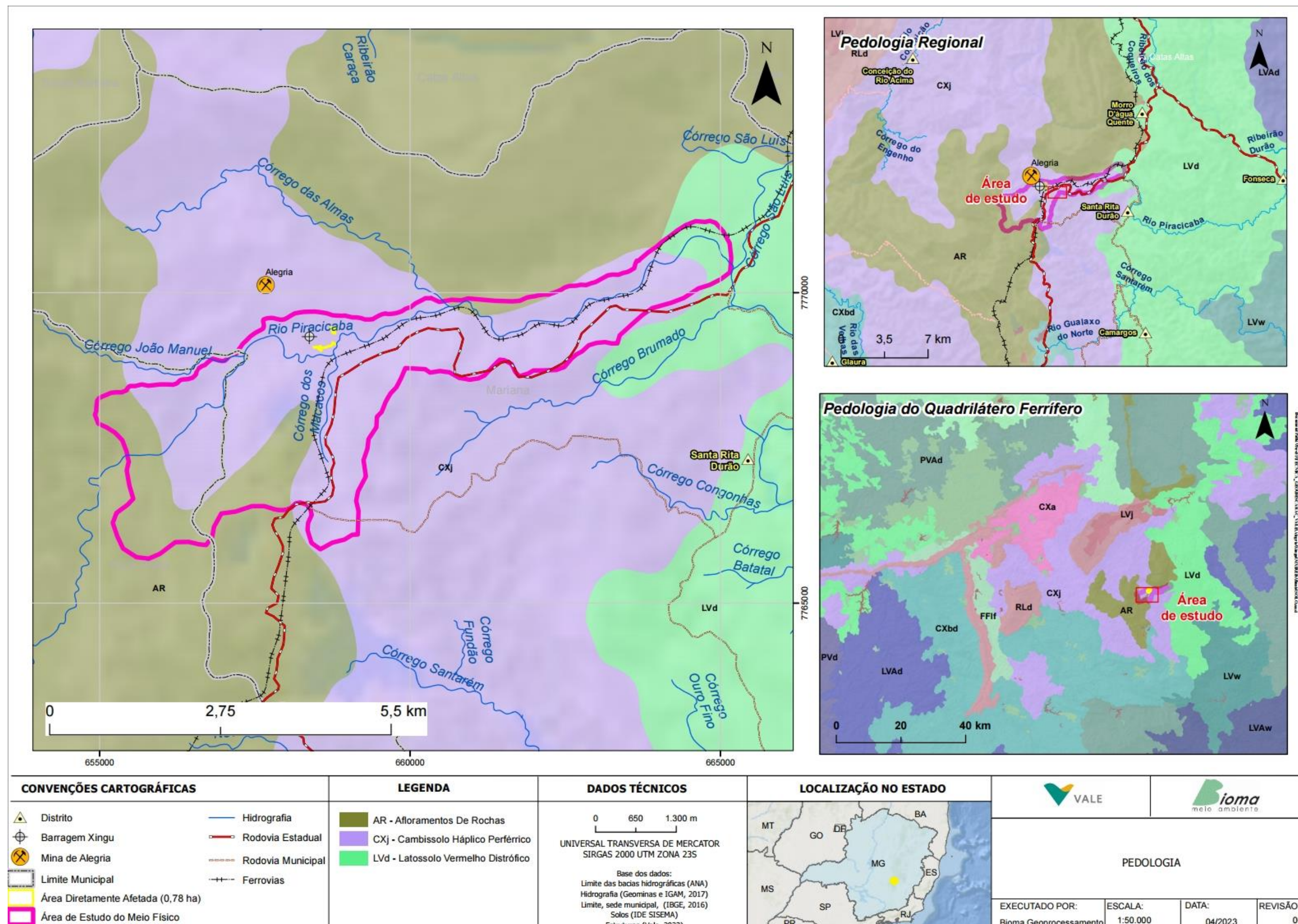


Mapa 6: Declividade da área de estudo, Mariana, 2023.

Em termos do mapeamento pedológico, segundo o Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA), na área estão presentes os CAMBISSOLOS, LATOSSOLOS e regiões de afloramentos de rocha. Na Área Diretamente Afetada os solos que compõem o substrato são caracterizados por CAMBISSOLOS HÁPLICO Perférricos típicos (CXj1), conforme apresentado no **Mapa 7**.

Os CAMBISSOLOS compreendem os solos que estão em transformação e formação, são constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, além de possuir uma sequência de horizontes A ou hístico, Bi, C, com ou sem R. Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos são variáveis. Sendo assim, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho-escura, de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração argila (SANTOS *et al.*, 2018). Quando perférricos, apresentam teores de Fe_2O_3 elevados nas camadas mais superficiais de solo, de forma que este elemento confere ao solo propriedades como a capacidade de adsorção de metais pesados como a fixação de fósforo no solo, diminuindo a disponibilidade do nutriente para as plantas, atua como cimento e afeta a troca de cátions nos solos.

Esses solos possuem fase cascalhenta, pedregosa e rochosa, saturação por bases média e saturação por alumínio baixa a média, conferindo categorias baixa a média de toxicidade e de fertilidade natural, ocorrendo geralmente em relevos acidentados associados. Além destes fatores, a baixa profundidade de solo contribui para a sua limitação para atividade agrícola (AMARAL *et al.*, 2004).



Mapa 7: Pedologia na área de estudo, Mariana, 2023.

Correlacionando as unidades pedológicas e geomorfológicas e baseando-se nas proposições de Amaral *et al.* (2004), os campos decorrentes dos CAMBISSOLOS possuem susceptibilidade à erosão natural de grau moderado, visto que, na Área Diretamente Afetada estão relacionados a declividades suaves onduladas dentro dos padrões de relevo de domínios montanhosos.

6.1.6. Espeleologia

O presente relatório expõe sinteticamente os resultados dos estudos espeleológicos para a supressão de vegetação que será realizada para abertura de vias de acesso e praças de serviço para sondagem geotécnica a ser realizada no sopé da barragem de Xingu, localizada no complexo minerário de Alegria, em Mariana/MG.

Os estudos espeleológicos, neste documento, compreendem basicamente a compilação bibliográfica e cartográfica dos dados existentes. O estudo espeleológico é fundamental e de evidente importância na avaliação de impacto de empreendimentos potencialmente degradadores do meio ambiente.

O objetivo é a identificação de patrimônio espeleológico na área de intervenção. Para tanto é necessário observar e alcançar resultados, sendo os principais: **1** - Cadastrar quantitativamente cavidades naturais subterrâneas protegidas pela Carta Magna do Brasil. **2** - Realizar caracterização fisiográfica das áreas em relação ao potencial espeleológico e feições de carstificação. **3** - Registrar pontos de controle prospectivo utilizados para a caracterização fisiográfica via transectos *in locu*. **4** - Registrar cartograficamente de forma georreferenciada os dados lançados nos transectos prospectivos. **5** - Elaborar relatório técnico contendo dados lançados anteriormente, definindo dessa forma a existência do patrimônio espeleológico quantitativamente.

6.1.6.1. Materiais e Métodos

A promulgação da Constituinte de 1988, o Artigo 20º, definiu como bens da união, em seu Inciso X: "*as cavidades naturais subterrâneas e os sítios arqueológicos e pré-históricos*". Criou-se desta forma marco regulatório para a conservação e proteção do patrimônio espeleológico brasileiro.

Os procedimentos para a elaboração do atual documento observaram os métodos e materiais descritos nas normas citadas a seguir, ressaltando que não é objetivo do presente documento a classificação de cavidades naturais no contexto de relevância do patrimônio espeleológico nacional.

a) Resolução CONAMA nº: 347/2004. Estabelece normas relativas à área de proteção circundante de cavidades naturais subterrâneas; constitui o CANIE; e, dá outras providências para processual de licenciamento ambiental.

b) Decreto Federal nº: 6.640/2008. Regulamenta, define e dá ações e outras providências ao Decreto Federal 99.556/1990 e ao patrimônio espeleológico Brasileiro.

c) Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente nº: 2/2017. Constitui padrões normativos para a classificação da relevância das cavidades naturais e do patrimônio espeleológico nacional.

d) Instrução de Serviço nº: 8/2017 da SEMAD. Estabelece diretrizes para os estudos de prospecção e classificação de cavidades naturais para o estado de Minas Gerais, segundo IN 2/2017 do MMA, com fins ao licenciamento ambiental.

e) Decreto nº: 10.935/2022. Dispõe sobre a gestão das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional (Legislação parcialmente embargada pelo Supremo Tribunal Federal).

Todos os dados lançados neste documento são secundários originados por empresas terceirizadas especializadas prestando serviço para a Vale, portanto, não houve prospecção na área ou das cavidades por parte da equipe da Bioma Meio Ambiente.

6.1.6.2. Área de prospecção – contextualização e potencial espeleológico.

A área de prospecção localizada no município de Mariana/MG, está dentro do *site* do complexo minerário de Alegria. A ADA (vias internas de acesso e praças de sondagem) = 0,78 ha + AID (*buffer* de 250 m = 55,39 ha) correspondem a uma área total de estudo de 56,17 ha, conforme pode ser observado na Figura 1. Ressalta-se que a AID, está parcialmente antropizada pela própria barragem de Xingu em cerca de 25% de área, assim sendo, nesta área não existe possibilidade de ocorrência de cavernas.

A região de estudo como um todo é considerada como de “muito alto” e “médio” potencialidade de ocorrências de cavernas, segundo a plataforma oficial de consulta do CECAV (2022), disponível também na plataforma do IDE-SISEMA, como pode ser visto no **Mapa 9**.

Os levantamentos bibliográficos e cartográficos evidenciam 1 cavidade dentro do raio mínimo de 250 m de entorno das áreas de intervenção, como disposto pela Resolução CONAMA 347/2004. A **Tabela 3**, resume a espeleologia na região próxima à barragem Xingu.

