



ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL - EIA

PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO DOS EMPILHAMENTOS DRENADOS
VALE DAS COBRAS E MONJOLO

MINA DE ÁGUA LIMPA
RIO PIRACICABA E SANTA BÁRBARA - MG

VOLUME II
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MEIO FÍSICO

NOVA LIMA, MG
AGOSTO DE 2024



ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL - EIA
PROJETO DE DESCARACTERIZAÇÃO DOS EMPILHAMENTOS DRENADOS
VALE DAS COBRAS E MONJOLO

MINA DE ÁGUA LIMPA

NOVA LIMA, MG
AGOSTO DE 2024

SUMÁRIO

VOLUME II	1
6. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	11
6.1. MEIO FÍSICO	11
6.1.1. Clima e Meteorologia	11
6.1.1.1. Caracterização Climática	11
6.1.1.2. Caracterização Meteorológica	11
6.1.1.3. Rosa dos Ventos	15
6.1.2. Qualidade do Ar	15
6.1.2.1. Requisitos legais aplicáveis	16
6.1.2.2. Rede de monitoramento	16
6.1.2.3. Resultados	18
6.1.3. Ruído Ambiental e Vibração	18
6.1.3.1. Ruído Ambiental	19
6.1.3.1.1. Rede de monitoramento	19
6.1.3.1.2. Requisitos legais aplicáveis	19
6.1.3.1.3. Resultados	21
6.1.3.2. Vibração	25
6.1.3.2.1. Rede de monitoramento	25
6.1.3.2.2. Requisitos legais aplicáveis	25
6.1.3.2.3. Resultados	27
6.1.4. Geologia	33
6.1.4.1. Geologia Regional	33
6.1.4.2. Geologia Local	35
6.1.4.2.1. Empilhamento Drenado Vale das Cobras	35
6.1.4.2.2. Empilhamento Drenado Monjolo	41
6.1.5. Geomorfologia e Pedologia	44
6.1.5.1. Geomorfologia Regional	44
6.1.5.2. Geomorfologia Local	45
6.1.5.3. Pedologia	50
6.1.6. Espeleologia	52
6.1.6.1. Introdução	52
6.1.6.2. Procedimentos Metodológicos	55
6.1.6.3. Resultados	56
6.1.6.3.1. Levantamentos bibliográficos e cartográficos	56
6.1.6.3.1.1. AGL_0065	59
6.1.6.3.1.2. AGL_0071	60
6.1.6.3.1.3. AGL_0072	61
6.1.6.3.1.4. AGL_0073	63
6.1.6.3.1.5. AGL_0074	65
6.1.6.3.1.6. AGL_0075	66
6.1.6.3.2. Resultados dos levantamentos de campo	68
6.1.6.3.2.1. Pontos de controle	68
6.1.6.3.2.2. Resultados espeleológicos	75
6.1.6.3.2.3. Caracterização das feições espeleológicas	78
6.1.6.3.2.3.1. AGL_VC_001	78
6.1.6.3.2.3.2. AGL_VC_002	81
6.1.6.3.2.3.3. AGL_VC_003	81
6.1.6.3.2.3.4. AGL_VC_004	85
6.1.6.3.2.3.5. AGL_MJ_001	87

6.1.6.3.2.3.6.	AGL_MJ_002	90
6.1.6.3.2.3.7.	AGL_MJ_003	92
6.1.6.4.	Considerações Finais Espeleologia	94
6.1.7.	Recursos Hídricos e Qualidade das Águas Superficiais	95
6.1.7.1.	Recursos Hídricos	95
6.1.7.1.1.	Bacia hidrográfica do rio Doce	96
6.1.7.1.2.	Bacia do rio Piracicaba	96
6.1.7.2.	Uso da Água	98
6.1.7.3.	Enquadramento das Águas Superficiais	100
6.1.7.4.	Aspectos de Campo	100
6.1.7.5.	Qualidade das Águas Superficiais e Efluentes	112
6.1.7.5.1.	Metodologia	113
6.1.7.5.2.	Resultado e interpretação de dados	116
6.1.8.	Recursos Hídricos e Qualidade das Águas Subterrâneas	120
6.1.8.1.	Uso das águas	120
6.1.8.2.	Contexto Hidrogeológico	121
6.1.8.2.1.	Condições e Parâmetros de Fluxo	122

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
----------------------------------	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comportamento da temperatura média mensal da estação João Monlevade. Fonte: INMET, 2023.	13
Figura 2. Comportamento climatológico de precipitação e umidade relativa do ar da estação João Monlevade. Fonte: INMET, 2023.	14
Figura 3. Comportamento climatológico de precipitação da estação Rio Piracicaba. Fonte: ANA, 2023.	14
Figura 4. Rosa dos ventos - estação João Monlevade. Fonte: INMET, 2023.	15
Figura 5. Monitoramento de PTS na estação EMMA06. Fonte: Vale S.A., 2023.	18
Figura 6. Monitoramento diurno de ruído no ponto RDO 019. Fonte: Vale, 2023.	21
Figura 7. Monitoramento noturno de ruído no ponto RDO 019. Fonte: Vale, 2023.	21
Figura 8. Monitoramento diurno de ruído no ponto RDO 022. Fonte: Vale, 2023.	22
Figura 9. Monitoramento noturno de ruído no ponto RDO 022. Fonte: Vale, 2023.	22
Figura 10. Monitoramento diurno de ruído no ponto RDO 024. Fonte: Vale, 2023.	23
Figura 11. Monitoramento noturno de ruído no ponto RDO 024. Fonte: Vale, 2023.	23
Figura 12. Monitoramento diurno de ruído no ponto RDO 025. Fonte: Vale, 2023.	24
Figura 13. Monitoramento noturno de ruído no ponto RDO 025. Fonte: Vale, 2023.	24
Figura 14. Resultados de vibração, considerando a escala de Whiffin & Leonard (1971), 2023.	32
Figura 15. Geologia Regional da província mineral Quadrilátero Ferrífero com a localização da área de estudo em vermelho, a leste da figura (Modificado de Farina <i>et al.</i> 2016 <i>apud</i> DF+, 2023), 2023.	33
Figura 16. Estratigrafia Regional (MARTÍNEZ DOPICO <i>et al.</i> 2017), 2024.	34
Figura 17. Coluna litoestratigráfica da Área de Estudo, 2024.	35
Figura 18. Seção geológico-geotécnica A-A' contendo os litotipos presentes e sua disposição estratigráfica na ADA. Fonte: DF+, 2023.	37
Figura 19. Seção Geológico-Geotécnica Conceitual A-A' para o Empilhamento Drenado Monjolo (Fonte: DF+, 2023).	44
Figura 20. Croqui da cavidade AGL_0065, planta-baixa a esquerda e algumas seções a direita. Fonte: SPELAYON, 2020.	59

Figura 21. a) Vista frontal da entrada da feição em tálus AGL_0071; b) Vista dos clastos que conformam o tálus e, no fundo, abertura de acesso secundário e drenagens de enxurrada; c) Outra vista dos blocos; e, d) Vista de blocos, alguns sedimentos e vestígios vegetais. Fonte: Vale, 2022.	60
Figura 22. Reentrância AGL_0071. Fonte: Vale, 2022.	61
Figura 23. a) Vista lateral da feição sem fechamento da poligonal (ponto zero), observe também a $A > PH$; b) Sedimentos finos no piso; c) Interior com desenvolvimento insipiente; d) Vista lateral esquerda da entrada; e) Vista de fraturas na rocha granítica no final da feição; e, f) Outra vista da lateral esquerda da estrutura. Fonte: Vale, 2022.....	62
Figura 24. Reentrância AGL_0072. Fonte: Vale, 2022.	63
Figura 25. Reentrância AGL_0073. Fonte: Vale, 2022.	64
Figura 26. a) Entrada da feição AGL_0073, observando-se sedimentos finos, raízes e partes de vegetação; b) Entrada da feição de tálus em forma de arco e sua pequena PH; c) Vista para o exterior da feição. Fonte: Vale, 2022.	64
Figura 27. Reentrância AGL_0074. Fonte: Vale, 2022.	65
Figura 28. a) Vista externa dos blocos métricos da feição de tálus da AGL_0074; b) Vista interna da reentrância conformada por acomodação de blocos; c) Sedimentos arenosos e bloco de rocha, no fundo da entrada menor; d) Detalhe de minerais orientados; e) Fragmento de rocha gnáissica no interior; f) Canal erosivo perto da feição. Fonte: Vale, 2022.	66
Figura 29. Reentrância AGL_0075. Fonte: Vale, 2022.	67
Figura 30. a) Feição AGL_0075, vista da zona de entrada da reentrância em tálus de blocos decamétricos; b) Vista para o interior da reentrância; c) Salão inicial com presença de sedimentos arenosos e finos, no final a presença do sulco; e d) Saída do sulco erosivo que drena a feição. Fonte: Vale, 2022.	68
Figura 31. Localização da bacia hidrográfica do rio Doce. Fonte: PIRH, 2010.	96
Figura 32. localização da DO2 na bacia hidrográfica do rio Piracicaba. Fonte: PIRH, 2023.....	97
Figura 33. Classificação do índice de IQA (Fonte: CETESB, 2008).	113
Figura 34. Distribuição das vazões específicas dos poços inventariados da bacia do rio Piracicaba. Adaptado de: PARH RIO PIRACICABA, 2010.	120
Figura 35. Mapa hidrogeológico da área das cavas Morro Agudo e Espigão. (Fonte: WATERGEO, 2020).	124

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Xistos são de cor prateada, com mineralogia essencial de quartzo e muscovita. Fonte: Bioma, 2023.	39
Foto 2. Xistos intemperizados, de cor bege-esverdeada, granulação grossa, composto por quartzo, muscovita e sericita. Fonte: Bioma, 2023.....	39
Foto 3. Saprólito xistoso de coloração branca a avermelhado, com intercalações de veios de quartzo e quartzitos. Fonte: Bioma, 2023.	40
Foto 4. Xisto intemperizado, de cor bege-esverdeada, granulação grossa, composto por quartzo, muscovita e sericita. Fonte: Bioma, 2023.....	40
Foto 5. Rocha de matriz ferruginosa, disseminada ou intercalada em estratos quartzosos e ferruginosos, com foliação parcial incipiente. Fonte: Bioma, 2023.	40
Foto 6. Quartzito de coloração branca e capa de intemperismo preta, granulometria areia grossa, estratificado e cortado por veios de quartzo. Fonte: Bioma, 2023.....	40
Foto 7. Minério de hematita. Fonte: Bioma, 2023.	41
Foto 8. Produto de laterização de rochas ferruginosas exibindo cor avermelhada ocre. Fonte: Bioma, 2023.	41
Foto 9. Formação Ferrífera intemperizada, com os níveis quartzosos de cor bege alaranjada e os ferruginosos de cor escura. Fonte: Bioma, 2024.	42

Foto 10. Afloramento de xisto de cor rosa, intemperizado, friável, granulação grossa, composto basicamente por quartzo e mica. Contato mais à direita do afloramento com itabirito intemperizado. Fonte: Bioma, 2024.	42
Foto 11. Rocha de intemperismo de cor preta. Por dentro, a cor varia de prateada a bege, friável, Itabirito intemperizado e por vezes hematítico. Fonte: Bioma, 2024.	42
Foto 12. Rocha de coloração variando de marrom a bege, composta por quartzo, mica, óxidos de ferro, com granulação grossa, friável, coloração cinza em alguns níveis, com intercalação entre níveis ferruginosos e quartzosos. Fonte: Bioma, 2024.	42
Foto 13. Granito-gnaiss coeso, com capa de intemperismo de cor escura e cor original branca, composta por quartzo, mica, feldspato e biotita. Fonte: Bioma, 2024.	43
Foto 14. Alto topográfico correspondente às rochas metaígneas da suíte borrachudos, que correspondem às rochas mais resistentes ao intemperismo da área. Fonte: Bioma, 2024.	43
Foto 15. Granito-gnaiss coeso, com capa de intemperismo de cor escura e cor original branca. Fonte: Bioma, 2024.	43
Foto 16. Granito-gnaiss coeso, correspondente à Suíte Borrachudos. Fonte: Bioma, 2024.	43
Foto 17. Geomorfologia no entorno da estrutura EDVC, com as áreas de maior altitude ainda inalteradas pela atividade minerária. Foto: Bioma, 2023.	46
Foto 18. Geomorfologia no entorno da estrutura EDVC, com as áreas de maior altitude ainda inalteradas pela atividade minerária. Foto: Bioma, 2023.	46
Foto 19. Geomorfologia local, com foco no EDVC, que modifica a original. Foto: Bioma, 2023.	46
Foto 20. Paisagem local da região de altitude mais elevada da área. Foto: Bioma, 2023.	46
Foto 21. Xistos e sua coloração prateada, com mineralogia essencial de quartzo e muscovita. Fonte: Bioma, 2023.	69
Foto 22. Xisto intemperizado, de cor bege-esverdeado, granulação grossa, composto por quartzo, muscovita e sericita. Fonte: Bioma, 2023.	69
Foto 23. Rocha de matriz ferruginosa, disseminada ou intercalada em estratos quartzosos e ferruginosos, com foliação parcial incipiente. Fonte: Bioma, 2023.	69
Foto 24. Quartzito ferruginoso de coloração branca e capa de intemperismo preta, granulometria areia grossa, estratificado e cortado por veios de quartzo. Fonte: Bioma, 2023.	69
Foto 25. Afloramento da Suíte Borrachudos na região sudoeste do EDM. Fonte: Bioma, 2024.	69
Foto 26. Detalhe do granito da Suíte Borrachudos. Fonte: Bioma, 2024.	69
Foto 27. Alto da torre de transmissão da mina de Água Limpa, ao fundo a PDE Cururu. Fonte: Bioma, 2023.	70
Foto 28. Serra alinhada (Pico do Cururu, 1.105m) e o EDVC abaixo no centro. Fonte: Bioma, 2023.	70
Foto 29. Ao alto da torre de transmissão se observa o vale da região onde está o nível de base local, o rio Piracicaba, com o 'mar' de morros côncavo-convexos do embasamento cristalino. Fonte: Bioma, 2023.	70
Foto 30. Do alto da torre de transmissão se observam os aspectos gerais da geomorfologia da região da mina de Água Limpa. Fonte: Bioma, 2023.	70
Foto 31. Saprólito xistoso de coloração branca a avermelhado, com intercalações de veios de quartzo e quartzitos. Fonte: Bioma, 2023.	70
Foto 32. Xisto intemperizado, de cor bege-esverdeado, granulação grossa. Composto por quartzo, muscovita e sericita. Fonte: Bioma, 2023.	70
Foto 33. Minério de hematita. Fonte: Bioma, 2023.	71
Foto 34. Produto de laterização de rochas ferruginosas exibindo cor avermelhada-ocre. Fonte: Bioma, 2023.	71
Fotos 35 e 36. Cambissolo Férrico Distrófico, mina de Água Limpa. Fonte: Bioma, 2023.	71
Foto 37. Empilhamento Drenado de Vale das Cobras com vista do eixo para jusante. Bioma, 2023.	71
Foto 38. Vista da porção a montante do Empilhamento Drenado de Vale das Cobras. Bioma, 2023.	71