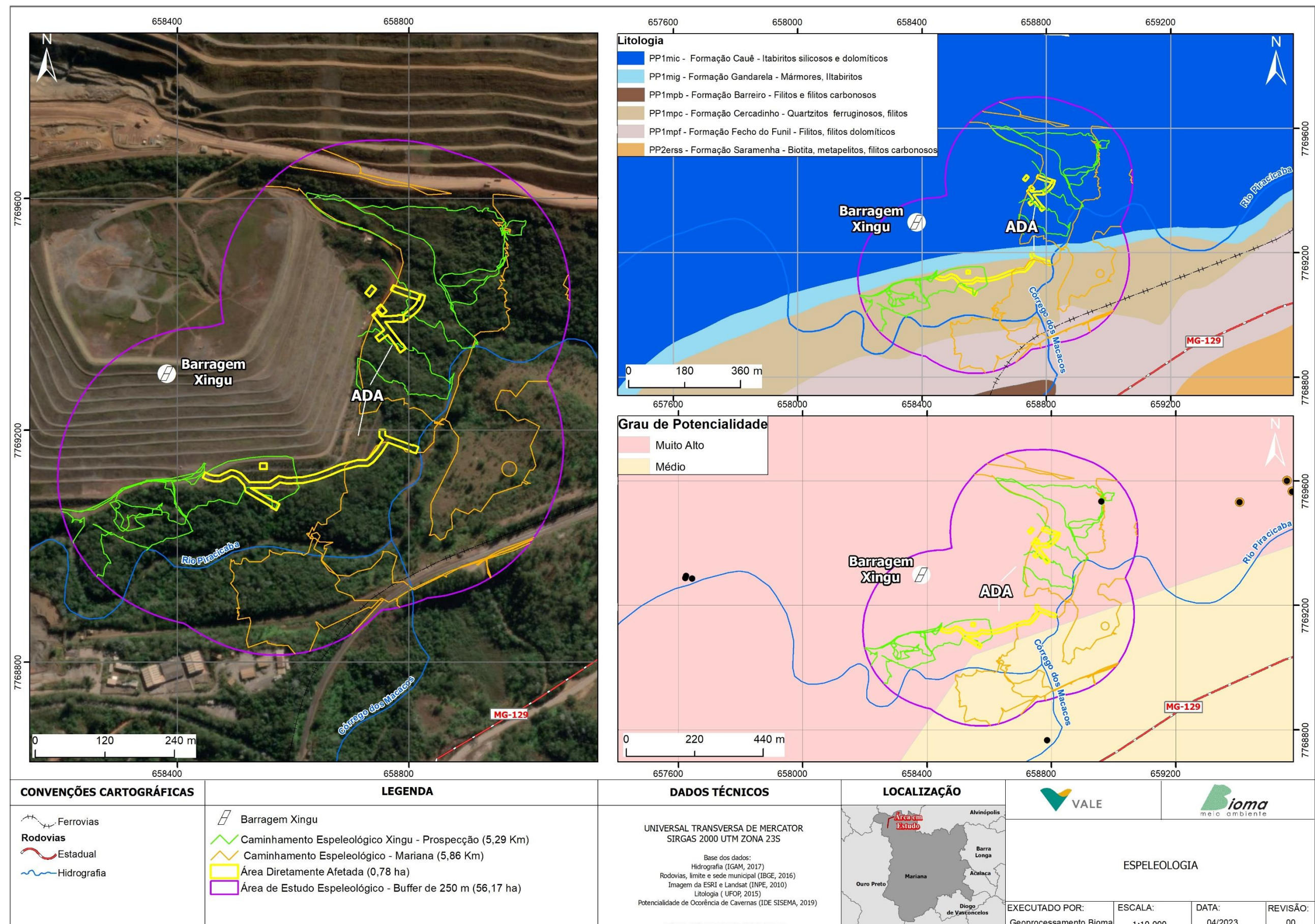
Tabela 3: Cavidades mais próximas dos limites externos da AID da ADA da barragem Xingu.

ID	TOPONÍMIA	COORDENADAS		DISTÂNCIA DA AID (m)
1	ALG-03	-20,164969	-43,474659	664
2	ALG_01	-20,164648	-43,473045	666
3	ALG_02	-20,164333	-43,473211	360
4	CAV-01-XG	-20,164981	-43.478914	0
5	BR 0043	-20.171943	-43.480517	125

Fontes: CANIE/CECAV, 2022; VALE, 2022; CLAM, 2021.

O domínio geológico da área alvo dos estudos (ADA + AID) apresentam os seguintes litotipos de norte a sul: itabiritos silicosos e dolomíticos da Formação Cauê; mármore e itabiritos da Formação Gandarela; quartzitos ferruginosos e filitos da Formação Cercadinho; filitos e filitos dolomíticos da Formação Fecho do Funil.

Entretanto, como a maior parte da área já apresenta alterações na conformação do terreno, o potencial de ocorrência de cavidades já não corresponde ao avaliado apenas pelas unidades geológicas e litotípicas. Portanto, as rochas do ponto de vista espeleogenético, são consideradas de alto potencial para ocorrência de cavernas (JANSEN, 2012), a exceção dos filitos, contudo reafirmamos, a geografia na região é dominada por antropização imposta por atividades de mineração, como pode ser observado na **Mapa 8**.



Mapa 8: ADA + buffer de 250m para a espeleologia da barragem de Xingu: potencial de ocorrência de cavidades, com a geologia litotípica e em imagem orbital, 2023.

A caverna situada dentro da Área de Influência Direta (AID = 250 m, resolução CONAMA 347/2004) do empreendimento – CAV-01-XG – se encaixa nos itabiritos silicosos e dolomíticos da formação Cauê. A espeleometria da cavidade é resumida na **Tabela 4**.

Observamos que existe uma cavidade não cadastrada no CANIE/CECAV, contudo conhecida da VALE, a gruta BR 0043, que se situa a sul da ADA. A cavidade não está dentro da AID (250 m) da ADA, mas sua área de influência de 250 m se sobrepõe à área da AID (**Foto 1**).

Tabela 4: Espeleometria e rocha encaixante das cavidades encontradas na AID do empreendimento.

CAVE	PROJEÇÃO HORIZONTAL (m)	DESNÍVEL (m)	ÁREA (m ²)	VOLUME (m ³)	LITOTIPOS
CAV-01-XG	1,85	0	6,46	5,68	(Formação Cauê) Itabiritos silicosos e dolomíticos
BR 0043	--	--	--	--	(Formação Fecho do Funil) Filitos e filitos dolomíticos

Fonte: CANIE/CECAV, 2022; CLAM, 2021.



Foto 1. Cavidade denominada CAV-01-XG com coordenadas: 658.961,49/7.769.534,21. Possui 1,85 m de projeção horizontal, sem desnível.

Tabela 5: Densidade de caminhada por potencial espeleológico da barragem de Xingu.

POTENCIAL ESPELEOLÓGICO	DENSIDADE DE CAMINHAMENTO PREVISTO IS 8/2017 (km/km ²)	ÁREA EMPREENDIMENTO (km ²)	CAMINHAMENTO REALIZADO (km)
MUITO ALTO / ALTO	20	0,5617 (ADA + AID)	11,15
MÉDIO	10	--	--
BAIXO	5	--	--
IMPROVÁVEL	3	--	--

Fonte: VALE, 2022.

Os caminhamentos prospectivos podem ser visualizados na Figura 1, onde estão os elementos plotados: ADA e Área de Influência Direta.

A gruta CAV-01-XG, não está registrada no CANIE/CECAV provavelmente por possuir projeção horizontal inferior a 5 m (1,85 m), está localizada na região mais a nordeste da ADA, dentro da AID. Os dados disponíveis demonstram que a cavidade é pouco expressiva em parâmetros espeleológicos de relevância patrimonial. Conhecida pela Vale, se mantém intacta em meio à vegetação (Figura 1). Da mesma forma a gruta BR 0043 também não está registrada no CANIE/CECAV e não existe dados de relevância de espeleometria da mesma.

6.1.6.3. Considerações.

Considerando a inexistência de afloramentos rochosos na ADA e na AID, e que o relevo é pouco inclinado, sem abruptos geográficos/quebras de relevo;

Considerando que há petrografia solúvel sotoposta ou subjacente na área de estudo, sobretudo dolomitos;

Observando que o IDE do SISEMA (CECAV/ICMBio) classifica como “muito alto” e “médio” a potencialidade de ocorrências de cavidades naturais na área alvo do estudo;

Notando que foram compilados todos os dados secundários disponibilizados e computados pelos órgãos reguladores da temática, sobretudo o CECAV/ICMBio e o IDE-SISEMA;

Ponderando que a Bioma Meio Ambiente não realizou prospecção na região, contemplando somente dados secundários de terceirizadas prestadoras de serviços especializados em espeleologia para a Vale;

Levando também em consideração que as cavernas registradas mais próximas estão a mais de 300 m de distância da AID, segundo CANIE do CECAV, exceto a gruta CAV-01-XG;

Concluímos, somada às considerações expostas acima obtidas segundo metodologia de estudos e levantamentos expressos nesse documento, que existe uma cavidade natural subterrânea na AID (entorno imediato de 250m = *buffer*), gruta CAV-01-XG.

A gruta CAV-01-XG, possui 1,85 m de extensão, portanto se trata de uma feição irrelevante do ponto de vista da espeleologia, que considera cavidades aquelas que possuem desenvolvimento superior a 5 m.

Existe uma gruta que sobrepõe sua área de influência com a área da AID – gruta BR 0043, que se encontra em área de ‘médio potencial de ocorrência de cavernas’. Ressaltamos que esta cavidade não está registrada no CANIE/CECAV e não existem dados de espeleometria ou outros de informações sobre a mesma.

A partir das observações anteriores, reafirmamos que a possibilidade de existência de cavidade natural passível de proteção é baixa e/ou nula, improvável, além daquelas cavidades já evidenciadas pelas prospecções apresentadas.

6.1.7. Recursos Hídricos e Qualidade das Águas Superficiais

6.1.7.1. Recursos Hídricos

A Área de Intervenção está inserida na bacia hidrográfica do rio Doce, esta é dividida, no contexto de planejamento, em seis Circunscrições Hidrográficas: DO1, DO2, DO3, DO4, DO5 e DO6. A área que contempla as investigações geotécnicas necessárias às obras de descaracterização da barragem Xingu está situada na bacia do rio Piracicaba, no município de Mariana/MG, definida como Circunscrição Hidrográfica DO2, conforme a Deliberação Normativa CERH-MG Nº 66, de 17 de novembro de 2020.

6.1.7.1.1. Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba

A bacia do rio Piracicaba está situada na bacia do rio Doce, tendo como extensão uma área equivalente a 5.465,38 km² e está contida em sua totalidade no estado de Minas Gerais. O talvegue do leito principal percorre 241 Km, desde a nascente na Serra do Caraça até a foz no rio Doce (PARH RIO PIRACICABA, 2010).

O rio Piracicaba possui cerca de 241 quilômetros de extensão, nascendo no município de Ouro Preto e percorrendo até o limite de Ipatinga/MG e Timóteo/MG onde deságua no rio Doce. Ao longo do curso do rio Piracicaba, o manancial apresenta uma recarga de rios significativos, sendo estes considerados como córregos e ribeirões que compõem parte da sua rede de drenagem (CBH-PIRACICABA, 2013).

6.1.7.1.2. Uso das Águas

Baseado nos dados de vazões médias específicas da bacia do rio Doce, a vazão de referência da bacia do rio Piracicaba, a qual está inserida a área de estudo, está apresentada no Plano Integrado de Recursos Hídricos do rio Doce, conforme **Tabela 6**.

Tabela 6: Disponibilidade hídrica superficial da sub-bacia do rio Piracicaba (Fonte: PIRH RIO DOCE, 2010)

Sub-bacia	Área (km ²)	Vazão específica (L/s. km ²)		Vazão (m ³ /s)	
		Q _{MLT}	Q _{7,10}	Q _{MLT}	Q _{7,10}
Rio Piracicaba	5.444	18,0	5,49	97,9	29,9

O Plano Integrado de Recursos Hídricos do rio Doce apresentou que a vazão de referência da sub-bacia do rio Piracicaba é equivalente a 29,90 m³/s. Este valor corresponde à vazão representativa do limite superior do uso da água na sub-bacia supracitada.