Foto 39. Vista do eixo do barramento/alteamentos do EDVC. Bioma, 2023.	72
Foto 40. Vista da porção dos alteamentos do eixo do EDVC e do dique de partida (abaixo). Bioma, 2023.	72
Foto 41. Empilhamento Drenado Vale das Cobras (branco a frente) e ao fundo as cavas de Morro Agudo e Espigão. Bioma, 2023.	72
Foto 42. Afloramento de quartzito ferruginoso localizado ao lado do lago formado no sopé do EDVC no eixo do córrego Vales da Cobras. Bioma, 2023.	72
Foto 43. EDM visto de cima do rochedo de granito a direita ao lado plantio de eucalipto com densa vegetação de capim. Bioma, 2024.	72
Foto 44. Empilhamento Drenado Monjolo visto do alto do rochedo. Bioma, 2024.	72
Foto 46. Empilhamento Drenado Monjolo visto de cima. Bioma, 2024.	73
Foto 47. Afloramento de granito no meio do eucaliptal, localizado no <i>buffer</i> . Bioma, 2024.	73
Foto 48. Subida da face nordeste do rochedo do EDM. Bioma, 2024.	73
Foto 49. Face do afloramento de granito da suíte Borrachudos que se localizada ao lado SE do EDM. Bioma, 2024.	73
Foto 50. Face do afloramento de granito da suíte Borrachudos que se localizada ao lado SE do EDM. Bioma, 2024.	73
Foto 51. Visão da subida do afloramento da suíte Borrachudos do EDM. Bioma, 2024.	74
Foto 52. Amostragem do capinzal na região do EDM que traz enormes dificuldades na prospecção. Bioma, 2024.	74
Foto 53. Vista da entrada do “boqueirão da onça”, localizado a sul, no <i>buffer</i> do EDM. Bioma, 2024.	74
Foto 54. Vista da saída do “boqueirão da onça”, onde há acúmulo de águas pluviais e onde foram encontrados rastros de felinos. Bioma, 2024.	74
Foto 55. Vista do denso sub-bosque de capim localizado no eucaliptal na face leste do “boqueirão da onça”. Bioma, 2024.	74
Foto 56. “Boqueirão da onça”. Bioma, 2024.	74
Foto 57. Caverna AGL_VC_001. Bioma, 2024.	78
Foto 58. Caverna AGL_VC_001. Espeleólogo entrando para avaliação. Bioma, 2024.	78
Foto 59. Interior da cavidade e restos orgânicos vegetais. Bioma, 2024.	79
Foto 60. Aracnídeo fotografado no interior da cavidade. Bioma, 2024.	79
Foto 61. Colmeia de abelhas silvestres observada na entrada da cavidade. Bioma, 2024.	79
Foto 62. Vista da ‘janela’ lateral da cavidade. Bioma, 2024.	79
Foto 63. Aspecto geral da rocha encaixante da cavidade, com dobramentos/xistosidades intercalando quartzito com estratos ferruginosos. Bioma, 2024.	79
Foto 64. Vista da porção externa que se prolonga a partir da cavidade ao fundo, podendo torná-la com prolongamento de 15 m. Bioma, 2024.	79
Foto 65. AGL_VC_002, localizado na margem esquerda do córrego das Cobras, encaixado em quartzito ferruginoso. Bioma, 2024.	81
Foto 66. Aporte tráfico na AGL_VC_002, representado por fezes secas de capivara. Bioma, 2024.	81
Foto 67. Abrigo 2 (AGL_VC_003) localizado na margem esquerda do córrego das Cobras, encaixado em quartzito ferruginoso. Bioma, 2024.	81
Foto 68. Abrigo 2 localizado na margem esquerda do córrego das Cobras, encaixado em quartzito ferruginoso. Bioma, 2024.	81
Foto 69. Fresta na rocha onde foi localizada a pequena colônia de quirópteros diminutos. Bioma, 2024.	82
Foto 70. Detalhe dos quirópteros diminutos detectados em AGL_VC_003. Bioma, 2024.	82
Foto 71. Vista da porção frontal do Abrigo da Canga. De fácil acesso, logo ao lado da estrada acima do extravasor do <i>sump</i> 16. Bioma, 2024.	85
Foto 72. Vista da porção interna do Abrigo da Canga. Rocha no teto e solo no piso. Bioma, 2024.	85
Foto 73. Porção distal do abrigo onde há prolongamento impenetrável. Bioma, 2024.	85

Foto 74. Detalhe da porção impenetrável do abrigo que se prolonga por mais de 4m, com pelo menos zona de penumbra. Bioma, 2024.....	85
Foto 75. Vista da lateral da entrada da cavidade, originada em depósito de tálus. Grande cupinzeiro na entrada. Bioma, 2024.....	87
Foto 76. Nível inferior com vista da base 0 em direção à base 4 com distância total de 8,3 m. Bioma, 2024.....	87
Foto 77. Vista de parte do nível superior da cavidade. Técnico saindo do nível inferior (Base 4). Observamos que não há possibilidade de enquadrar todo o nível superior na foto em função do abismo ao lado da base 6. Bioma, 2024.	87
Foto 78. Vista da saída do nível superior da cavidade em direção ao topo do rochedo. Observar na foto anterior o técnico apontado a foice para esta saída. Bioma, 2024.	87
Foto 79. Vista do afloramento da suíte Borrachudos onde está encaixada a AGL_MJ_002. Bioma, 2024. ...	90
Foto 80. Vista da entrada da cavidade, situada em uma fenda no granito. Observar a linha de teto/água externa que não se enquadrada na foto. Bioma, 2024.	90
Foto 81. Vista AGL_MJ_002, situada em uma fenda na rocha, demonstrando sua inclinação. Bioma, 2024	90
Foto 82. Vista AGL_MJ_002, situada em uma fenda na rocha. Bioma, 2024.....	90
Foto 83. Vista da entrada da caverna, situada em uma fenda na rocha. Bioma, 2024.	92
Foto 84. Vista do interior da caverna, situada em uma fenda no granito. Bioma, 2024.	92
Foto 85. Ponto EDVDC-N-01. Bioma, 2024.	102
Foto 86. EDVDC-N-02. Bioma, 2024.....	102
Foto 87. Ponto EDVDC-N-03. Bioma, 2024.	102
Foto 88. EDVDC-N-04. Bioma, 2024.....	102
Foto 89. Acessos – Ponto EDVDC-N-05.	103
Foto 90. Medidor de vazão (vertedor) – Ponto EDVDC-N-05.	103
Foto 91. Vegetação e condições de fluxo corrente – Ponto EDVDC-N-05.	103
Foto 92. Ponto EDVDC-N-06 – talvegue e erosão.....	104
Foto 93. Água corrente no talvegue – EDVDC-N-06.	104
Foto 94. Ponto EDVDC-N-06 – montante.....	104
Foto 95. Ponto EDVDC-N-07 – lâmina d’água.	105
Foto 96. Ponto EDVDC-N-07 – talvegue e vegetação.....	105
Foto 97. Confluência das drenagens dos pontos EDVDC-N-06 e EDVDC-N-07.	105
Foto 98. Ponto EDVDC-N-08.....	106
Foto 99. Ponto EDVDC-N-08 – SUMP 16, início da canalização.	106
Foto 100. Nascente EDVDC-NA-01. Fonte: CLAM Meio Ambiente, 2022.....	106
Foto 101. Nascente EDVDC-NA-02. Fonte: CLAM Meio Ambiente, 2022.....	106
Foto 102. Nascente EDVDC-NA-03. Fonte: Bioma, 2023.....	106
Foto 103. Ponto D1 - Dreno de fundo, 2024.....	108
Foto 104. Bombeamento e medição de vazão, 2024.	108
Foto 105. Manilha de concreto, 2024.....	108
Foto 106. Saturação e escoamento superficial, 2024.	108
Foto 107. Curso d’água, 2024.	108
Foto 108. Lago a montante da estrutura, 2024.	109
Foto 109. Detalhe de nível d’água, 2024.....	109
Foto 110. Calha do curso d’água, 2024.....	109
Foto 111. Nascente, 2024.	109
Foto 112. Área montante a nascente, 2024.....	110
Foto 113. Ponto (EDMJ-V-01) – Vista da vertente.....	110
Foto 114. Ponto (EDMJ-V-01) - Vegetação e solo seco.....	110

Foto 115. Ponto EDMJ-NA-02 – Curso d’água e nascentes.	111
Foto 116. Ponto EDMJ-NA-02 - Detalhe do ponto de confluência com drenagem principal da micro bacia.	111
Foto 117. Ponto EDMJ-NA-02 – Ponto de surgência.	111
Foto 118. Ponto EDMJ-NA-02 – Jusante nascente.	111
Foto 119. Ponto EDMJ-NA-03 – Ponto de surgência.	112
Foto 120. Ponto EDMJ-NA-03 – Surgência difusa.	112
Foto 121. No centro a água vertendo a jusante do curso d’água.	112
Foto 122. Visão geral do vale que forma a micro bacia.	112

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Classificação climática da Área de Estudo (AE), Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo, mina de Água Limpa, MG, Bioma, 2024.	12
Mapa 2. Localização da estação de monitoramento de qualidade do ar. Fonte: Bioma, 2024.	17
Mapa 3. Localização das estações de monitoramento de ruído. Bioma, 2024.	20
Mapa 4. Localização das estações de monitoramento de vibrações. Fonte: Bioma, 2024.	26
Mapa 5. Geologia da ADA dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo. Fonte: Bioma, 2024.	38
Mapa 6. Unidades geomorfológicas da região do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo. Fonte: Bioma, 2024.	47
Mapa 7. Contexto hipsométrico da região do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo. Fonte: Bioma, 2024.	48
Mapa 8. Declividade da região do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo. Fonte: Bioma, 2024.	49
Mapa 9. Mapa pedológico da região do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo. Fonte: Bioma, 2024.	51
Mapa 10. Área de Estudo Espeleológico do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras a norte e Monjolo a sul, localizados na mina de Água Limpa, municípios de Rio Piracicaba e Santa Bárbara, respectivamente, em Minas Gerais. Bioma, 2024.	53
Mapa 11. Potencial de ocorrência de cavidades para os Empilhamentos Drenados Vale das Cobras a norte e Monjolo a sul, segundo IDE/SISEMA baseado em Jansen <i>et al.</i> (2012). Bioma, 2024.	54
Mapa 12. Geologia Regional para o Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo. Bioma, 2024.	57
Mapa 13. Levantamento prospectivo da espeleologia para o Projeto de Descaracterização do Empilhamento Drenado Vale das Cobras. Bioma, 2024.	76
Mapa 14. Levantamento prospectivo da espeleologia para o Projeto de Descaracterização do Empilhamento Drenado Monjolo. Bioma, 2024.	77
Mapa 15. AGL_VC_001. Bioma 2024.	80
Mapa 16. AGL_VC_002. Bioma, 2024.	83
Mapa 17. AGL_VC_003. Bioma, 2024.	84
Mapa 18. AGL_VC_004. Bioma, 2024.	86
Mapa 19. AGL_MJ_001(Nível superior). Bioma, 2024.	88
Mapa 20. AGL_MJ_001 (Nível inferior). Bioma, 2024.	89
Mapa 21. AGL_MJ_002. Bioma, 2024.	91
Mapa 22. AGL_MJ_003. Fonte: Bioma, 2024.	93

Mapa 23. Localização dos pontos de monitoramento de água no contexto da Área de Estudo do Meio Físico, Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das cobras e Monjolo, 2024.	101
Mapa 24. Localização dos pontos de monitoramento de água no contexto da Área de Estudo do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo, Meio Físico, 2024.	115
Mapa 25. Unidades hidrogeológicas da área de estudo. Fonte: Bioma, 2024.	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Características das estações climatológicas analisadas, 2023.	11
Quadro 2. Dados do ponto de monitoramento de qualidade do ar, 2023.	16
Quadro 3. Localização dos pontos de monitoramento de ruído, 2024.	19
Quadro 4. Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período, 2024.	19
Quadro 5. Localização dos pontos de monitoramento de vibração, 2024.	25
Quadro 6. Critérios de avaliação de vibração propostos por Whiffin & Leonard, 1991.	27
Quadro 7. Usos de água outorgados na área de estudo, 2024.	98
Quadro 8. Síntese dos pontos mapeados em campo (Sirgas 2000) no ED Vale das Cobras, 2024.	107
Quadro 9. Síntese dos pontos mapeados em campo (Sirgas 2000) no ED Monjolo, 2024.	112
Quadro 10. Descrição da rede de monitoramento da qualidade da água superficial, 2014.	114
Quadro 11. Unidades hidrogeológicas.	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Frequência das classes de velocidade dos ventos.	15
Tabela 2. Resultado do monitoramento de vibração no ponto SIS 036, 2024.	28
Tabela 3. Resultado do monitoramento de vibração no ponto SIS 037, 2024.	29
Tabela 4. Resultado do monitoramento de vibração no ponto SIS 038, 2024.	30
Tabela 5. Resultado do monitoramento de vibração no ponto SIS 039, 2024.	31
Tabela 6. Feições espeleológicas e cavidade identificadas na ADA e no buffer de 250 m, segundo estudos secundários disponibilizados pela Vale S.A., para o ED/Monjolo (FUSO 23K – DATUM WGS 84).	59
Tabela 7. Densidade de caminhamento por potencial espeleológico para o EDVC, 2024.	75
Tabela 8. Densidade de caminhamento por potencial espeleológico para o EDM.	75
Tabela 9. Resultado da prospecção espeleológica realizada pela equipe da Bioma para os projetos EDVC e EDM, 2024.	75
Tabela 10. Valores do IQA para a estação de monitoramento de interesse.	113
Tabela 11. Resultados do monitoramento de qualidade de água superficial no ponto ALP-RIO-46, 2023.	116
Tabela 12. Resultados do monitoramento de qualidade de efluentes no ponto ALP-BAR-03, 2024.	118
Tabela 13. Número e tipos de captações por localidade na bacia do rio Piracicaba.	121
Tabela 14. Valores de condutividade hidráulica (K) obtidos.	125

6. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

6.1. MEIO FÍSICO

6.1.1. Clima e Meteorologia

6.1.1.1. Caracterização Climática

Conforme classificação climática de Köppen no estado de Minas Gerais, ocorrem cinco tipologias de clima, entre elas: o tropical (Aw), temperado (Cwb e Cwa) e árido (BSH e BWh) (MARTINS *et al.*, 2018). O clima característico na Área de Estudo (AE) é resultante da análise das normais climatológicas do Estado, entre os anos de 1981 a 2010, tendo sido caracterizado como Aw, tropical com inverno seco, com critérios de enquadramento como precipitação no mês mais seco de 60mm e temperatura no mês mais frio maior ou igual a 18°C.

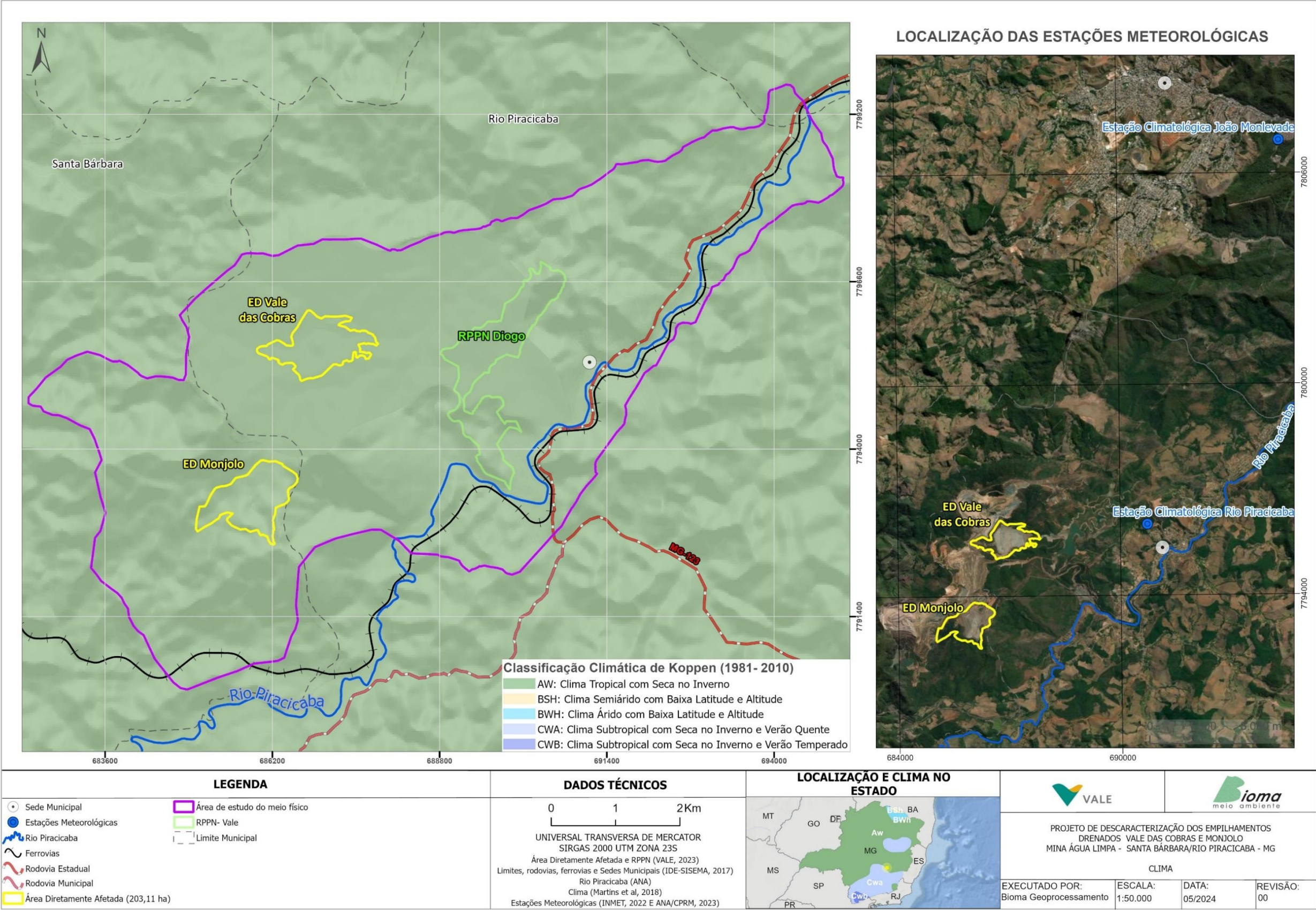
6.1.1.2. Caracterização Meteorológica

Para analisar as condições climáticas e meteorológicas da área de estudo, foram utilizadas as normais climatológicas da estação João Monlevade, do período de 1981 a 2010 e os dados da estação Rio Piracicaba, que possui registros do período compreendido entre 1993 e maio de 2023. As estações são operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais (CPRM), respectivamente. O **Quadro 1** apresenta as principais informações das estações e o **Mapa 1** apresenta sua localização.

Quadro 1. Características das estações climatológicas analisadas, 2023.

Nome	Código	Município	Coordenadas UTM (SIRGAS 2000 23K)		Responsável Operadora	Período dos dados
			Latitude (S)	Longitude (E)		
João Monlevade	83591	João Monlevade	7806939	694371	INMET	1981-2010
Rio Piracicaba	1943001	Rio Piracicaba	7796027	690729	ANA/CPRM	1993-2023

Fonte: INMET, 2023 e ANA, 2023.



Mapa 1. Classificação climática da Área de Estudo (AE), Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo, mina de Água Limpa, MG, Bioma, 2024.

De acordo com os dados do INMET, as normais climatológicas de 1981 a 2010 da estação João Monlevade apresentaram amplitude térmica anual entre 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.

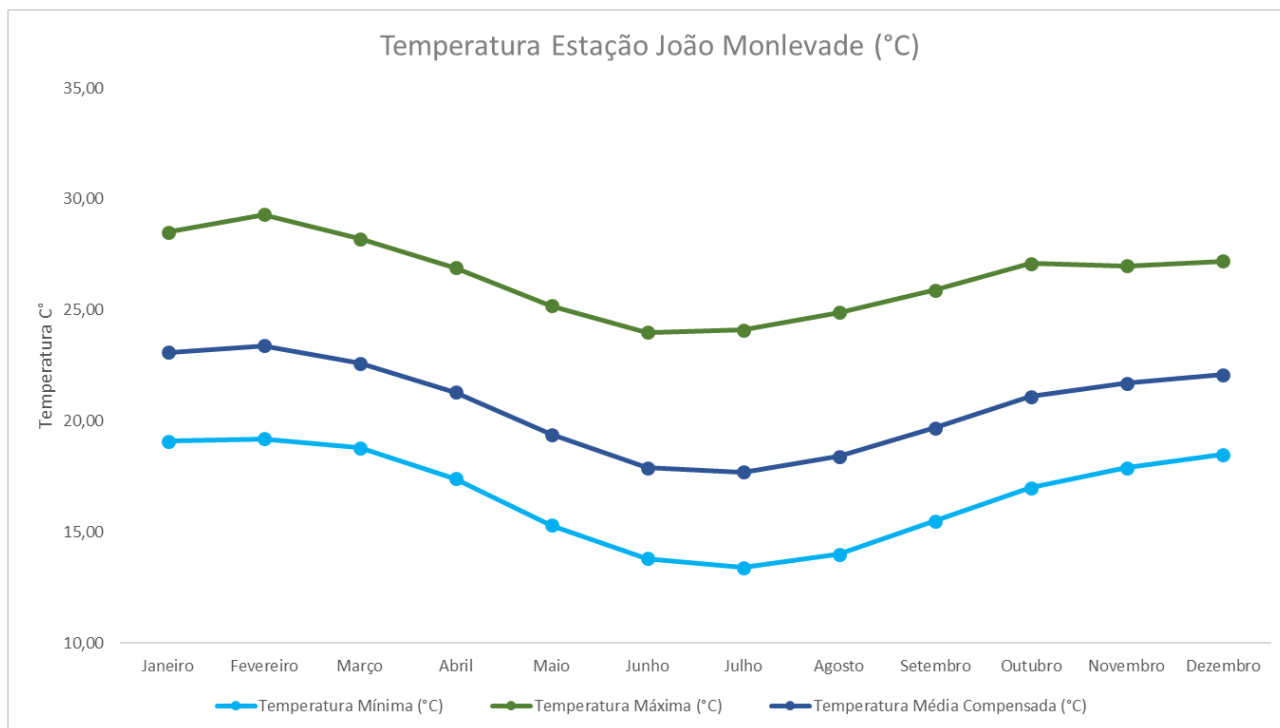


Figura 1. Comportamento da temperatura média mensal da estação João Monlevade. Fonte: INMET, 2023.

A precipitação acumulada anual, baseada na média dos anos entre 1981-2010, registrada pela estação João Monlevade, foi de 1.401,30 mm. Pode-se observar dois períodos distintos ao longo do ano: um chuvoso e um de estiagem.

Os períodos com maior incidência de chuvas ocorreram entre os meses de outubro a março, com uma precipitação acumulada média de 1.226,5 mm. Já o período de estiagem compreendeu os meses de abril a setembro, com uma precipitação acumulada média de 174,8 mm.

A umidade do ar compensada apresentou uma média anual em torno de 76,9%. Os menores percentuais foram registrados entre julho e outubro, com o menor percentual registrado em agosto, com uma média de 72,1%. A **Figura 2** mostra o comportamento de precipitação e umidade do ar da estação ao longo do período analisado.