Em relação à área de intervenção, pela base de dados da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA), foram detectados na área de estudo os usos das águas outorgados pelo Instituto de Gestão das Águas Mineiras (IGAM) e os dados gerais estão na **Tabela 7**.

Tabela 7: Usos da água na poligonal da área de estudo (Fonte: IDE SISEMA, 2023)

Tipo de uso	Modo de uso	Finalidade de uso	Vazão (m³/s)	Regime (h/d)	Curso d'água	Usuários
Superficial	Captação em corpo de água (Rios, lagoas naturais etc.)	Consumo industrial	0,051	24	rio Piracicaba	Samarco Mineração S/A
Superficial	Captação em corpo de água (Rios, lagoas naturais etc.)	Consumo industrial	0,0051	20	afluente do córrego dos Macacos	Vale S.A

6.1.7.1.3. Enquadramento das Águas Superficiais

A Área de Intervenção, que contempla as investigações geotécnicas necessárias às obras de descaracterização da barragem Xingu, encontra-se na bacia do rio Piracicaba.

Essa bacia supracitada, no trecho do curso de água de proximidade das intervenções, está enquadrada, pela Deliberação Normativa COPAM nº 09, de 19 de abril de 1994, no Trecho 02 como Classe 2, onde: "A – LEITO PRINCIPAL - Trecho 02 – Rio Piracicaba, a partir da confluência com o córrego das Falhas até a confluência com o rio Doce – Classe 2".

6.1.7.2. Qualidade das Águas Superficiais

Objetivando-se identificar o comportamento da qualidade da água superficial do entorno da Área de Intervenção, foi realizado uma análise dos dados de monitoramento hídrico a fim de definir o padrão de qualidade nos pontos da rede de monitoramento, em função da Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022.

6.1.7.2.1. Metodologia

Utilizou-se como metodologia, os dados secundários referentes à matriz água superficial da rede de monitoramento da AMPLO (2021), com 2 pontos distribuídos no entorno da Área de Intervenção, inseridos na área de estudo. Foram considerados os dados secundários dos pontos BA01 – ALE01 e BA02 – ALE05 para os períodos de junho/2018 e novembro/2018, conforme apresentado no **Quadro 4**, bem como a rede de monitoramento com seus respectivos parâmetros de análise, coordenadas e frequência de amostragem.

Quadro 4: Descrição do monitoramento da qualidade da água superficial (Fonte: VALE, 2022), 2023.

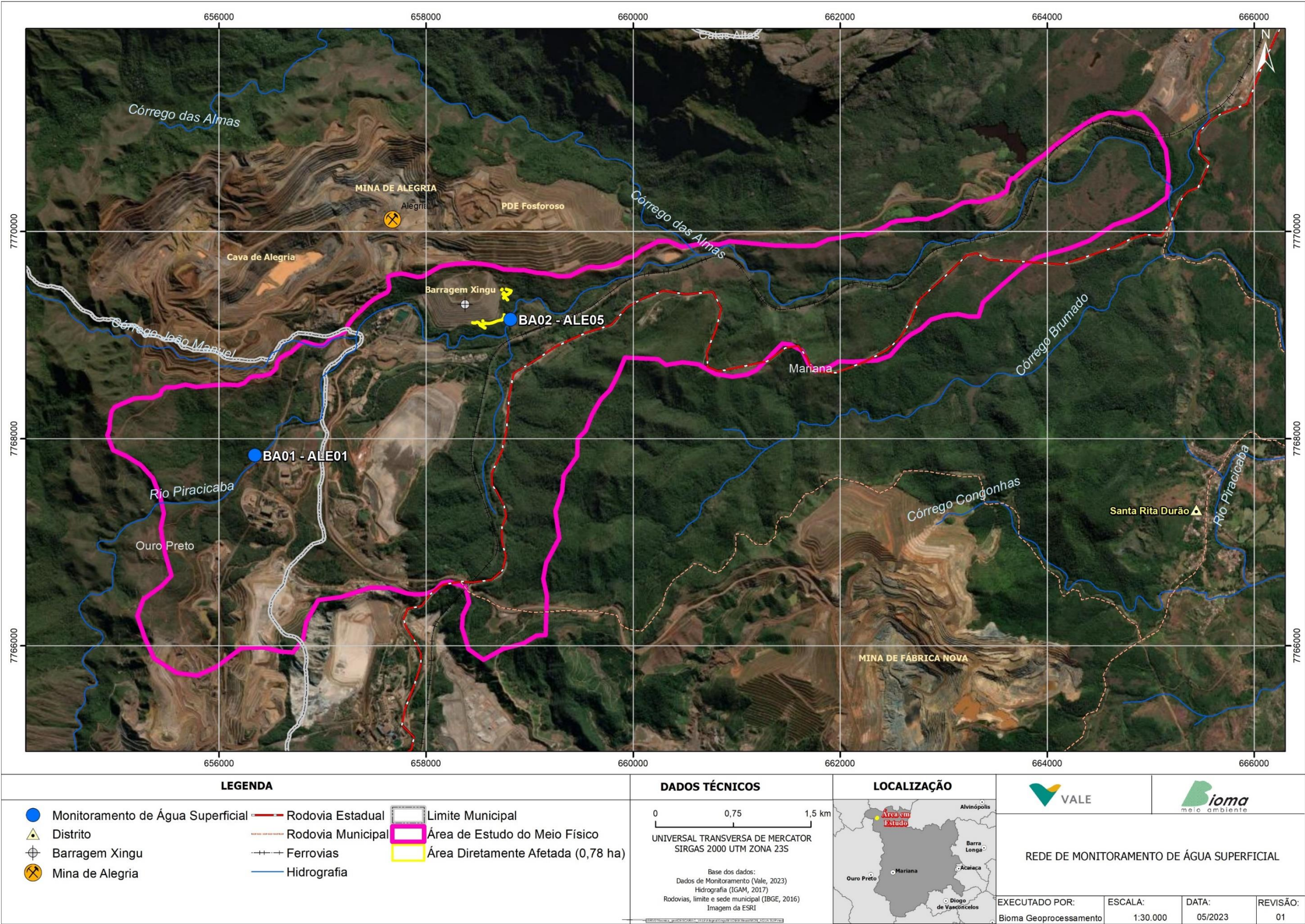
Denominação do Ponto de Amostragem	Parâmetros	Coordenadas		Frequência
		Latitude (N)	Longitude (E)	
BA01 – ALE01	Alcalinidade Total, Alumínio Dissolvido, Antimônio, Arsênio Total, Cádmio Total, Chumbo Total, Cianeto Livre, Cloreto Total, Clorofila a, Cobalto Total, Cobre Dissolvido, Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>), Condutividade Elétrica, Cor Verdadeira, Cromo Total, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Dureza, Ferro Total, Ferro Dissolvido, Fluoreto Total, Fosfato Total, Fósforo Total, Fenóis Totais, Manganês Total, Manganês Dissolvido, Mercúrio Total, Níquel Total, Nitrato (como N), Nitrito (como N), Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Total, Oxigênio Dissolvido, pH (a 25°C), Prata Total, Sólidos Dissolvidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Totais, Sulfato Total, Sulfetos de Hidrogênio não dissociado, Surfactantes, Temperatura Ambiente, Temperatura da Amostra, Turbidez, Urânio Total e Zinco Total	7.767.838	656.349	Pontual
BA02 – ALE05	Alcalinidade Total, Alumínio Dissolvido, Antimônio, Arsênio Total, Cádmio Total, Chumbo Total, Cianeto Livre, Cloreto Total, Clorofila a, Cobalto Total, Cobre Dissolvido, Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>), Condutividade Elétrica, Cor Verdadeira, Cromo Total, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Dureza, Ferro Total, Ferro Dissolvido, Fluoreto Total, Fosfato Total, Fósforo Total, Fenóis Totais, Manganês Total, Manganês Dissolvido, Mercúrio Total, Níquel Total, Nitrato (como N), Nitrito (como N), Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Total, Oxigênio Dissolvido, pH (a 25°C), Prata Total, Sólidos Dissolvidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Totais, Sulfato Total, Sulfetos de Hidrogênio não dissociado, Surfactantes, Temperatura Ambiente, Temperatura da Amostra, Turbidez, Urânio Total e Zinco Total	7.769.150	658.819	Pontual

6.1.7.2.2. Resultados e interpretações de dados

O **Quadro 5** apresenta os pontos de monitoramentos, bem como as classes de enquadramento, conforme Deliberação Normativa nº 09, de 19 de abril de 1994. A localização dos pontos está disposta no **Mapa 9**.

Quadro 5: Pontos de análise da matriz água superficial.

Pontos	Curso de Água	Latitude (N m)	Longitude (E m)	Enquadramento
BA01 - ALE01	rio Piracicaba	7.767.838	656.349	Classe 2
BA02 – ALE05	rio Piracicaba	7.769.150	658.819	Classe 2



Mapa 9: Localização dos pontos de monitoramento de águas superficiais, Mariana, 2023.

Informações acerca dos valores dos parâmetros encontrados em comparação com os padrões máximos permitidos pelas normas vigentes serão apresentadas. Para os parâmetros que apresentarem mais de 1 valor durante o mês do monitoramento, considera-se, como metodologia, a média aritmética a fim de representar o comportamento mensal do respectivo parâmetro de análise.

- **Caracterização das variáveis físicas da água:** Condutividade Elétrica, Cor Verdadeira, Dureza, pH (a 25°C), Temperatura Ambiente, Temperatura da Amostra, Turbidez e Série Sólidos.

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

O valor máximo permissível para a Condutividade Elétrica não é determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2. No entanto, a CETESB (2020) apresenta que valores superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ podem ser indicadores de ambientes impactados.

Os pontos monitorados apresentaram resultados variando entre valores abaixo do limite de detecção do método de análise (no ponto BA01 – ALE01 em junho/2018) e 68,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (no ponto BA02 em junho/2018).

COR VERDADEIRA

O valor máximo permissível para a Cor Verdadeira é determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 como até de 75 mg Pt/L, para águas doces de classe 2.

Os resultados de Cor Verdadeira apresentaram dados variando entre < 5,0 mg Pt/L (no ponto BA02 – ALE05 em junho/2019) e 114,00 mg Pt/L (no ponto BA02 – ALE05 em novembro/2018). Verificou-se que duas amostragens ultrapassaram o valor máximo permissível, sendo estas: Ponto BA01 – ALE01 em novembro/2018 de 101,00 mg Pt/L e BA02 – ALE05 em novembro/2018 de 114,00 mg Pt/L.

DUREZA

O valor máximo permissível para a Dureza não é determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2.

Os resultados de Dureza apresentaram dados variando entre valores abaixo da detecção do método de análise (no ponto BA01 – ALE01 em junho/2018) e 4,2 mg/L (no ponto BA02 em junho/2018).

pH (a 25°C)

O valor máximo permissível para o pH é determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 com níveis entre 6,0 e 9,0 para águas doces de classe 2.