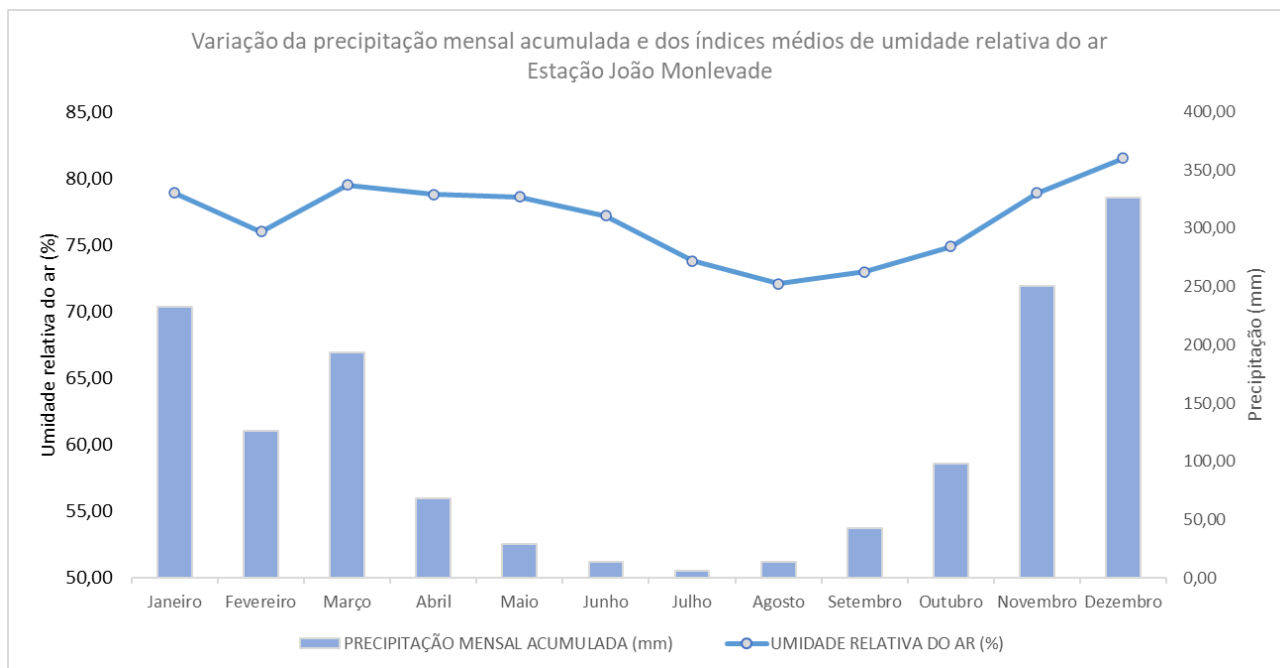


Figura 2. Comportamento climatológico de precipitação e umidade relativa do ar da estação João Monlevade. Fonte: INMET, 2023.

Os dados da estação pluviométrica Rio Piracicaba apresentaram comportamento muito parecido com o da estação João Monlevade, com estação seca entre os meses de abril e setembro e estação úmida, com chuvas concentradas entre outubro e março, conforme mostra a **Figura 3**.

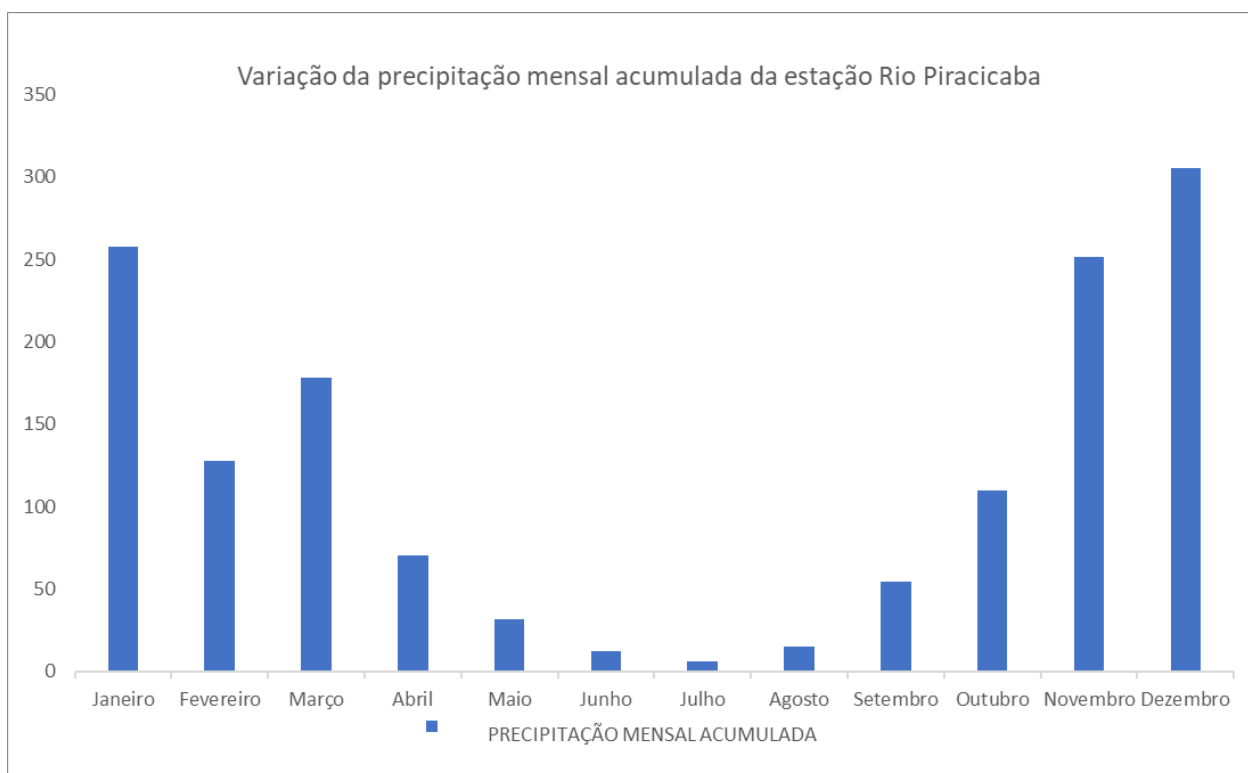


Figura 3. Comportamento climatológico de precipitação da estação Rio Piracicaba. Fonte: ANA, 2023.

6.1.1.3. Rosa dos Ventos

Os dados da estação João Monlevade mostraram que a direção dos ventos da região provém de norte-nordeste (NNE) e nordeste (NE) para sul-sudoeste (SSO) e sudoeste (SO). Essa análise pode ser observada pela rosa dos ventos, conforme **Figura 4**, produzida pelo software WRPLOT View.

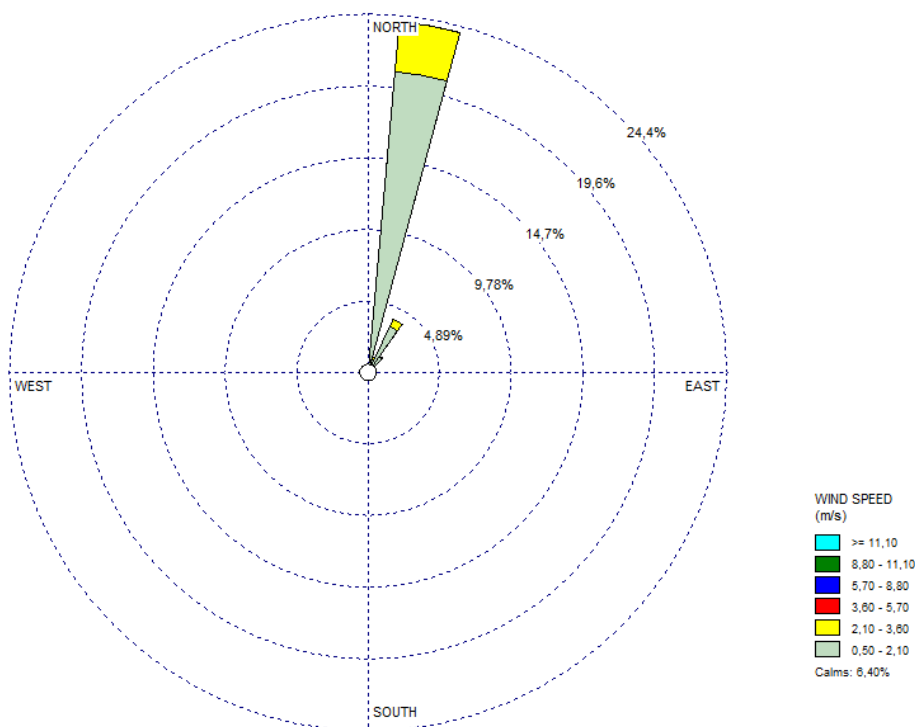


Figura 4. Rosa dos ventos - estação João Monlevade. Fonte: INMET: 2023.

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: INMET, 2023.

6.1.2. Qualidade do Ar

As atividades previstas no Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo irão ocasionar a dispersão de material particulado da ADA do empreendimento e entorno, com potencial para afetar a qualidade do ar, fato que demanda verificação constante e, caso necessário, a implantação de medidas de controle, que estão detalhadas no **Volume V** desse estudo.

O empreendimento está situado a uma distância aproximada de 4 km da área urbanizada do município de Rio Piracicaba, separado por barreiras físicas, como serras e colinas do relevo local. Os bairros mais próximos da ADA, onde se darão as obras, são os bairros de Fundão e Louis Ensich situados a sul e a sudeste dela, respectivamente. Ambos os bairros são encontrados a uma distância aproximada, inferior a 3 km da ADA de ambos os ED, considerando neste cálculo traços em linha reta sobre mapa e a extremidade das áreas como referência.

Algumas edificações e propriedades rurais se localizam a norte da ADA, a cerca de 1,7 km e estão afastados por barreiras físicas. Os núcleos habitacionais aqui citados não se encontram alinhados à direção preferencial dos ventos da região, que sopram de norte-nordeste (NNE) e nordeste (NE) para sul-sudoeste e sudoeste, conforme exposto na rosa dos ventos, apresentada no item anterior.

6.1.2.1. Requisitos legais aplicáveis

A Resolução CONAMA nº 491/2018, em esfera nacional e a Deliberação Normativa COPAM Nº 248 de 23 de novembro de 2023, em nível estadual, são as normas jurídicas que definem os padrões de qualidade do ar. Estes atos normativos instituem as concentrações e quantidades máximas de poluentes que podem ser encontrados na atmosfera.

Para caracterização da qualidade do ar do entorno da área de estudo, foram utilizados os dados de monitoramento realizado pela Vale S.A. na estação intitulada EMMA06. A estação se localiza no bairro Louis Ensich e os dados datam dos anos de 2021 e 2023. Foram medidos os índices de Partículas Totais em Suspensão (PTS), apresentados a seguir.

6.1.2.2. Rede de monitoramento

As informações dos pontos de monitoramento estão descritas no **Quadro 2**. O **Mapa 2** apresenta a sua localização.

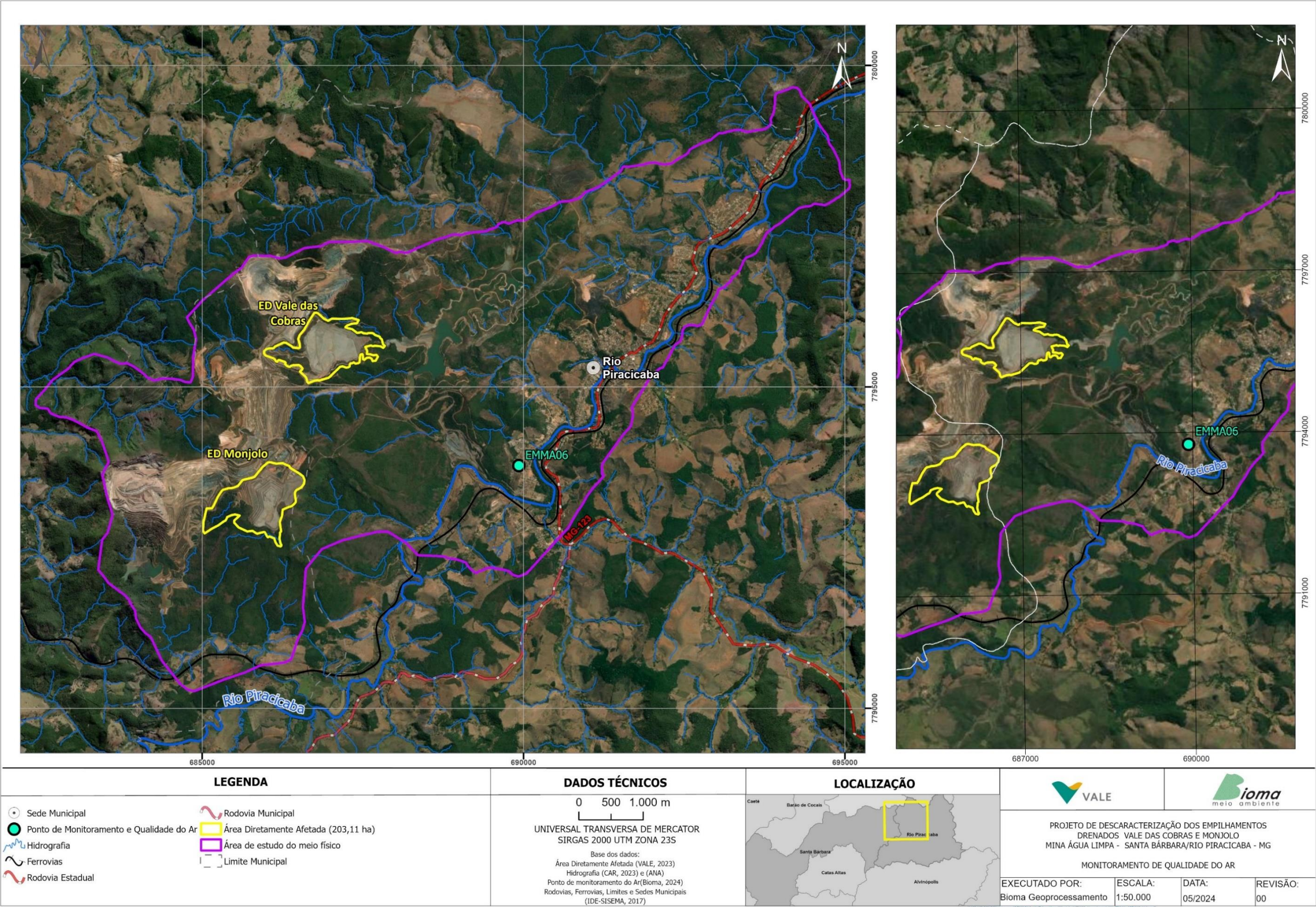
Quadro 2. Dados do ponto de monitoramento de qualidade do ar, 2023.