Destaca-se que todos os pontos apresentaram conformidade com o valor máximo permissível nas legislações vigentes e os resultados variaram entre 6,83 (no ponto BA01 – ALE01 em novembro/2018) e 7,64 (no ponto BA02 em novembro/2018).

TEMPERATURA AMBIENTE E TEMPERATURA DA AMOSTRA

O valor máximo permissível para a Temperatura Ambiente e Temperatura da Amostra não são determinados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2.

Os valores de Temperatura Ambiente variaram entre 23,8°C e 21°C (no ponto BA02 – ALE05 em junho e novembro/2018) e 27°C e 20,6°C (no ponto BA02 – ALE05 em junho e novembro /2018).

Para Temperatura da Amostra, os resultados variaram entre 19°C e 20 °C para ambos os pontos nos períodos, entre junho/2018 e novembro/2018.

TURBIDEZ

O valor máximo permissível para a Turbidez determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2 é de até 100 UNT.

Destaca-se que todos os pontos apresentaram resultados em conformidade com os regulamentos, variando entre 0,52 UNT (no ponto BA01 – ALE01 em agosto/2018) e 63,9 UNT (no ponto BA02 – ALE05 em novembro/2018).

SÉRIE DE SÓLIDOS

Da série de sólidos (Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Totais e Sólidos Dissolvidos Totais), apenas são regulamentados os valores máximos permissíveis de Sólidos Dissolvidos Totais (em 500 mg/L) e Sólidos em Suspensão Totais (em 100 mg/L), pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2.

Os resultados obtidos em todos os pontos apresentaram conformidade com o valor máximo permissível nas legislações vigentes.

- **Caracterização das variáveis químicas da água:** Série Alcalinidade, Alumínio Total, Alumínio Dissolvido, Antimônio, Arsênio Total, Cádmio Total, Chumbo Total, Cianeto Livre, Cloreto Total, Clorofila a, Cobalto Total, Cobre Dissolvido, Cromo Total, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Ferro Total, Ferro Dissolvido, Fluoreto Total, Fosfato Total, Fósforo Total, Fenóis Totais, , Série Manganês, Mercúrio Total, Níquel Total, Nitrato (como N), Nitrito (como N), Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Total, Oxigênio Dissolvido, Potássio Dissolvido, Prata Total, Sulfato Total, Sulfeto (H₂S não dissociado), Surfactantes, Urânio Total e Zinco Total.

SÉRIE ALCALINIDADE

O valor máximo permissível para a série alcalinidade (Alcalinidade Total), não são determinados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2.

Em relação ao parâmetro de Alcalinidade Total, os valores variaram entre abaixo da detecção do método de análise (no ponto BA01 – ALE01 em junho/2018 e em novembro/2018 e no ponto BA02 – ALE05 em junho/2018 e novembro/2018).

SÉRIE DE ALUMÍNIO DISSOLVIDO

O valor máximo permissível para o Alumínio Dissolvido, determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2, é de até 0,1 mg/L Al.

Os resultados de Alumínio Dissolvido apresentaram dados variando entre abaixo do limite de detecção do método de análise e 0,121 mg/L Al. Verificou-se que apenas no ponto BA01 – ALE01 em novembro/2018 o resultado ultrapassou o limite máximo permissível das legislações vigentes, com o valor de 0,121 mg/L Al.

ANTIMÔNIO

O valor máximo permissível para o Antimônio, determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2, é de até 0,005 mg/L Sb.

Os resultados de Antimônio apresentaram dados abaixo do limite de detecção do método de análise conferindo a conformidade do parâmetro pelas legislações vigentes.

ARSÊNIO TOTAL

O valor máximo permissível para o Arsênio Total, determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2, é de até 0,01 mg/L As.

Os resultados de Arsênio Total apresentaram conformidade em relação ao valor máximo permissível pelas legislações vigentes. Os dados variaram entre 0,00088 mg/L As (no ponto BA01 – ALE01 em novembro/2018) e 0,00067 mg/L As (ponto BA02 – ALE05 em novembro/2018).

CÁDMIO TOTAL

O valor máximo permissível para o Cádmio Total, determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2, é de até 0,001 mg/L Cd.

Os resultados de Cádmio Total apresentaram dados abaixo do limite de detecção do método de análise, permitindo a conformidade do parâmetro pelas legislações vigentes.

CHUMBO TOTAL

O valor máximo permissível para o Chumbo Total, determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2, é de até 0,01 mg/L Pb.

Os resultados de Chumbo Total apresentaram dados abaixo do limite de detecção do método de análise, permitindo a conformidade do parâmetro pelas legislações vigentes.

CIANETO LIVRE

O valor máximo permissível para o Cianeto Livre, determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2, é de até 0,005 mg/L CN.

Os resultados de Cianeto Livre apresentaram dados abaixo do limite de detecção do método de análise. No entanto, todos os resultados apresentaram dentro do limite máximo permissível pelas legislações vigentes.

CLORETO TOTAL

O valor máximo permissível para o Cloreto Total, determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2, é de até 250 mg/L Cl.

Os resultados de Cloreto Total apresentaram conformidade em relação ao valor máximo permissível pelas legislações vigentes.

CLOROFILA A

O valor máximo permissível para a Clorofila A, determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2, é de até 30 µg/L.

Todos os resultados de Clorofila A apresentaram conformidade com o valor máximo permissível pelas legislações vigentes.

COBALTO TOTAL

O valor máximo permissível para a Cobalto Total, determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2, é de até 0,05 mg/L Co.

Todos os resultados de Cobalto Total apresentaram conformidade com o valor máximo permissível pelas legislações vigentes.

COBRE DISSOLVIDO

O valor máximo permissível para a Cobre Total não é determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2. Todos os resultados de Cobre Dissolvido estiveram abaixo do menor limite de detecção do método analítico.

CROMO TOTAL

O valor máximo permissível para a Cromo Total, determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2, é de até 0,05 mg/L Cr.

Todos os resultados de Cromo Total apresentaram conformidade ao valor máximo permissível pelas legislações vigentes.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO

O valor máximo permissível da Demanda Bioquímica de Oxigênio é de até 5,00 mg/L O₂ pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2. Os resultados de todos os pontos estão em conformidade com o valor máximo permissível nas legislações vigentes.

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO

O valor máximo permissível da Demanda Química de Oxigênio não é definido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2. Para o parâmetro de Demanda Química de Oxigênio os pontos não apresentaram valores acima do limite de detecção da análise do método.

SÉRIE DE FERRO

Da série de Ferro (Ferro Total e Ferro Dissolvido), apenas são regulamentados os valores máximos permissíveis de Ferro Dissolvido em 0,3 mg/L Fe pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2. O resultado que ultrapassou o limite máximo

permissível pelas legislações vigentes foi no ponto BA01 – ALE01 (em novembro/2018 de 0,351 mg/L Fe). O valor supracitado foi registrado pontualmente no local amostrado, o que pode ser indicativo de alguma interferência externa identificada durante a amostragem da água.

FLUORETO TOTAL

O valor máximo permissível de Fluoreto Total é de até 1,40 mg/L F pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2. Os resultados de todos os pontos estão em conformidade com o valor máximo permissível nas legislações vigentes.

FOSFATO TOTAL

O valor máximo permissível de Fosfato Total não é regulamentado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2. Os resultados variaram entre abaixo do limite de detecção do método de análise e 0,07 mg/L P.

FÓSFORO TOTAL

O valor máximo permissível de Fósforo Total é de até 0,10 mg/L P pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2, em ambientes lóticos. Os resultados de todos os pontos estão em conformidade com o valor máximo permissível nas legislações vigentes.

FENÓIS TOTAIS

O valor máximo permissível de Fenóis Totais é de até 0,003 mg/L C₆H₅OH pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2. Os resultados de todos os pontos estão em conformidade com o valor máximo permissível nas legislações vigentes apresentando valores abaixo do limite de detecção do método de análise.

SÉRIE MANGANÊS

Da série de Manganês (Manganês Total e Manganês Dissolvido), apenas são regulamentados os valores máximos permissíveis de Manganês Total em 0,1 mg/L Mn pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2. Os resultados que ultrapassaram o limite máximo permissível pelas legislações vigentes foram os pontos: BA02 – ALE05 (em junho/2018 de 0,126 mg/L Mn, em novembro/2018 de 0,129 mg/L Mn e fevereiro/2019 de 0,101 mg/L Mn).

MERCÚRIO TOTAL

O valor máximo permissível de Mercúrio Total é de até 0,0002 mg/L Hg pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2. Os resultados

de todos os pontos estão em conformidade com o valor máximo permissível nas legislações vigentes, apresentando valores abaixo do limite de detecção do método de análise.

NÍQUEL TOTAL

O valor máximo permissível de Níquel Total é de até 0,025 mg/L Ni pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2. Os resultados de todos os pontos estão em conformidade com o valor máximo permissível nas legislações vigentes apresentando valores abaixo do limite de detecção do método de análise.

SÉRIE DE NITROGÊNIO

Da série de Nitrogênio (Nitrato como N, Nitrito como N, Nitrogênio Amoniacal e Nitrogênio Total) apenas são regulamentados valores máximos permissíveis de: Nitrato como N em 10,0 mg/L N, Nitrito como N em 1,0 mg/L N e Nitrogênio Amoniacal Total em 2,0 mg/L N, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces classe 2. Verificou-se que os valores atenderam as legislações vigentes.

OXIGÊNIO DISSOLVIDO

O Oxigênio Dissolvido é regulamentado como valores máximos permissíveis de Oxigênio Dissolvido não inferior a 5,00 mg/L O₂ pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2. Todos os resultados apresentaram valores dentro dos limites permissíveis pelas legislações vigentes, variando entre a faixa de 6,35 mg/L O₂ (no ponto BA02 – ALE05 em junho/2019) e 8,62 mg/L O₂ (no ponto BA01 – ALE01 em junho/2018).

PRATA TOTAL

A Prata Total é regulamentada pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2, em até 0,01 mg/L Ag. Verificou-se que os valores atenderam as legislações vigentes apresentando resultados abaixo do limite de detecção do método de análise.

SULFATO TOTAL

O Sulfato Total é regulamentado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2, e apresenta limite máximo de 250 mg/L SO₄. Verificou-se que os valores atenderam as legislações vigentes apresentando variação entre 0,81 mg/L SO₄ (no ponto BA01 – ALE01 em novembro/2018) e 1,2 mg/L SO₄ (no ponto BA02 em junho/2018).

SULFETO (H₂S NÃO DISSOCIADO)

O Sulfeto (H₂S não dissociado) é regulamentado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2, e apresenta limite máximo de 0,002 mg/L S. Verificou-se que os valores atenderam as legislações vigentes apresentando resultados abaixo do limite de detecção do método de análise.

SURFACTANTES

Os Surfactantes não são regulamentados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2. Verificou-se os valores variando entre o limite de detecção do método de análise (na maioria das amostragens) e 0,32 mg/L S (no ponto QA em janeiro/2016).