Ponto	Coordenadas (UTM)		Parâmetros analisados	Padrões de qualidade do ar CONAMA 491/2018 (µg/m³)	Padrões de qualidade do ar DN COPAM 248/2023 (µg/m³)
	Latitude (S)	Longitude (E)			
EMMA06	7793777	689926	PTS	240*/80**	240*/80**

*Período de referência: 24 horas.

**Média geométrica anual.

Fonte: CONAMA, 2018; COPAM, 2023; VALE, 2023.



Mapa 2. Localização da estação de monitoramento de qualidade do ar. Fonte: Bioma, 2024.

6.1.2.3. Resultados

Conforme dados disponibilizados pela Vale S.A., foram aferidas 58 médias diárias em 2021, durante o monitoramento de PTS na estação EMMA06 supracitada. Nesse ano, duas (2) médias apresentaram picos maiores que o estabelecido nas legislações, de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A média geométrica dessas medições foi de $37,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, abaixo do limite estabelecido de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Em 2022, 59 médias diárias foram registradas e nenhuma medição ficou acima do limite estabelecido, sendo a média geométrica dessas medições de $36,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Entre 03/01/2023 e 18/09/2023, houve a medição de 43 médias diárias e nenhuma delas ficou acima do limite previsto. A média geométrica dessas medições foi de $25,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A **Figura 5** representa os valores obtidos durante o monitoramento de qualidade de PTS, ao longo do período informado.

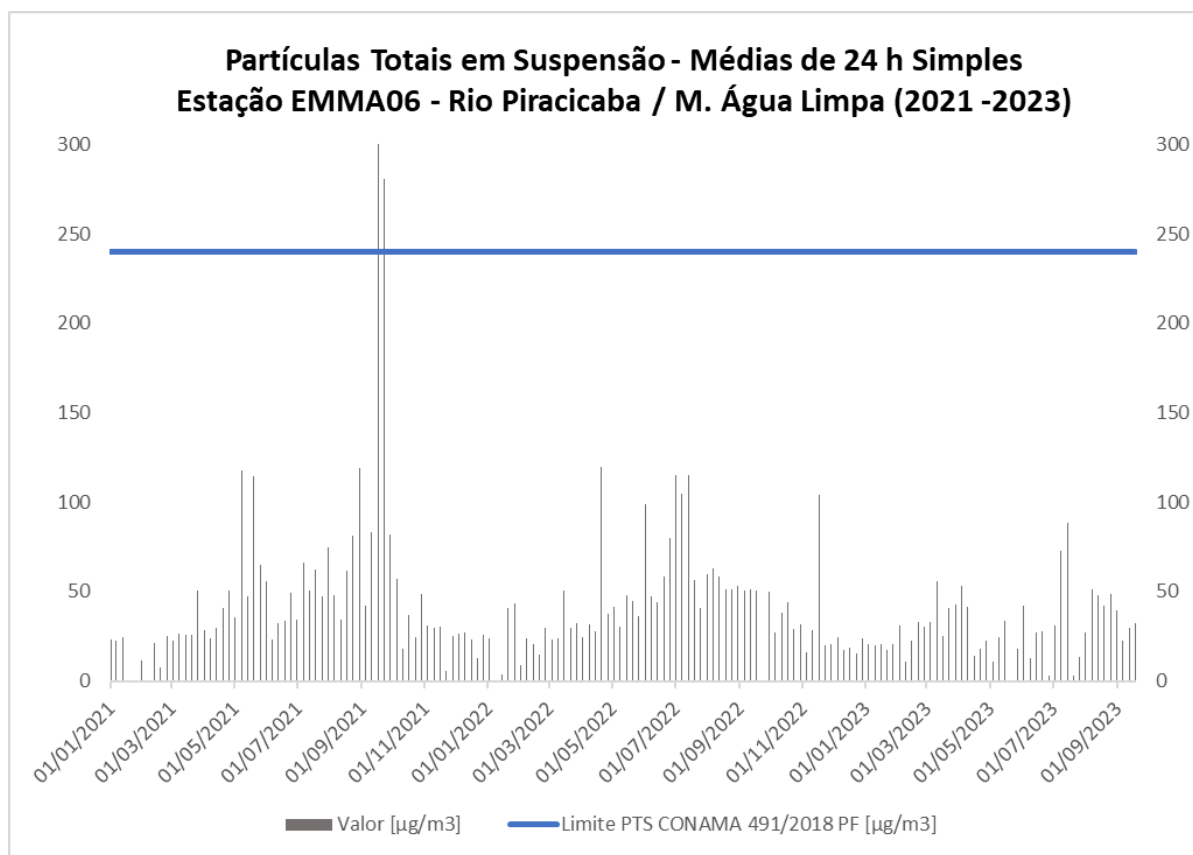


Figura 5. Monitoramento de PTS na estação EMMA06. Fonte: Vale S.A., 2023.

6.1.3. Ruído Ambiental e Vibração

A área de estudo é cercada por propriedades rurais, sítios e fazendas e grande parte do seu perímetro é ocupado por cobertura vegetal arbórea. Nos bairros Fundão e Louis Ensck, ambos situados na sede do município de Rio Piracicaba, as atividades relacionadas ao maior adensamento urbano podem ser percebidas. Portanto, as condições acústicas e de vibração do entorno são inerentes a uma operação já consolidada na

mina de Água Limpa, caracterizadas pelas atividades da própria mina, sons típicos de uma região urbanizada, movimentação do trânsito e comportamento de animais. A avaliação dos níveis de pressão acústica e sismográfica foi realizada com base nos dados de monitoramento periódico de ruído e vibração, efetuado pela Vale S.A.. Este monitoramento é realizado em pontos específicos nas circunvizinhanças da mina de Água Limpa, com as devidas medidas de controle já implementadas.

6.1.3.1. Ruído Ambiental

6.1.3.1.1. Rede de monitoramento

O monitoramento de ruído na área externa da mina de Água Limpa é feito em núcleos habitacionais situados em áreas vizinhas à mina. A descrição dos pontos monitorados está disponível no **Quadro 3** e a localização no **Mapa 3**. Os dados foram coletados entre 2021 e fevereiro de 2023.

Quadro 3. Localização dos pontos de monitoramento de ruído, 2024.

ID Vale	Coordenadas (UTM)		Local	Caracterização segundo a NBR 10.151:2019	Frequência	Período
	Latitude (S)	Longitude (E)				
RDO 019	7793374,58	690183,09	Rio Piracicaba	Área mista predominantemente residencial	Mensal	Diurno e Noturno
RDO 022	7792860,70	688431,19	Igreja comunidade do Fundão	Área mista predominantemente residencial	Mensal	Diurno e Noturno
RDO 024	7794151,94	689933,64	Incubadora	Área mista predominantemente residencial	Mensal	Diurno e Noturno
RDO 025	7798025,96	686286,77	Comunidade Morro Agudo	Área de residências rurais	Mensal	Diurno e Noturno

Fonte: Vale, 2024.

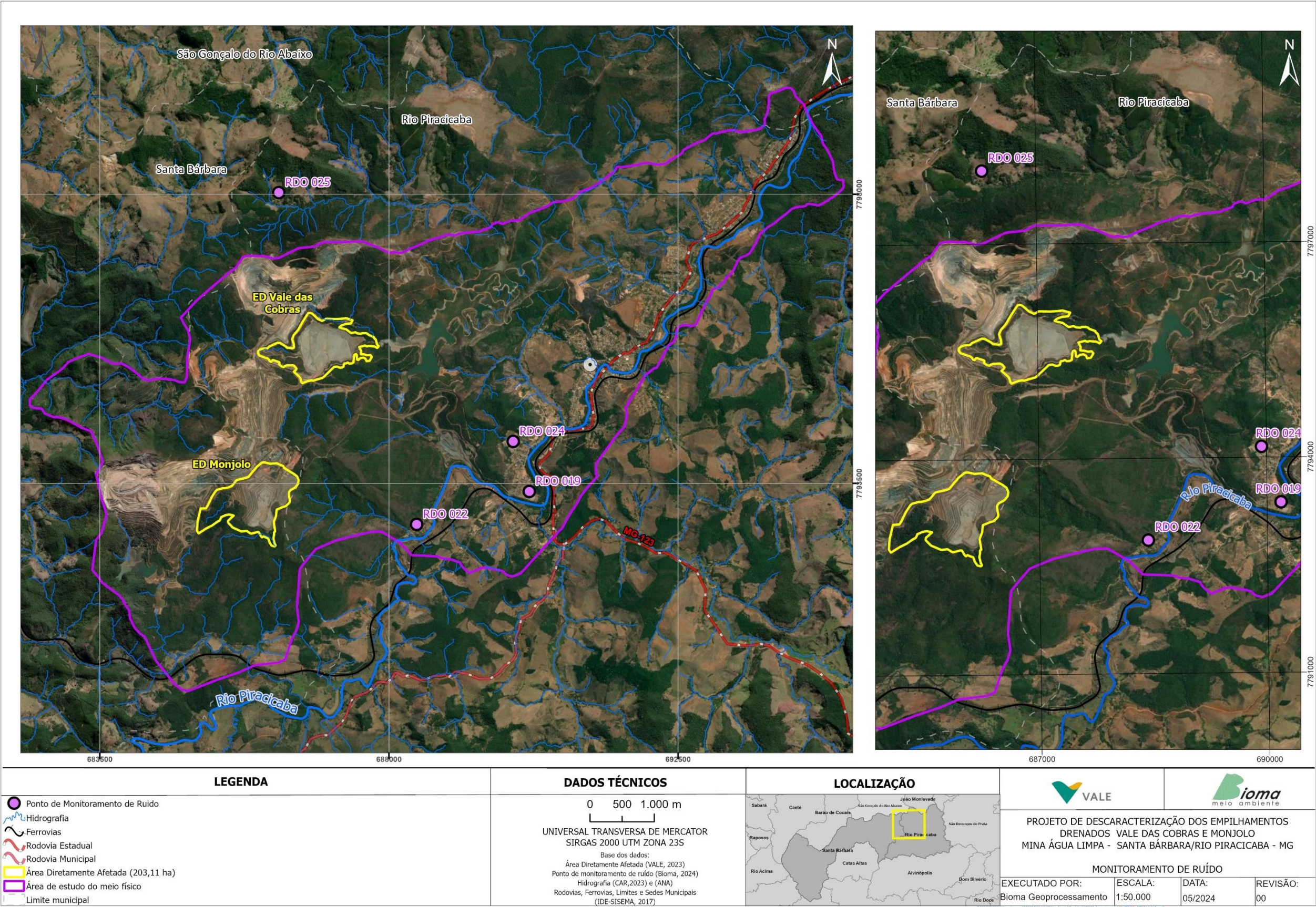
6.1.3.1.2. Requisitos legais aplicáveis

O **Quadro 4** apresenta os limites de nível de pressão sonora preconizados pela norma ABNT NBR 10.151:2019, para os períodos diurno e noturno e, também, destacado em cinza, a categoria “área mista predominantemente residencial” que caracteriza o local dos pontos de amostragem considerados neste estudo.

Quadro 4. Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período, 2024.

Tipos de áreas habitadas	LAeq (dB)	
	Período diurno	Período noturno
Área de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT, 2019.



Mapa 3. Localização das estações de monitoramento de ruído. Bioma, 2024.