URÂNIO TOTAL

O Urânio Total é regulamentado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2, e apresenta limite máximo de 0,02 mg/L U. Verificou-se que os valores atenderam as legislações vigentes apresentando resultados abaixo do limite de detecção do método de análise.

ZINCO TOTAL

O Zinco Total é regulamentado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2, e apresenta limite máximo de 0,18 mg/L Zn. Verificou-se que os valores atenderam as legislações vigentes apresentando resultados abaixo do limite de detecção do método de análise.

- **Caracterização das variáveis bacteriológicas da água:** Coliformes Totais, *Escherichia Coli* e *Streptococos* fecais.

COLIFORMES TERMOTOLERANTES (*Escherichia Coli*)

O número de Coliformes Termotolerantes (*Escherichia Coli*) é regulamentado pela Resolução CONAMA 274/2000 a qual determina que são consideradas condições impróprias de balneabilidade quando o valor obtido na última amostragem for superior a 2500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 2000 *Escherichia coli* ou 400 enterococos por 100 mililitros. Para os demais usos a CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de classe 2, determina que não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

Os resultados de Coliformes Termotolerantes apresentaram dados variando entre abaixo do limite de detecção do método de análise a 1600 NMP/100mL AI. Verificou-se que apenas no ponto BA02 em novembro/2018 o resultado ultrapassou o limite máximo permissível pelas legislações vigentes, com o valor de 1600 NMP/100mL.

6.1.8. Recursos Hídricos e Qualidade das Águas Subterrâneas

6.1.8.1. Recursos Hídricos

A área de estudo está inserida na bacia hidrográfica do rio Piracicaba, localizada no Cráton São Francisco (PARH RIO PIRACICABA, 2010). Os principais sistemas aquíferos associados a essa bacia são: granular ou poroso e fissurado.

6.1.8.1.1. Uso das Águas

O potencial e a disponibilidade hídrica subterrânea são avaliados a partir da capacidade de produção dos poços expressos em vazão específica e da capacidade de armazenamento calculada com o estudo do regime de recessão ou de esgotamento do escoamento superficial. A partir dos poços analisados por PARH – Plano de Ação de Recursos Hídricos RIO PIRACICABA (2010) as vazões específicas, em geral, variam de 0 a 1 m³/h/m, podendo apresentar maiores vazões específicas na área da foz, nas cidades de Ipatinga, Timóteo e Coronel Fabriciano, estando em conformidade com a região do aquíferos porosos, sendo que essas localidades comportam cerca de 49,7% dos poços outorgados da bacia do rio Piracicaba, evidenciando o intenso uso dos aquíferos porosos. Entretanto, a maior densidade de poços tubulares e outros tipos de captação subterrânea se concentra em São Domingos do Prata, Itabira e Bom Jesus do Amparo, representando a não dominância de captações em domínios granulares (**Figura 5**).

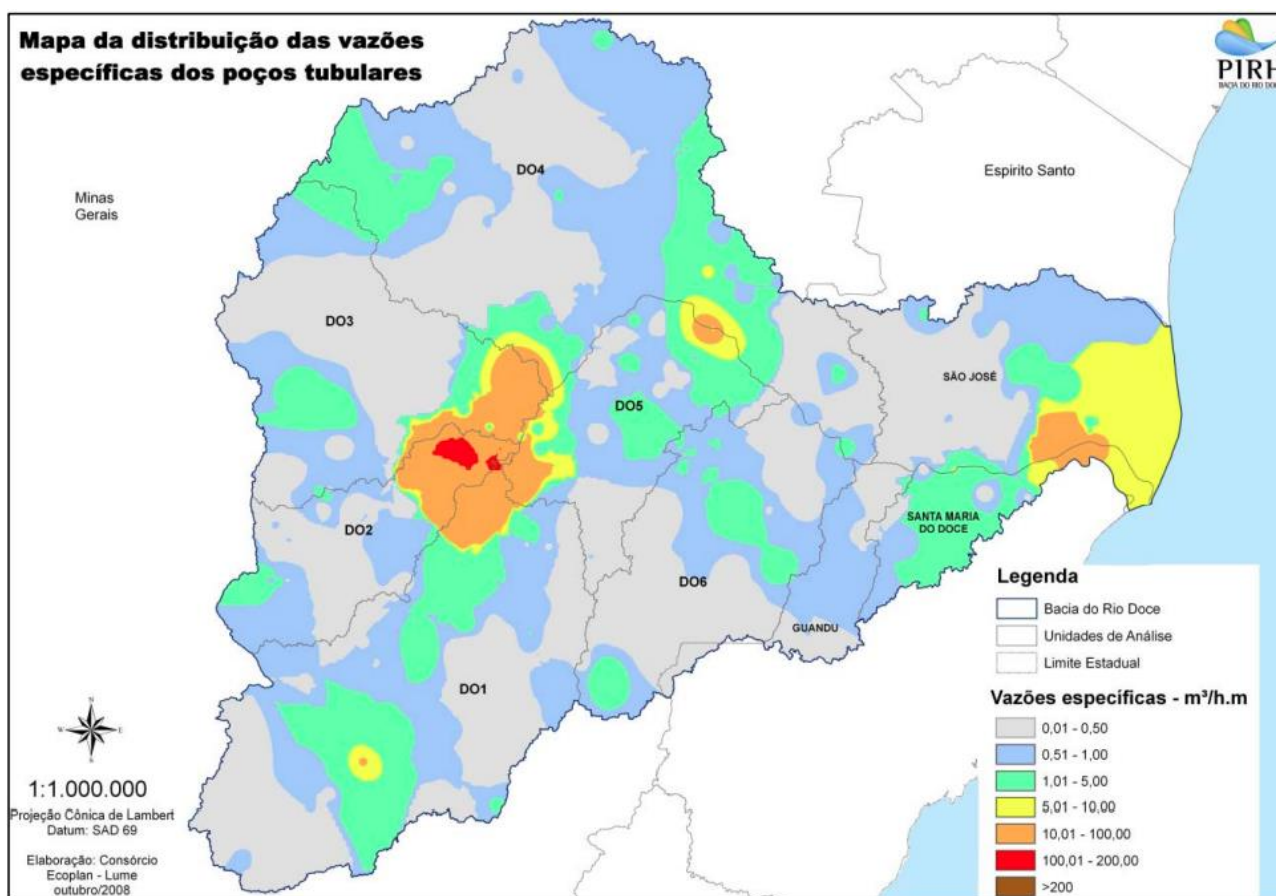


Figura 5. Distribuição das vazões específicas dos poços inventariados da bacia do rio Piracicaba. Fonte: PARH RIO PIRACICABA, 2010.

Segundo o PARH RIO PIRACICABA (2010), o uso das águas subterrâneas foi dividido em categorias com a finalidade do uso, sendo elas: abastecimento humano; abastecimento industrial; dessedentação animal; irrigação. No total, utilizaram as informações de 1817 captagens de águas subterrâneas no meio rural e a **Tabela 8** apresenta o número de captagens para localidade.

A distribuição modal para as finalidades de usos da água dentro da bacia do rio Piracicaba consiste em uma composição de 51% concentrado em abastecimento para uso industrial, seguido por 44% para abastecimento humano, estes contendo a maior proporção para os usos da água na bacia. Subordinadamente as finalidades são voltadas para a irrigação com 3% e dessedentação animal com 2% da composição geral.

Tabela 8: Número e tipos de captagens por localidade na bacia do rio Piracicaba. Fonte: PARH RIO PIRACICABA, 2010.

Município	Poços Comuns	Poços Artesianos, Semi-Artesianos ou Tubulares	Cisternas
Antônio Dias	10	19	64
Barão de Cocais	1	3	14
Bela Vista de Minas	15		20
Bom Jesus do Amparo	149	39	217
Catas Altas			3
Coronel Fabriciano	25	7	39
Ipatinga	43		45

Município	Poços Comuns	Poços Artesianos, Semi-Artesianos ou Tubulares	Cisternas
Itabira	36	29	138
Jaguaráçu	11	14	37
João Monlevade	1	5	14
Marliéria	4	6	36
Nova Era	4	17	53
Rio Piracicaba	14	6	101
Santa Bárbara	3		10
São Domingos do Prata	74	56	262
São Gonçalo do Rio Abaixo	14	16	85
Timóteo	19	6	33
Total	423	223	1.171

6.1.8.1.2. Contexto Hidrogeológico

As unidades hidrogeológicas da Área Diretamente Afetada (ADA) deste relatório estão representados em quatro sistemas baseados nos litotipos predominantes das sequências geológicas. É possível identificar o Sistema Aquífero Carbonático, correspondente aos calcários e dolomitos da Formação Gandarela, o Sistema Quartzítico Cercadinho representado pelas intercalações de quartzitos e filitos da Formação Cercadinho, além do Sistema Aquífero Itabirítico, que está associado a itabiritos e hematitas da Formação Cauê. Tem-se ainda, recobrindo as camadas, o Sistema Aquífero Granular, composto pelas coberturas recentes de cangas (**Mapa 10**).

Sistema Aquífero Itabirítico

Esse sistema possui contato de base com os filitos da Formação Batatal e contato de topo com os carbonatos da Formação Gandarela, sendo que faz contato gradacional com ambas camadas limítrofes e pode estar recoberto por material laterítico, cangas e colúvios de canga. São aquíferos livres a confinados quando associados a condições geológico-estratigráficas, como falhas de empurrão, transcorrentes ou dobramentos. Podem constituir aquíferos fissurais e/ou porosos a depender do grau de dissolução e fraturamento das bandas silicosas ou carbonáticas relacionados aos litotipos essenciais, conferindo expressiva anisotropia e heterogeneidade a esse aquífero (BEATO *et al.*, 2005).

As porções relacionadas a hematitas são subdivididas entre fácies friáveis e maciças, com maiores parâmetros de heterogeneidade, anisotropia e capacidade de armazenamento quando ligados à rocha maciça, e quando situadas nas porções friáveis, o aquífero apresenta maior homogeneidade, isotropia e condutividade hidráulica. Essas fácies podem ocorrer intercaladas, porém, em análise geral os itabiritos e hematitas possuem considerável condutividade hidráulica (MOURÃO, 2007).

Os níveis piezométricos dessa unidade variam entre 190 metros até níveis de surgência e mediana de 49 metros, de forma que, essa variação e relativa profundidade ocorre devido ao declive acidentado, a compartimentação do aquífero e ao rebaixamento provocado pela mineração. A recarga está condicionada

pela infiltração pluviométrica diretamente no manto de alteração, principalmente em lateritas de alta porosidade, além da relação com as descontinuidades e, por vezes, por drenança da Formação Gandarela a depender do grau de carstificação local. São as unidades mais produtivas do QF e contem grande densidade de nascentes associadas, pontuais ou difusas em relevo declivoso, contendo valores de vazão que podem atingir até 500 m³/h (BEATO *et al.*, 2005).