6.1.3.1.3. Resultados

Os dados de monitoramento das estações apresentaram conformidade com os limites previstos pela norma, conforme **Quadro 4**, apresentado acima. A **Figura 6** e a **Figura 7** apresentadas a seguir mostram os resultados das medições realizadas no ponto RDO 019, a **Figura 8** e a **Figura 9**, no ponto RDO 022, a **Figura 10** e a **Figura 11**, no ponto RDO 024 e a **Figura 12** e a **Figura 13**, no ponto RDO 025, considerando aos níveis estabelecidos pela normatização.

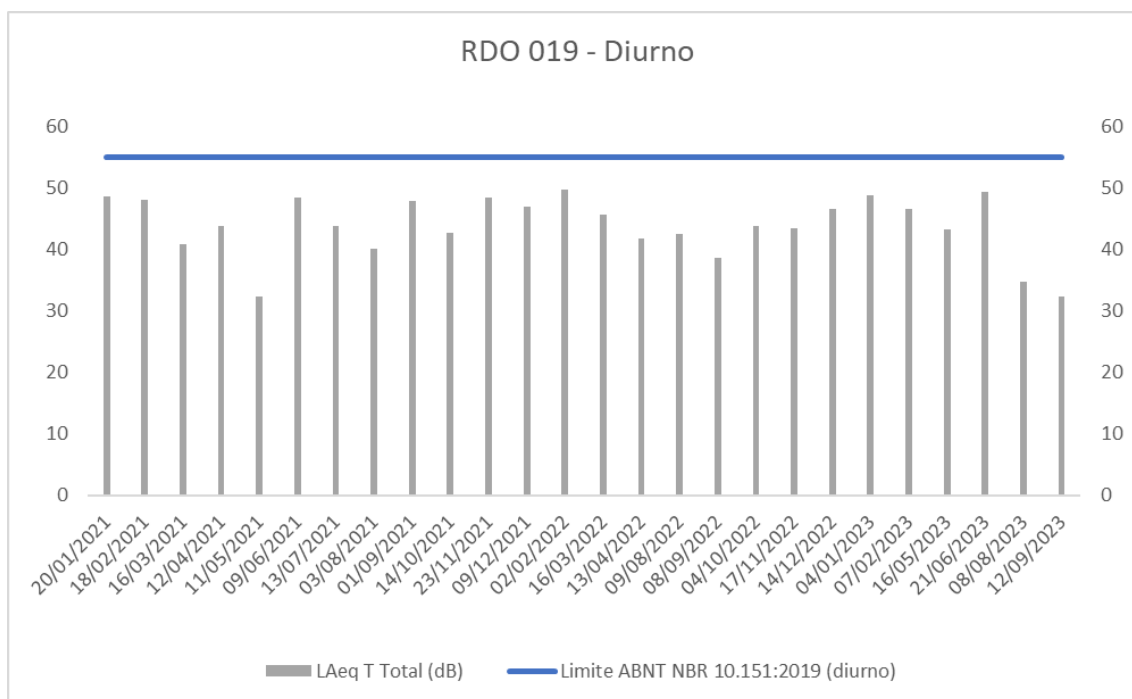


Figura 6. Monitoramento diurno de ruído no ponto RDO 019. Fonte: Vale, 2023.

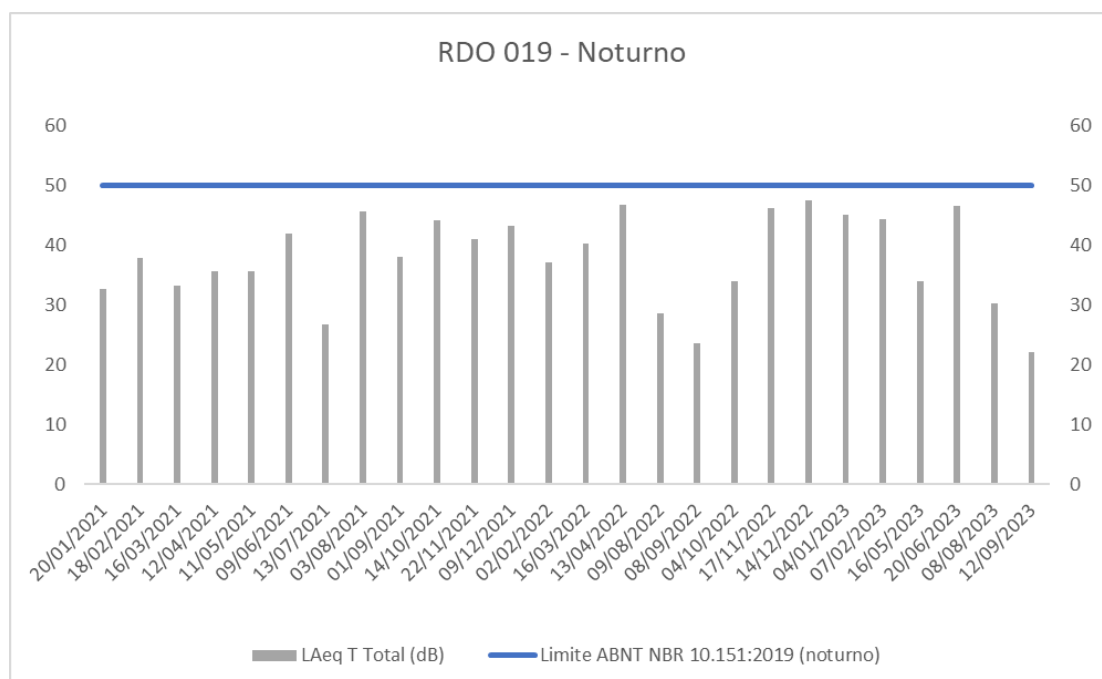


Figura 7. Monitoramento noturno de ruído no ponto RDO 019. Fonte: Vale, 2023.

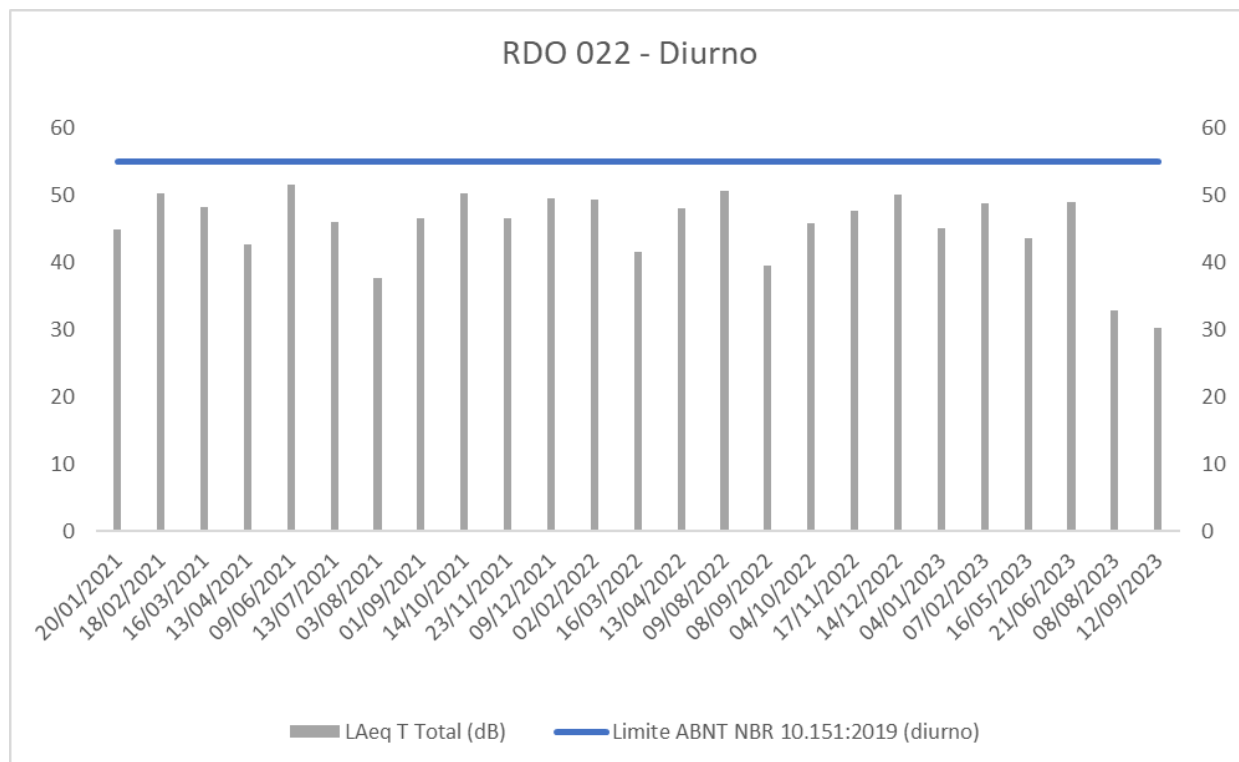


Figura 8. Monitoramento diurno de ruído no ponto RDO 022. Fonte: Vale, 2023.

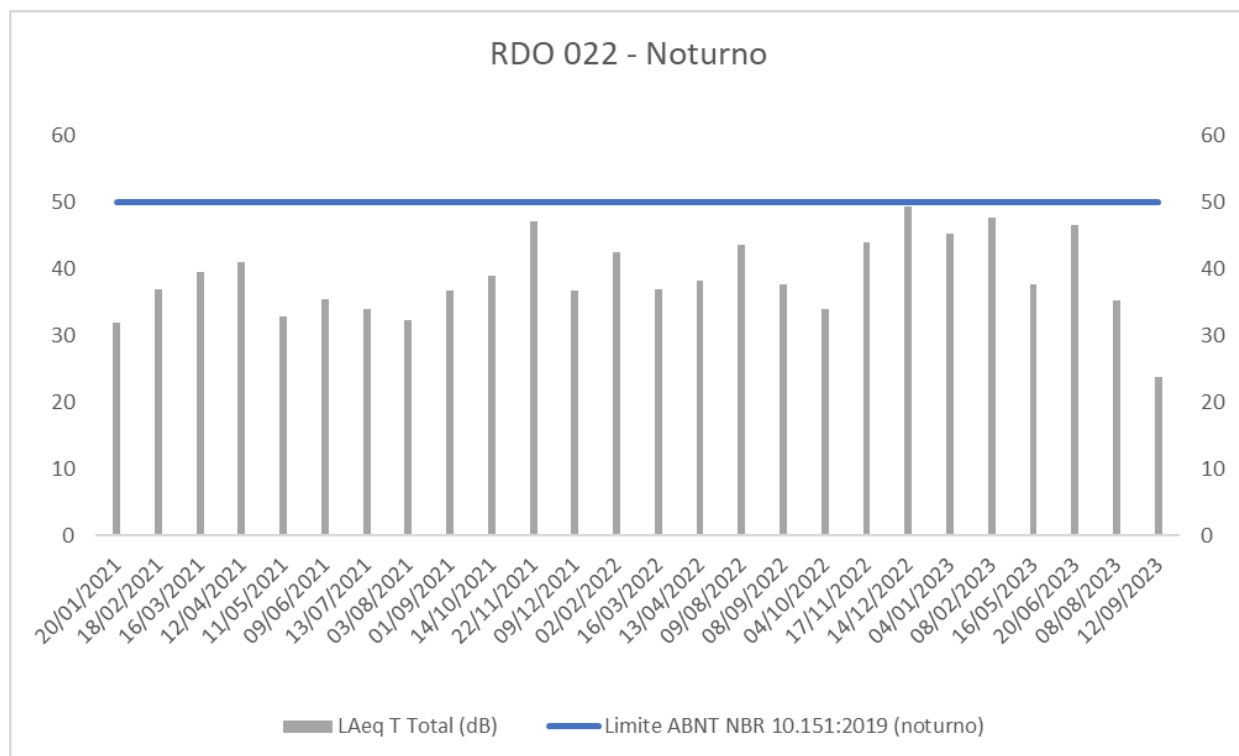


Figura 9. Monitoramento noturno de ruído no ponto RDO 022. Fonte: Vale, 2023.