Sistema Aquífero Carbonático

São litotipos que possuem espesso manto de alteração e a sua relação estratigráfica é definida por itabiritos e hematitas da Formação Cauê na base, quartzitos intercalados por filitos da Formação Cercadinho no topo e subordinadamente sobrepostos por coberturas com sedimentos alúvio-coluvionares, espessas camadas de canga e colúvios de canga. São aquíferos livres a confinados por camadas pelíticas, heterogêneos, anisotrópicos e o seu regime de fluxo é condicionado por tectonismo e grau de dissolução dos carbonatos, sendo que, a maior densidade de ocorrência de porções dolomíticas em relação às calcíticas atenua a existência de importantes feições de carstificação, logo, prejudica o armazenamento e fluxo subterrâneo (BEATO *et al.*, 2005).

A piezometria para estes aquíferos ocorre em profundidades com mediana de 23,8 metros, relacionados aos fortes declives em que estão posicionados. A recarga se dá a partir da infiltração pluviométrica sobre os mantos regolíticos e carstificações superficiais, como dolinas e fraturas de dissolução, com contribuição local dos Sistemas Aquíferos Itabirítico (pela sobreposição topográfica e conectividade de estruturas), Quartzítico Cercadinho (por sobreposição estratigráfica e conectividade de estruturas) e Granular (pela ação de cobertura superficial). A descarga se dá pela presença de nascentes pontuais ou pela sua contribuição em outras unidades aquíferas, com mediana de vazões na ordem de 2,4 m³/h, podendo atingir até 440 m³/h e, em geral, possuem bons parâmetros hidráulicos, mas sua condicionante de recuperação é limitada (BEATO *et al.*, 2005).

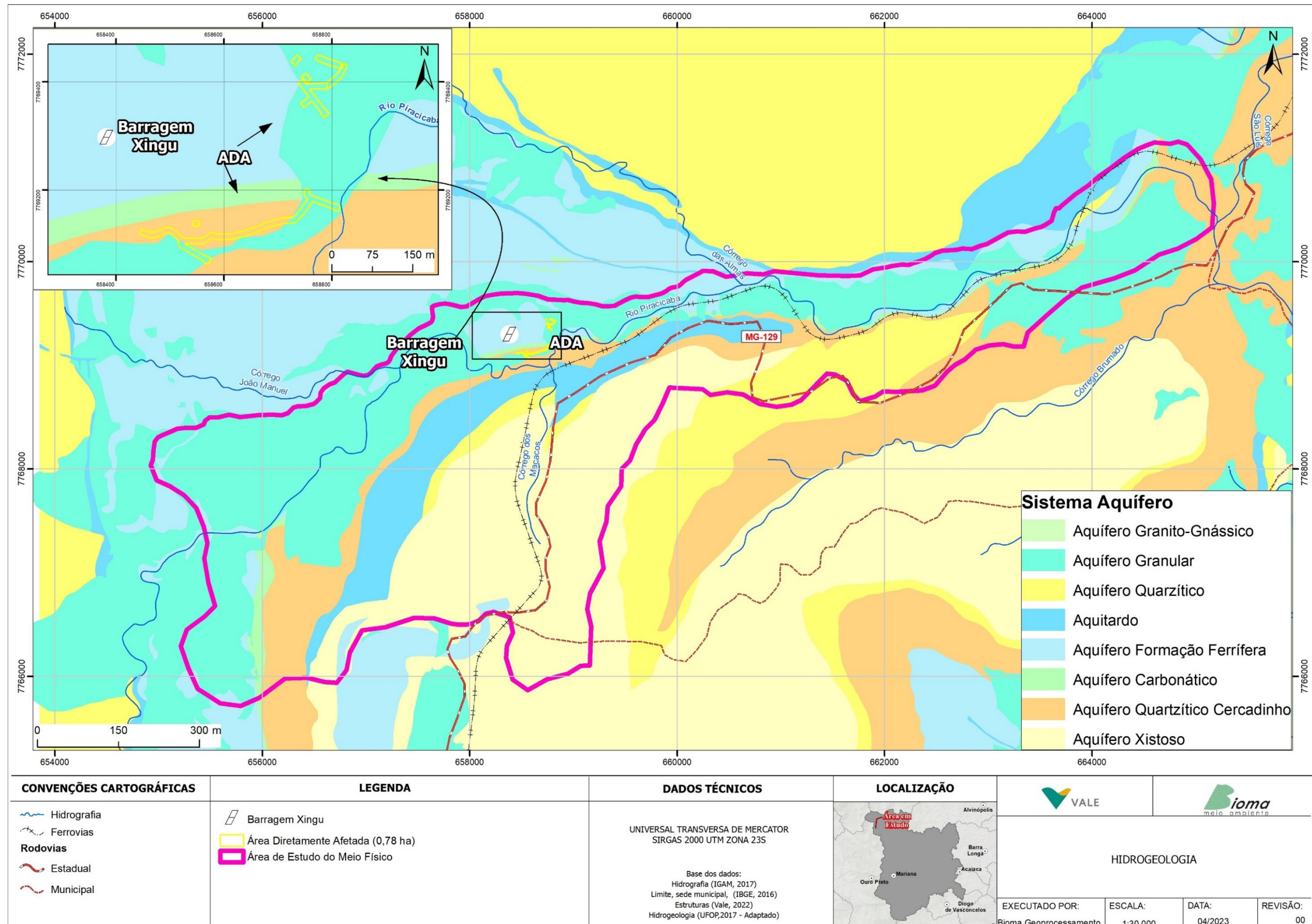
Sistema Aquífero Quartzítico Cercadinho

Esse aquífero encontra-se entre os carbonatos da Formação Gandarela na base, limitado por discordância erosiva, e entre filitos intercalados ou filitos da Formação Fecho do Funil marcando o limite de topo como camada confinante, de forma que localmente podem estar recobertos por camadas regolíticas e sedimentos alúvio-coluvionares, principalmente em regiões de drenagem. O potencial aquífero é condicionado pela tectônica e intemperismo, favorecendo a conexão hidráulica localizada com outros sistemas aquíferos, favorecendo as zonas de descarga para o Sistema Aquífero Quartzítico Cercadinho (BEATO *et al.*, 2005).

Os níveis piezométricos dessa unidade são relativamente profundos devido a sua relação com relevos acidentados, apresentando mediana de 25,5 metros. A recarga para esse sistema aquífero está condicionada principalmente pela infiltração pluviométrica no manto de alteração silto-arenoso interconectado com as descontinuidades, de forma que as coberturas aluvio-coluvionares e cursos d'água, posicionados sobre o quartzito estruturado, possuem contribuição para a recarga. A descarga ocorre por meio de nascentes e podem ser acentuadas quando relacionadas a aquíferos suspensos aluvio-coluvionares, apresentando valores de vazão entre 10 e 50 m³/h (BEATO *et al.*, 2005).

Sistema Aquífero Granular

Considerando a área de intervenção, esse aquífero corresponde às coberturas de cangas resultantes de processos de alteração e estão posicionados em altos topográficos recobrimo principalmente as formações ferríferas da Formação Cauê. Tem importante papel na recarga dos aquíferos subjacentes, pois grande parte da pluviosidade infiltra devido a elevada porosidade, de forma que a porosidade e permeabilidade possuem origem secundária relacionadas aos processos de laterização. Formam aquíferos descontínuos, livres, isotrópicos e homogêneos, com pequenas nascentes sazonais quando relacionados a substrato impermeabilizado, sendo que o potencial hidrogeológico dessa unidade é baixo pelas pequenas espessuras das camadas, rápido escoamento hídrico e pela dificuldade de perfuração do material (BEATO *et al.*, 2005).



Mapa 10. Hidrogeologia na área de estudo, Mariana, 2023.

6.1.8.2. Qualidade das Águas Subterrâneas

Com a finalidade de identificar o comportamento da qualidade da água subterrânea no entorno da área de estudo referente ao EIA/RIMA das obras na barragem Xingu, foi realizada a análise dos dados de monitoramento de recursos hídricos subterrâneos, com o objetivo de determinar uma aproximação do padrão de qualidade das águas. A análise foi feita pela comparação dos resultados obtidos, com aqueles apresentados na Resolução CONAMA nº 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá providências.

Ressalta-se que os pontos em questão não se enquadram dentro da área de estudo, entretanto, a fim de caracterizar o entorno, foram considerados os fatores associados ao posicionamento da rede de monitoramento, em razão de estarem locados a montante da ADA, em um afluente do rio Piracicaba, em cota altimétrica superior à da ADA e nas proximidades a noroeste da barragem Xingu. Dessa forma os pontos referentes ao monitoramento enquadram-se também como valores de *background* tendo em vista o posicionamento da ADA.

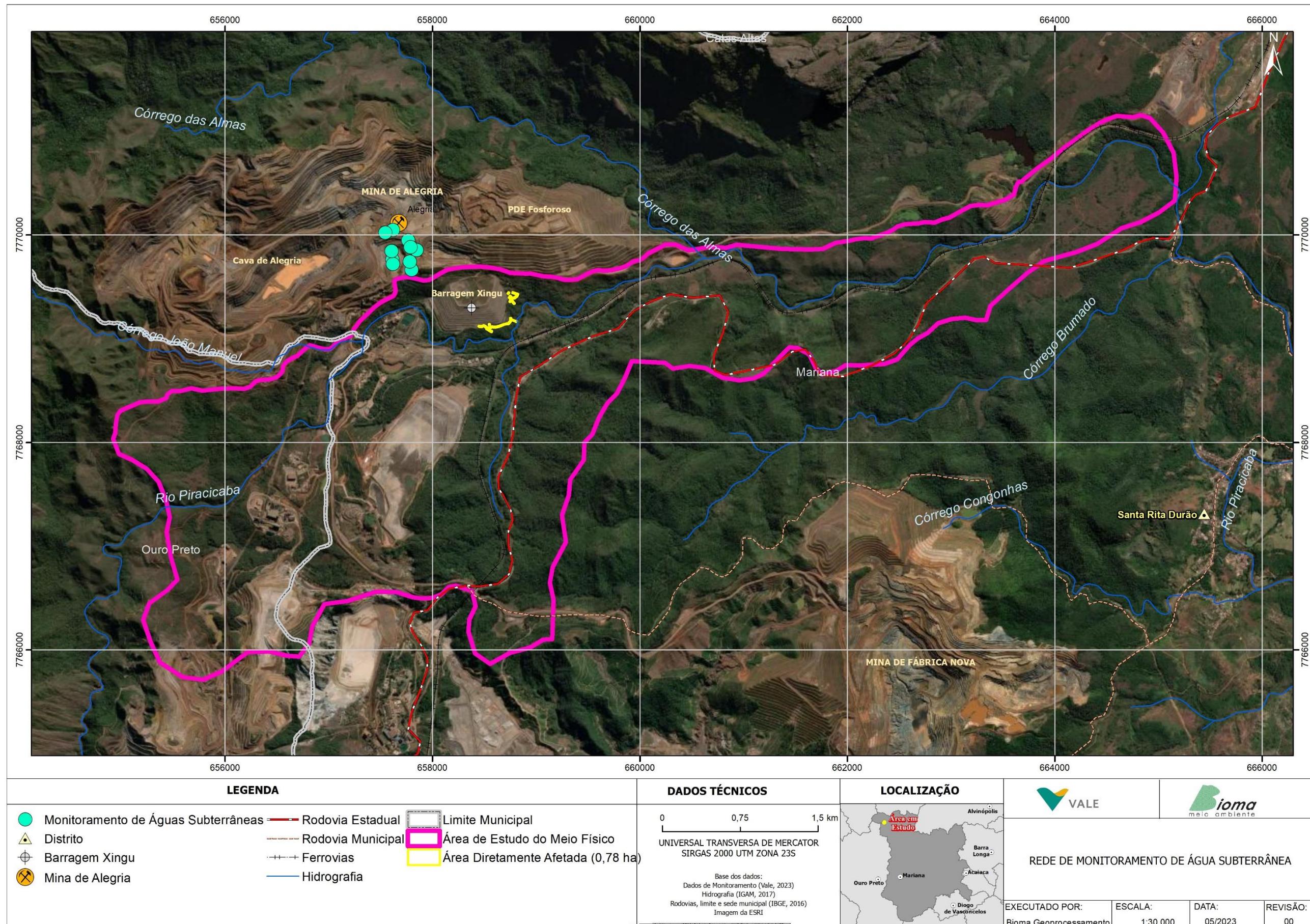
6.1.8.2.1. Metodologia

Para a análise foram utilizados dados secundários de água subterrânea da rede de monitoramento constituída por dez pontos, posicionados a noroeste da barragem Xingu.

Os dados secundários resultaram de amostragens realizadas durante o período de outubro/2020 e novembro/2020 para os poços PALR2, PALR3, PALR4, PALR5, PALR6, PALR7, PALR8, PALR9, PALR10, PALR11, conforme apresentado por CLAM (2022). O **Quadro 6** contém as informações referentes ao código, coordenadas e aquíferos associados da rede de monitoramento. O **Mapa 11** apresenta a localização dos pontos de monitoramento da matriz de água subterrânea.

Os resultados dos parâmetros analisados nos pontos amostrados foram comparados com os da Resolução CONAMA nº 396/2008, utilizando-se os Valores Máximos Permitidos (VMP), considerando o uso preponderante da água para consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação. Foi considerado para análise algumas definições feitas pela CETESB (2022) quanto a limites recomendados e o significado ambiental de alguns dos valores apresentados.

Dentre os parâmetros analisados foram considerados Alcalinidade de Bicarbonato, Alumínio, Alumínio dissolvido, Arsênio, Cádmio, Cálcio, Chumbo, Cloreto, Cobre, Cobre dissolvido, Condutividade elétrica, Cromo, Cromo hexavalente, Cromo trivalente, Estanho, Ferro, Ferro dissolvido, Fluoreto, Fósforo, Magnésio, Manganês, Manganês dissolvido, Mercúrio, Níquel, Nitrato como N, Nitrito como N, Oxigênio dissolvido, pH, Potássio, Potencial Redox, Sódio, Sólidos dissolvidos totais, Sólidos suspensos totais, Sulfato, Temperatura da amostra, Turbidez e Zinco.



Mapa 11. Localização dos pontos de monitoramento de águas subterrâneas, Mariana, 2023.

Quadro 6: Descrição geral da rede de monitoramento de qualidade da água subterrânea.

Código do Ponto de Amostragem	Unidade Hidrogeológica	Coordenadas	
		Latitude (N)	Longitude (E)
PALR2	Aquífero Formação Ferrífera	7770047	657622
PALR3	Aquífero Formação Ferrífera	7769946	657768
PALR4	Aquífero Formação Ferrífera	7770020	657547
PALR5	Aquífero Formação Ferrífera	7769853	657851
PALR6	Aquífero Granular (Cobertura)	7769663	657803
PALR7	Aquífero Formação Ferrífera	7769761	657618
PALR8	Aquífero Formação Ferrífera	7769742	657784
PALR9	Aquífero Granular (Cobertura)	7769719	657622
PALR10	Aquífero Formação Ferrífera	7769882	657793
PALR11	Aquífero Formação Ferrífera	7769842	657609

Fonte: Adaptado de CLAM (2022).

6.1.8.2.2. Resultados e interpretação de dados

A interpretação dos dados foi realizada a partir da análise dos gráficos dos parâmetros que apresentaram quantidades acima do limite de quantificação mínimo permissíveis do método utilizado e/ou representaram importância significativa no seu respectivo comportamento.

Ressalta-se que a maioria das amostras apresentaram valores abaixo dos limites de quantificação praticáveis (LPQ), sendo esse limite a menor concentração de uma substância que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exatidão pelo método utilizado. A representação dos parâmetros está representada na **Tabela 9**.

Tabela 9: Resultados analíticos dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas.

Parâmetro	Unidade	CONAMA nº 396/2008				PALR02		PALR03		PALR04		PALR05		PALR06	
		Consumo Humano	Dessedentação de animais	Irrigação	Recreação	1ª camp	2ª camp	1ª camp	2ª camp	1ª camp	2ª camp	1ª camp	2ª camp	1ª camp	2ª camp
Alcalinidade Bicarbonato	mgCaCO ₃ /L	-	-	-	-	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00
Alumínio	mg/L	0,22	5,00	5,00	0,2	0,06	< 0,025	0,06	0,12	0,06	0,10	0,06	< 0,025	< 0,025	0,09
Alumínio dissolvido	mg/L	-	-	-	-	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250
Arsênio	mg/L	0,01	0,2	-	0,05	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Cádmio	mg/L	0,005	0,05	0,01	0,005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Cálcio	mg/L	-	-	-	-	0,57	0,30	0,37	0,49	0,30	0,72	1,20	1,40	0,40	0,25
Chumbo	mg/L	0,001	0,1	5,00	0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cloreto	mg/L	2502	-	100 - 700	400,00	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cobre	mg/L	2,00	0,5	0,2	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
Cobre dissolvido	mg/L	-	-	-	-	0,02	0,00	< 0,00050	0,00	< 0,00050	0,00	< 0,00050	< 0,00050	0,00	0,01
Condutividade elétrica	µS/cm	-	-	-	-	13,00	11,00	10,00	10,00	10,00	11,00	16,00	13,00	12,00	11,00
Cromo	mg/L	0,05	1,00	0,1	0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cromo hexavalente	mg/L	-	-	-	-	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Cromo trivalente	mg/L	-	-	-	-	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100
Estanho	mg/L	-	-	-	-	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Ferro	mg/L	0,32	-	5,00	0,3	< 0,05	0,08	< 0,05	0,06	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Ferro dissolvido	mg/L	-	-	-	-	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050
Fluoreto	mg/L	1,5	2,00	1,00	-	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Fosforo	mg/L	-	-	-	-	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Magnésio	mg/L	-	-	-	-	0,10	0,13	0,25	0,26	0,10	0,14	0,92	0,87	0,16	0,18
Manganês	mg/L	0,12	0,05	0,2	0,1	0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,01	0,01	< 0,005	0,01	0,01	< 0,005
Manganês dissolvido	mg/L	-	-	-	-	0,01	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	0,01	0,01	< 0,0050	0,01	0,01	< 0,0050
Mercurio	mg/L	0,00	0,01	0,002	0,001	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005
Níquel	mg/L	0,02	1,00	0,2	0,1	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Nitrato como N	mg/L	10	90,00	-	10,00	0,37	0,44	0,23	0,24	0,39	0,43	0,24	0,24	0,42	0,47
Nitrito como N	mg/L	1	10,00	1,00	1,00	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Oxigênio dissolvido	mg/L	-	-	-	-	6,41	6,97	6,51	6,88	6,02	6,12	6,45	5,77	6,00	5,89
pH	-	-	-	-	-	5,64	5,21	5,68	5,33	5,51	4,89	6,19	5,30	6,17	6,32
Potássio	mg/L	-	-	-	-	0,08	0,12	0,09	0,09	0,16	0,20	0,09	0,18	0,06	0,09
Potencial Redox	mV	-	-	-	-	551,00	541,60	448,00	567,30	476,20	541,20	425,30	491,20	496,10	440,00
Sódio	mg/L	2002	-	-	300,00	0,56	0,58	0,65	0,41	1,67	0,81	0,48	25,24	1,15	0,89
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	10002	-	-	-	9,00	8,00	6,00	6,00	8,00	8,00	11,00	9,00	8,00	5,00
Sólidos suspensos totais	mg/L	-	-	-	-	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 4,5	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Sulfato	mg/L	250	1000,00	-	400,00	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,59	0,62	< 0,5	< 0,5
Temperatura amostra	°C	-	-	-	-	21,80	22,96	21,30	21,24	21,90	23,05	22,40	22,20	22,20	22,50
Turbidez	NTU	-	-	-	-	0,96	1,13	0,28	0,99	3,37	1,04	0,41	0,55	0,50	5,93
Zinco	mg/L	52	24,00	2,00	5,00	0,02	0,01	0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,33	0,02	0,01	0,01