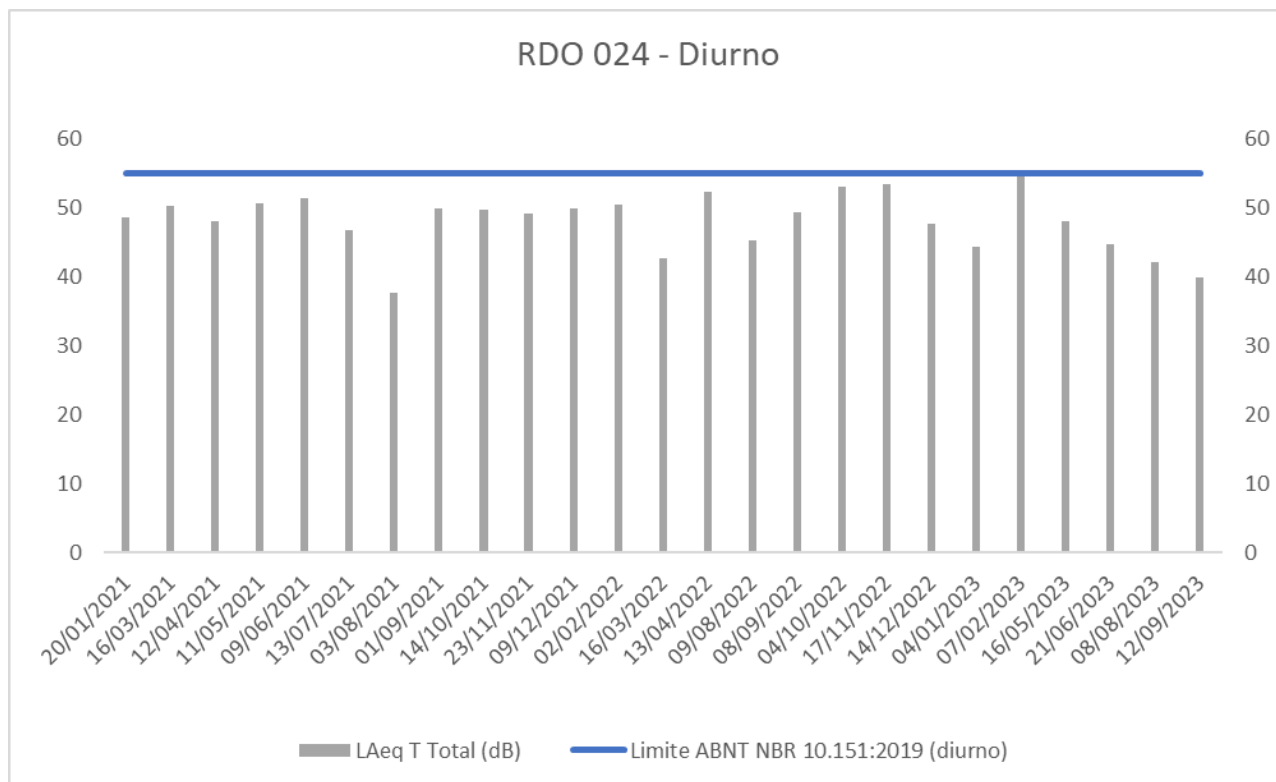


Figura 10. Monitoramento diurno de ruído no ponto RDO 024. Fonte: Vale, 2023.

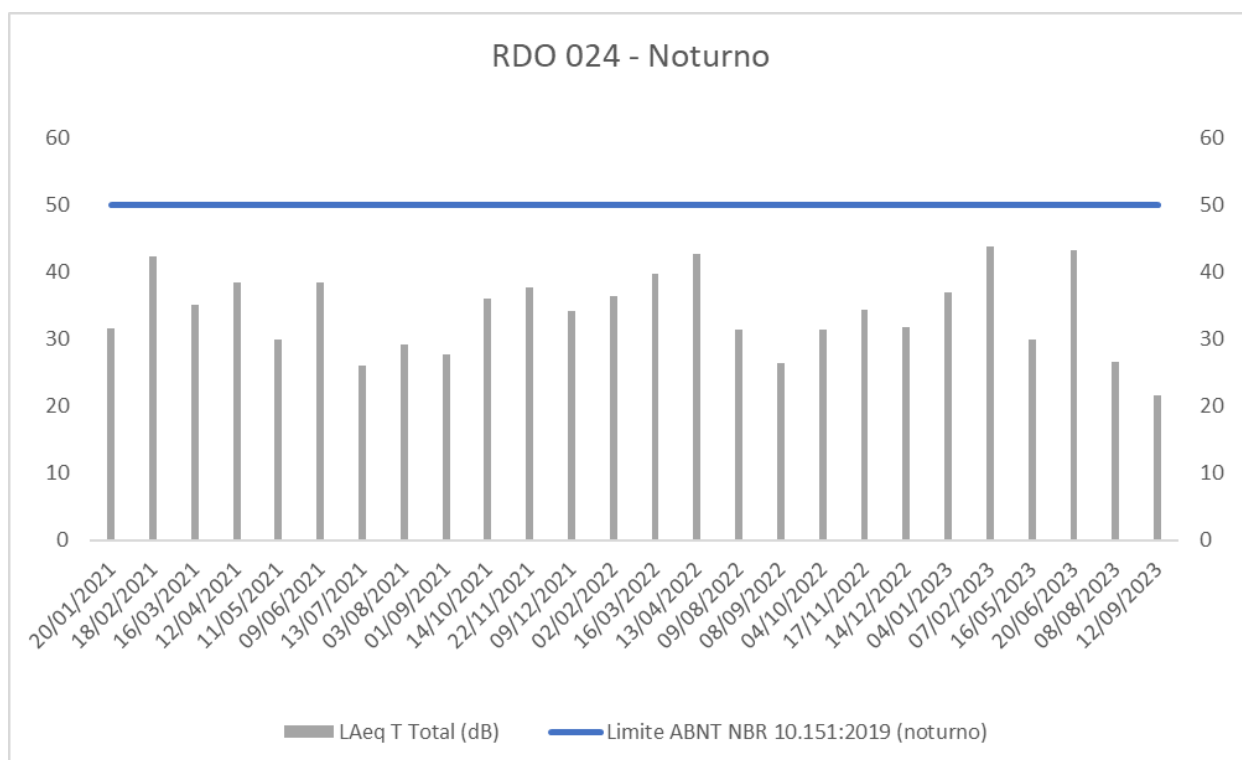


Figura 11. Monitoramento noturno de ruído no ponto RDO 024. Fonte: Vale, 2023.

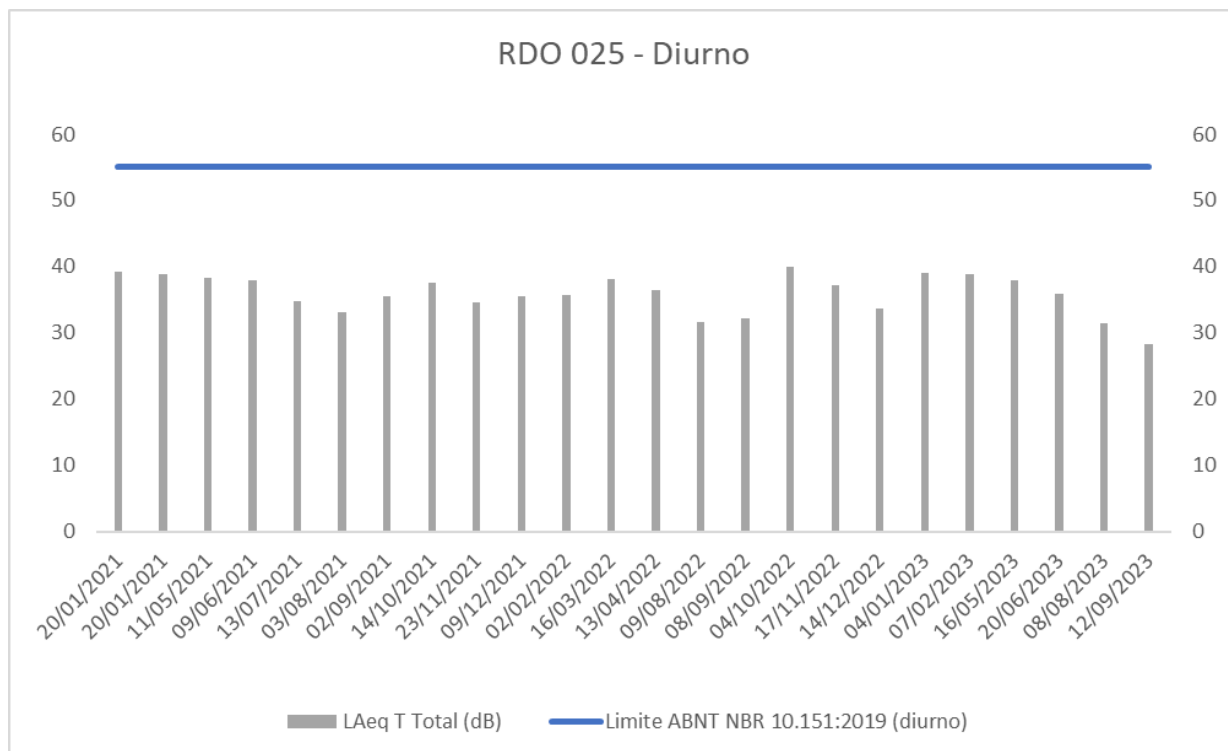


Figura 12. Monitoramento diurno de ruído no ponto RDO 025. Fonte: Vale, 2023.

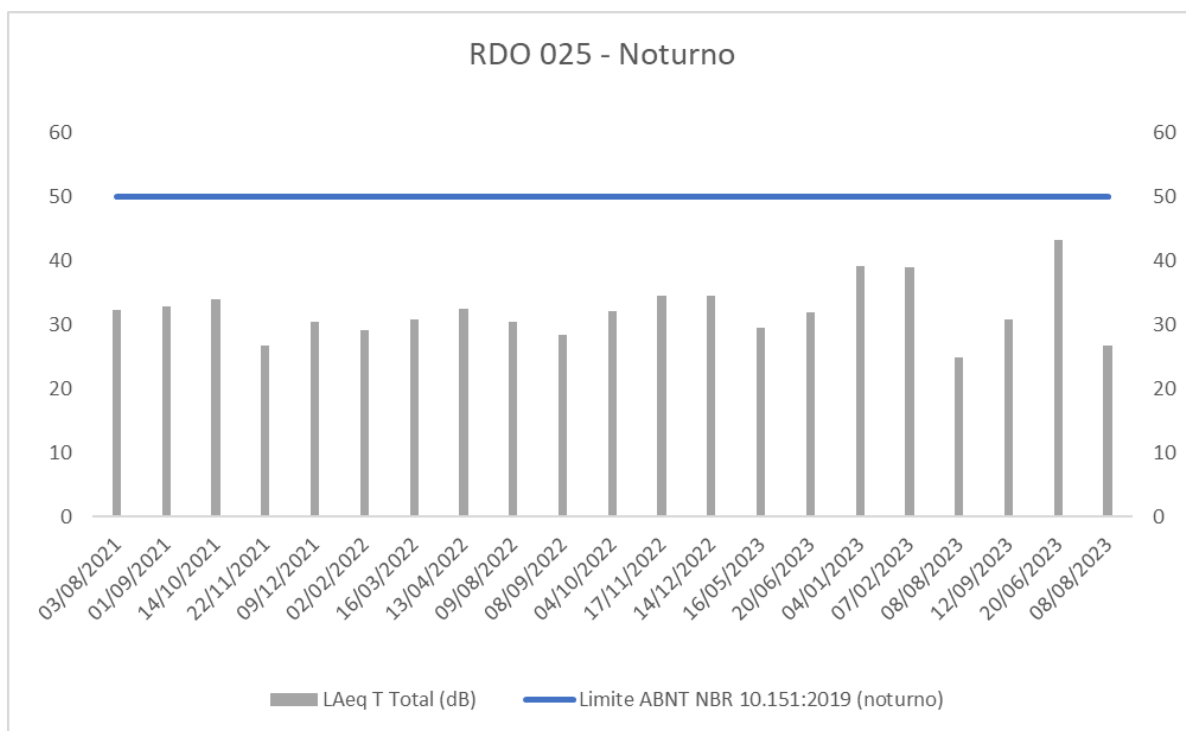


Figura 13. Monitoramento noturno de ruído no ponto RDO 025. Fonte: Vale, 2023.

6.1.3.2. Vibração

6.1.3.2.1. Rede de monitoramento

As informações referentes aos pontos de monitoramento de vibração estão dispostas no **Quadro 5**, enquanto a localização, coincidente com a dos pontos de monitoramento de ruído ambiental, pode ser visualizada no **Mapa 4**. Os dados coletados foram obtidos entre os anos de 2021 e 2023.

Quadro 5. Localização dos pontos de monitoramento de vibração, 2024.

ID Vale	Coordenadas (UTM)		Local
	(S)	(E)	
SIS 036	7792818	688380	Igreja Fundão
SIS 037	7793324	689889	Portaria da Mina
SIS 038	7794097	689890	Incubadora
SIS 039	7797979	686245	Comunidade Morro Agudo

Fonte: Vale, 2024.