Parâmetro	Unidade	CONAMA nº 396/2008				PALR07		PALR08		PALR09		PALR10		PALR11	
		Consumo Humano	Dessedentação de animais	Irrigação	Recreação	1ª camp	2ª camp	1ª camp	2ª camp	1ª camp	2ª camp	1ª camp	2ª camp	1ª camp	2ª camp
Alcalinidade Bicarbonato	mgCaCO ₃ /L	-	-	-	-	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00
Alumínio	mg/L	0,22	5,00	5,00	0,2	0,045	< 0,025	0,05	< 0,025	0,065	< 0,025	0,08	0,085	0,034	0,052
Alumínio dissolvido	mg/L	-	-	-	-	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250	< 0,0250
Arsênio	mg/L	0,01	0,2	-	0,05	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Cádmio	mg/L	0,005	0,05	0,01	0,005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Cálcio	mg/L	-	-	-	-	0,85	0,582	0,961	1,00	0,484	0,419	0,799	1,2	0,526	0,644
Chumbo	mg/L	0,001	0,1	5,00	0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cloreto	mg/L	2502	-	100 - 700	400,00	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cobre	mg/L	2,00	0,5	0,2	1,00	0,0017	< 0,0005	0,0012	0,0031	0,0012	< 0,0005	0,002	1,8	0,0011	< 0,0005
Cobre dissolvido	mg/L	-	-	-	-	0,00123	< 0,00050	< 0,00050	0,00149	< 0,00050	< 0,00050	< 0,00050	0,00162	< 0,00050	< 0,00050
Condutividade elétrica	µS/cm	-	-	-	-	12,00	10,00	10,00	10,00	13,00	10,00	13,00	10,00	12,00	11,00
Cromo	mg/L	0,05	1,00	0,1	0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cromo hexavalente	mg/L	-	-	-	-	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Cromo trivalente	mg/L	-	-	-	-	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100
Estanho	mg/L	-	-	-	-	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Ferro	mg/L	0,32	-	5,00	0,3	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,053	< 0,05	< 0,05	0,052	0,072	< 0,05	< 0,05
Ferro dissolvido	mg/L	-	-	-	-	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050
Fluoreto	mg/L	1,5	2,00	1,00	-	< 0,02	< 0,02	0,00	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Fosforo	mg/L	-	-	-	-	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Magnésio	mg/L	-	-	-	-	0,253	0,346	0,419	0,564	0,149	0,22	0,621	0,638	0,168	0,232
Manganês	mg/L	0,12	0,05	0,2	0,1	< 0,005	0,0067	< 0,005	0,03	0,0077	0,021	0,01	0,014	< 0,005	< 0,005
Manganês dissolvido	mg/L	-	-	-	-	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	0,0058	0,0068	0,0091	0,0089	0,0075	< 0,0050	< 0,0050
Mercurio	mg/L	0,00	0,01	0,002	0,001	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005
Níquel	mg/L	0,02	1,00	0,2	0,1	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Nitrato como N	mg/L	10	90,00	-	10,00	0,287	0,405	0,321	0,332	0,252	0,281	0,299	0,264	0,377	0,378
Nitrito como N	mg/L	1	10,00	1,00	1,00	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Oxigênio dissolvido	mg/L	-	-	-	-	6,37	5,7	6,6	7,41	6,46	7,07	6,22	7,69	6,39	6,76
pH	-	-	-	-	-	6,02	5,7	5,89	4,19	6,13	5,74	6,09	5,39	5,58	5,89
Potássio	mg/L	-	-	-	-	0,062	0,127	0,064	0,146	< 0,050	0,098	0,141	0,247	0,064	< 0,050
Potencial Redox	mV	-	-	-	-	544,00	539,1	456,2	525,6	518,2	547,1	450,00	541,00	555,1	546,1
Sódio	mg/L	2002	-	-	300,00	0,462	0,637	0,963	0,617	0,383	0,384	0,551	0,795	0,493	0,635
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	10002	-	-	-	8,00	7,00	6,00	7,00	9,00	7,00	7,00	7,00	8,00	7,00
Sólidos suspensos totais	mg/L	-	-	-	-	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Sulfato	mg/L	250	1000,00	-	400,00	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Temperatura amostra	°C	-	-	-	-	21,7	21,4	22,3	21,91	20,6	21,53	22,00	22,00	21,2	21,49
Turbidez	NTU	-	-	-	-	0,86	1,16	0,41	1,8	1,14	3,89	0,21	2,6	0,88	1,46
Zinco	mg/L	52	24,00	2,00	5,00	0,029	< 0,005	0,016	< 0,005	< 0,005	0,011	0,043	0,062	< 0,005	0,0086

Fonte: CLAM (2022).

Analisando cada ponto de amostragem durante as duas campanhas realizadas e correlacionando os resultados, foi possível verificar que o padrão de pH se demonstrou ácido a levemente ácido (variando de 4,19 a 6,32), apresentando amostras inconformes para o padrão de potabilidade da portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

Os parâmetros ferro, alumínio e manganês não apresentaram inconformidades e sua ocorrência provavelmente está relacionada à matriz geológica local, visto que, os pontos de amostragem estão posicionados sobre a Formação Cauê.

Dentre os valores que apresentaram inconformidade com a CONAMA nº 396/2008, o cobre foi o único parâmetro com resultado acima do valor máximo permitido para as categorias dessedentação de animais (0,5 mg/L), irrigação (0,2 mg/L) e recreação (1 mg/L) associado à amostra de outubro de 2020 no ponto PALR10. Ressalta-se que, de acordo com a CETESB (2022), valores de cobre acima de 0,5 mg/L podem ser letais para algumas espécies de peixes, acima 1 mg/L para microorganismos, além de causar coloração em louças e sanitários, reafirmando a importância do monitoramento deste parâmetro, principalmente pelos fatores de localização anteriormente citados, do PALR10.

Considerando a norma vigente para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação de águas subterrâneas estabelecida pela Resolução CONAMA nº 396/2008, e considerando os valores máximos permitidos é possível verificar que os demais parâmetros avaliados não apresentaram inconformidades.

6.1.8.3. Áreas Contaminadas

Considerando a área de intervenção do projeto de investigação geotécnica, dentro do contexto da Área Diretamente Afetada (ADA) e um raio de 1 km no entorno (*buffer*), foi analisado o inventário de áreas contaminadas em processo de monitoramento para reabilitação ou área reabilitada, catalogadas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). Ressalta-se que foi verificado o histórico de cinco anos, considerando os anos de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022 e que, dentro deste período, não foram registrados dentro da ADA e do *buffer* contaminantes químicos em águas superficiais, subterrâneas e solos.

Segundo Feitosa *et al.* (2008) poços e/ou cavidades abandonados sem medidas de proteção podem atuar como transmissores de fontes de contaminação. Visto isso, a execução de sondagem pode gerar um aspecto ambiental susceptível a impacto, já que os furos gerados após a realização das atividades enquadram-se como possíveis condutores de contaminação e possibilitam a interação direta de qualquer substância com os aquíferos. Ressalta-se a importância do controle das fontes de contaminação e da profundidade de perfuração para dimensionar qual unidade aquífera será exposta, pois a área de intervenção está posicionada a jusante da área da barragem e de outras estruturas geotécnicas, em cotas altimétricas inferiores a estas estruturas. Dessa forma há o favorecimento do fluxo pela pluviosidade e desnível, além de haver exposição pela proximidade da intervenção com a planície de inundação do rio Piracicaba e pela inclusão parcial da ADA na APP dessa drenagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A BACIA. [S. l.], 23 nov. 2013. Por: CbhAdministrador202109. Disponível em: <https://www.cbhpiracicabamg.org.br/rio-piracicabamg>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Portal HidroWeb**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 24 fev. 2023.
- AMARAL, F. C. S. *et al.* **Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 95 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/965988/mapeamento-de-solos-e-aptidao-agricola-das-terras-do-estado-de-minas-gerais>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- ANA. 2022. Política Nacional de Recursos Hídricos. Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10151**: Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www2.uesb.br/biblioteca/wp-content/uploads/2022/03/ABNT-NBR10151-AC%C3%9ASTICA-MEDI%C3%87%C3%83O-E-AVALIA%C3%87%C3%83O-DE-N%C3%8DVVEL-SONORO-EM-%C3%81REA-HABITADAS.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9653**: Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas. Rio de Janeiro, 2018.
- BDIA – Banco de Dados de Informações Ambientais. **Mapeamento de Recursos Naturais – Base contínua de Pedologia do Brasil por Unidades da Federação - Escala 1:250 000**. 2021. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acessado em: 10/03/2023.
- BEATO, Décio A. C (Org.); MONSORES, André L. M; BERTACHINNI, Antônio C. **Projeto APA Sul RMBH: Estudos do Meio Físico - Hidrogeologia**. Belo Horizonte: Semad/CPRM, 2005.
- BRASIL. **Portaria nº 2914, de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF: Ministro da Saúde, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/portaria-no-2-914-de-12-de-dezembro-de-2011.pdf/view>. Acesso em: 27 fev. 2023.
- CLAM Meio Ambiente, Estudo de Impacto Ambiental (EIA) - CL-HC-469-EIA-010. **Reaproveitamento de Bens Minerais Dispostos na Barragem Xingu - Mina de Alegria**, 2022.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Padrões de Qualidade do Ar**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Poluentes**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. 2020. **Índices de Qualidade das Águas. Apêndice E**. Disponível em: [Apendice-E-Indice-de-Qualidade-das-Aguas.pdf](#). Acesso em: 10 jan. 2023.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. 2022. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. 2021, In: Qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2021; Coordenação geral: Maria Helena R. B. Martins; Netto Moreno, Marta Condé Lamparelli, Beatriz Durazzo Ruiz; Coordenação cartográfica: Carmen Lúcia V. Midaglia; Equipe Técnica: Cláudio Roberto Palombo *et al.* - São Paulo.
- CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL-CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS - COPAM-CERH/MG. **Deliberação Normativa COPAM-CERH/MG nº 8**, de 21 de novembro de 2022. 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. Belo Horizonte, 21 nov. 2022. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=56521>. Acesso em: 13 de dez. de 2022.

- CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS - CERH-MG. **Deliberação Normativa CERH-MG nº 66**, de 17 de novembro de 2020. Estabelece as Unidades Estratégicas de Gestão do Estado de Minas Gerais. Diário do Executivo. Belo Horizonte, 17 nov. 2020. Disponível em: https://cbhverdegrande.org.br/arquivos/2020_-_DELIBERA%C3%87%C3%83O_CERH_66_2020_-_Estabelece_as_Unidades_Estrat%C3%A9gicas.pdf. Acesso em: 13 de dez. de 2022.
- CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS - CERH-MG. **Deliberação Normativa COPAM nº 09**, de 19 de abril de 1994. Dispõe sobre o enquadramento da bacia do rio Piracicaba. Diário do Executivo. Belo Horizonte, 19 abr. 1994. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=108>. Acesso em: 10 de mar. de 2023.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2023.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 491**, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar no Brasil. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 21 nov. 2018. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=21/11/2018&jornal=551&pagina=15>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.
- ENDO I., *et al.* Estratigrafia e Evolução Estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: Castro P. T.A., Endo I., Gandini A. L. (Org.). **Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos**. Belo Horizonte: 3i Editora, 2020, p. 70-113. Disponível em: <https://em.ufop.br/files/LivrosQFE2050/QuadrilateroFerrifero-web5.pdf>. Acesso em 10 jan. 2023.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Mapa de Áreas Contaminadas e Reabilitadas**. Belo Horizonte: FEAM, 2022. 1 imagem de satélite, color, 3D. Maxar Technologies. Satélite Landsat / Copernicus. Disponível em: <http://www.feam.br/-qualidade-do-solo-e-areas-contaminadas/inventario-e-lista-de-areas-contaminadas>. Acesso em: 14 fev. 2023.
- FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; DEMETRIO, J. G. A. 2008. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3. Ed. Rev. e Ampl. – Rio de Janeiro: CPRM. 812 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Banco de Dados Meteorológicos**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 26 out. 2022.
- MACHADO, M.F, SILVA, S.F (Org.). **Geodiversidade do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2010. 131 p.
- MARTINS, F. B., GONZAGA, G., SANTOS, D. F., REBOITA, M. S. Classificação Climática de Koppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: Cenário Atual e Projeções Futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 130-156, nov. 2018. Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14064/7305>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- MOURÃO, M. A. A. **Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2007, 321p.
- 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. Volume I. Relatório Final. Consórcio ECOPLAN-LUME. 2010. 478p. Disponível em: https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2016/12/PIRH_Doce_Volume_I.pdf. Acesso em: 10 mar. 2023.
- PLANO de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão DO2. PARH PIRACICABA. CONSÓRCIO ECOPLAN - LUME. 2010. 97p. Disponível em:

<http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/jspui/handle/123456789/856>. Acesso em: 10 mar. 2023.

SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA)**. Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <<https://ideSISEMA.meioambiente.mg.gov.br/webgis>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.

ROMANO, A.W, REZENDE, L. de F. e S. (Org.). **Ouro Preto, Folha SF.23-X-A-III**. Programa Mapeamento Geológico do Estado de Minas Gerais – Projeto Triângulo Mineiro. Escala 1:100.000. Belo Horizonte: CODEMIG, 2017. 63 p.