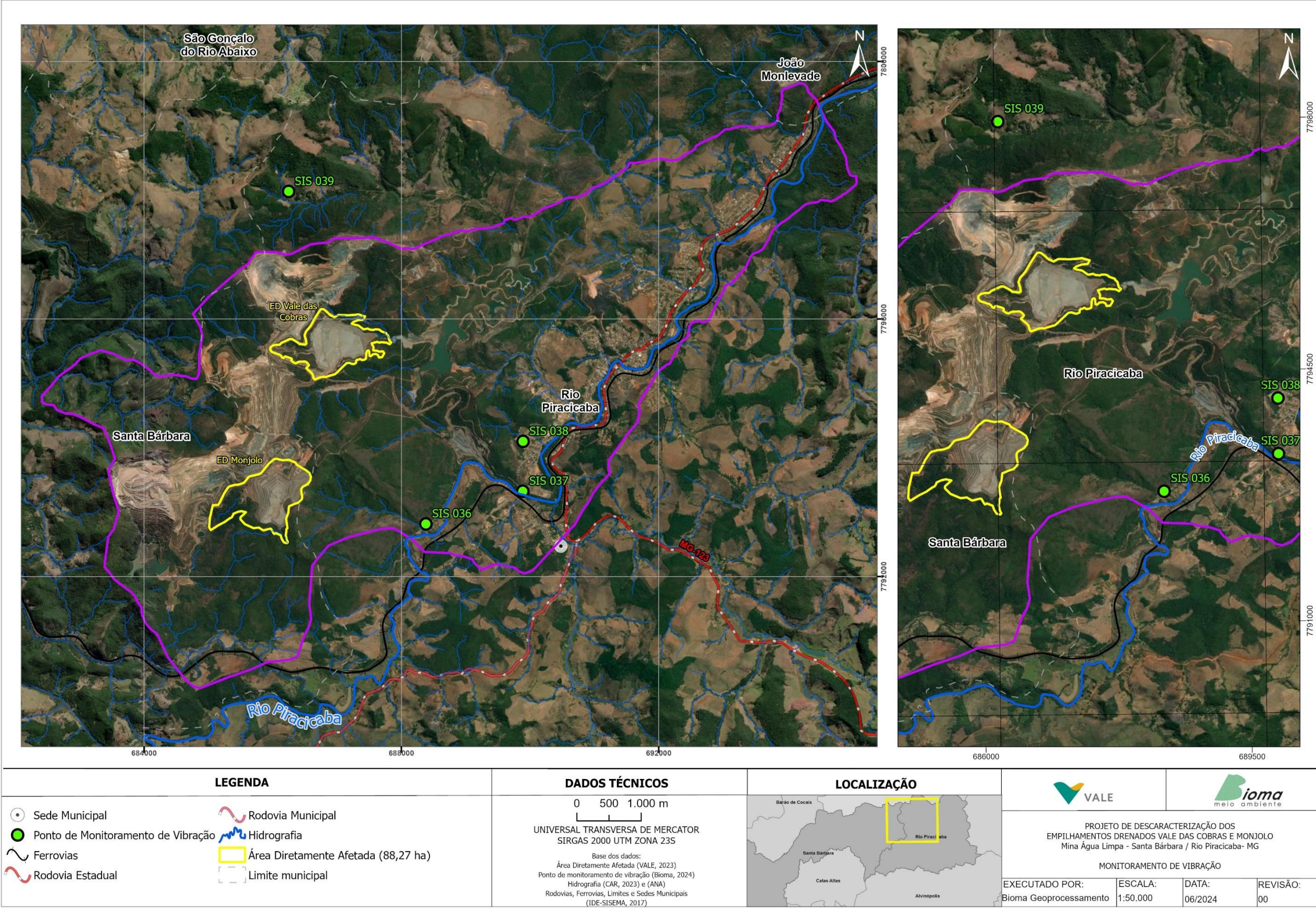
6.1.3.2.2. Requisitos legais aplicáveis

Para avaliação dos níveis sismográficos, no Brasil, são considerados os limites estabelecidos pela norma ABNT NBR 9653:2018 - Guia para Avaliação dos Efeitos Provocados pelo Uso de Explosivos nas Minerações em Áreas Urbanas. As atividades vinculadas ao Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo não dependem do uso de explosivos ou de desmonte de rocha. Apesar disso, dados de monitoramento de vibração estão sendo apresentados, a fim de caracterizar as condições sismográficas da região, uma vez que a Vale S.A. realiza o monitoramento de vibração no entorno da mina de Água Limpa por conta dos desmontes da cava.

Devido à inexistência de normas técnicas brasileiras que possam ser utilizadas como referência na avaliação de efeitos de vibrações contínuas e/ou intermitentes, em pessoas e em edificações, complementarmente serão apresentados os valores de velocidade de partícula (PPV) recomendados na referência WHIFFIN & LEONARD (1971).

Para os autores supracitados, as vibrações:

- 1) São perceptíveis quando a velocidade de vibração da partícula de pico (PPV) atinge o valor de 2,0 mm/s;
- 2) Produzem incômodos à população, quando são contínuas e atingem o valor de 2,5 mm/s;
- 3) Podem gerar incômodos quando atingem o valor de 5,0 mm/s;
- 4) Podem ser desagradáveis quando estão entre 10 e 15,0 mm/s.



Mapa 4. Localização das estações de monitoramento de vibrações. Fonte: Bioma, 2024.

A Norma Técnica “DIN 45669 - Mechanical Vibration and Shock Measurement” Parte 1 (1995) e Parte 2 (2005), definem os procedimentos de medição de vibração para avaliação dos efeitos em edificações e seres humanos¹. Os critérios de avaliação de vibração propostos por Whiffin & Leonard para seres humanos e edificações são apresentados no **Quadro 6**.

Quadro 6. Critérios de avaliação de vibração propostos por Whiffin & Leonard, 1991.

PPV (mm/s)	Humano	Edificações
Maior de 5mm/S	Fortemente notável	Dano a edificações normais
Entre 2mm/s e 5mm/s	Facilmente notável	Dano a edificações sensíveis
Entre 0,30 mm/s e 2mm/s	Notável	Sem dano
Entre 0,15mm/s e 0,30mm/s	Limite de percepção	Sem dano

Fonte: Whiffin; Leonard, 1991.

6.1.3.2.3. Resultados

A norma ABNT NBR 9653:2018 estabelece limites de velocidade de vibração de partículas a uma determinada frequência, para avaliar os níveis de vibração emitidos por uma determinada fonte.

Os valores detectados durante os monitoramentos (na coluna “Resultante”) se mostraram abaixo do limite mínimo previsto pela norma, cuja velocidade é de 15 mm/s, com aumento linear a 20 mm/s, a uma frequência variando entre 4 Hz a 15 Hz, conforme Tabelas 2, 3, 4 e 5 apresentadas a seguir.

Segundo esta escala de classificação da vibração de WHIFFIN & LEONARD (1971), das 100 medidas mensais realizadas, 34 apresentaram valor diferente de zero, sendo 27 correspondentes a combinação “notável e sem dano” e 7 “facilmente notável e dano a edificações simples. Nenhuma destas últimas ocorreu no ponto de monitoramento SIS – 039 (**Figura 14**).

Aparentemente, considerando esta diferença entre os resultados das estações, acredita-se que a medição dos maiores valores nas SIS-37, SIS-37 e SIS-38 se relaciona ao fato delas se situarem em áreas urbanas e próximas à MG-123, neste caso relacionados ao tráfego rotineiro de veículos na rodovia.

¹ O termo norma DIN, refere-se à *Deutsche Institut für Normung* ou Instituto Alemão para Normatização, instituição que regulamenta as normas de padronização na Alemanha, equivalente a ABNT no Brasil.

Tabela 2. Resultado do monitoramento de vibração no ponto SIS 036, 2024.

Data	Velocidade Partícula Vp/VR (mm/s)*			Frequência (Hz)			Resultante (mm/s)	Deslocamento Partícula (mm)	Pressão Acústica (dBL)**	Frequência (Hz)
	Trans.	Vert.	Long.	Trans.	Vert.	Long.				
15/01/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
08/02/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
02/03/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
29/04/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
20/05/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
29/06/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
27/07/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
18/08/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
16/09/2021	1,690	1,910	3,250	>100	>100	85,0	3,5	0,005	90,05	2,2
27/10/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
16/11/2021	1,301	0,560	0,828	>100	37,0	>100	1,3	0,002	102,8	2,1
16/12/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
18/01/2022	0,441	0,528	0,804	>100	85,0	>100	0,8	0,001	89,4	4,3
25/02/2022	0,977	1,017	0,812	>100	>100	>100	1,6	0,001	106,2	32,0
22/03/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
01/04/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
18/05/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
20/06/2022	2,420	1,159	1,308	47,0	73,0	51,0	2,9	0,006	108,8	2,9
19/07/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
17/08/2022	0,394	0,252	0,670	>100	>100	>100	0,7	0,001	<87,95	12,0
13/09/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
19/10/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
21/11/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
05/12/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
17/05/2023	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Fonte: Vale, 2024.

Tabela 3. Resultado do monitoramento de vibração no ponto SIS 037, 2024.

Data	Velocidade Partícula Vp/VR (mm/s)*			Frequência (Hz)			Resultante (mm/s)	Deslocamento Partícula (mm)	Pressão Acústica (dBL)**	Frequência (Hz)
	Trans.	Vert.	Long.	Trans.	Vert.	Long.				
18/01/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
15/02/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
05/03/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
26/04/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
20/05/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
29/06/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
27/07/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
18/08/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
16/09/2021	0,962	0,063	0,891	>100	>100	>100	1,3	0,001	93,16	3,1
27/10/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
16/11/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
16/12/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
17/01/2022	1,892	0,402	3,153	>100	>100	>100	3,4	0,005	96,8	2,4
21/02/2022	0,765	0,520	0,914	>100	39,0	>100	1,1	0,002	90,8	2,4
14/03/2022	3,342	0,607	1,970	73,0	64,0	85,0	3,9	0,009	95,2	1,5
25/04/2022	0,307	0,315	0,993	>100	34,0	>100	1,0	0,002	94,1	12,0
18/05/2022	0,696	0,173	0,993	>100	>100	85,0	1,1	0,005	97,1	1,9
20/06/2022	1,434	1,789	1,474	>100	>100	85,0	1,9	0,002	<87,95	5,5
19/07/2022	0,638	0,189	0,552	>100	>100	>100	0,6	0,001	<87,95	7,0
17/08/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
13/09/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
19/10/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
21/11/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
05/12/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
19/05/2023	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Fonte: VALE, 2024.

Tabela 4. Resultado do monitoramento de vibração no ponto SIS 038, 2024.

Data	Velocidade Partícula Vp/VR (mm/s)			Frequência (Hz)			Resultante	Deslocamento Partícula (mm)	Pressão Acústica (dBL)	Frequência (Hz)
	Trans.	Vert.	Long.	Trans.	Vert.	Long.				
07/01/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
15/02/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
08/03/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
26/04/2021	0,615	1,056	2,254	>100	30,0	17,0	2,3	0,017	109,91	4,2
20/05/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
29/06/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
27/07/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
18/08/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
16/09/2021	0,520	0,457	0,725	32,0	19,0	>100	0,9	0,001	97,89	5,8
27/10/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
16/11/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
16/12/2021	0,591	0,315	0,512	5,8	>100	>100	0,6	0,056	105,6	2,6
17/01/2022	0,607	0,370	0,607	>100	64,0	73,0	0,8	0,001	<87,95	51,0
21/02/2022	0,741	1,025	1,064	>100	73,0	>100	1,4	0,002	98,4	2,2
11/03/2022	3,070	1,813	0,804	>100	64,0	>100	3,5	0,003	<87,95	>100
05/04/2022	1,387	2,065	0,859	32,0	30,0	19,0	2,2	0,008	96,8	51,0
18/05/2022	0,646	0,150	1,269	>100	>100	>100	1,3	0,001	104,0	2,4
20/06/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
19/07/2022	0,780	0,158	0,331	85,0	73,0	64,0	0,8	0,002	90,1	1,9
17/08/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
13/09/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
19/10/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
21/11/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
05/12/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
19/05/2023	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Fonte: VALE, 2024.

Tabela 5. Resultado do monitoramento de vibração no ponto SIS 039, 2024.

Data	Velocidade Partícula Vp/VR (mm/s)*			Frequência (Hz)			Resultante	Deslocamento Partícula (mm)	Pressão Acústica (dBL)**	Frequência (Hz)
	Trans.	Vert.	Long.	Trans.	Vert.	Long.				
18/01/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
22/02/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
12/03/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
29/04/2021	1,174	0,536	0,765	9,5	22,0	34,0	1,2	0,043	102,54	4,3
20/05/2021	1,348	1,135	1,758	7,0	26,0	30,0	1,8	0,016	115,99	6,8
29/06/2021	1,198	0,772	1,687	57,0	28,0	51,0	1,7	0,006	99,86	5,7
27/07/2021	0,772	0,765	1,040	12,0	28,0	12,0	1,2	0,009	110,51	6,2
18/08/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
16/09/2021	0,891	0,930	0,914	18,0	14,0	18,0	1,3	0,0126	100,95	85,0
27/10/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
16/11/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
16/12/2021	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
18/01/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
25/02/2022	0,654	0,370	0,292	>100	>100	>100	0,7	0,005	<87,95	37,0
22/03/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
29/04/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
18/05/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
20/06/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
19/07/2022	0,520	0,150	0,260	>100	28,0	>100	0,6	0,096	<87,95	4,7
17/08/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
13/09/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
19/10/2022	1,088	1,033	1,71	>100	28,0	>100	2,0	0,003	100,50	10,0
21/11/2022	0,891	0,804	0,993	>100	73,0	>100	1,4	0,003	103,30	3,8
05/12/2022	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
17/05/2023	1,009	0,812	1,237	16,0	18,0	28,0	1,3	0,006	107,9	9,1

Fonte: VALE, 2024.

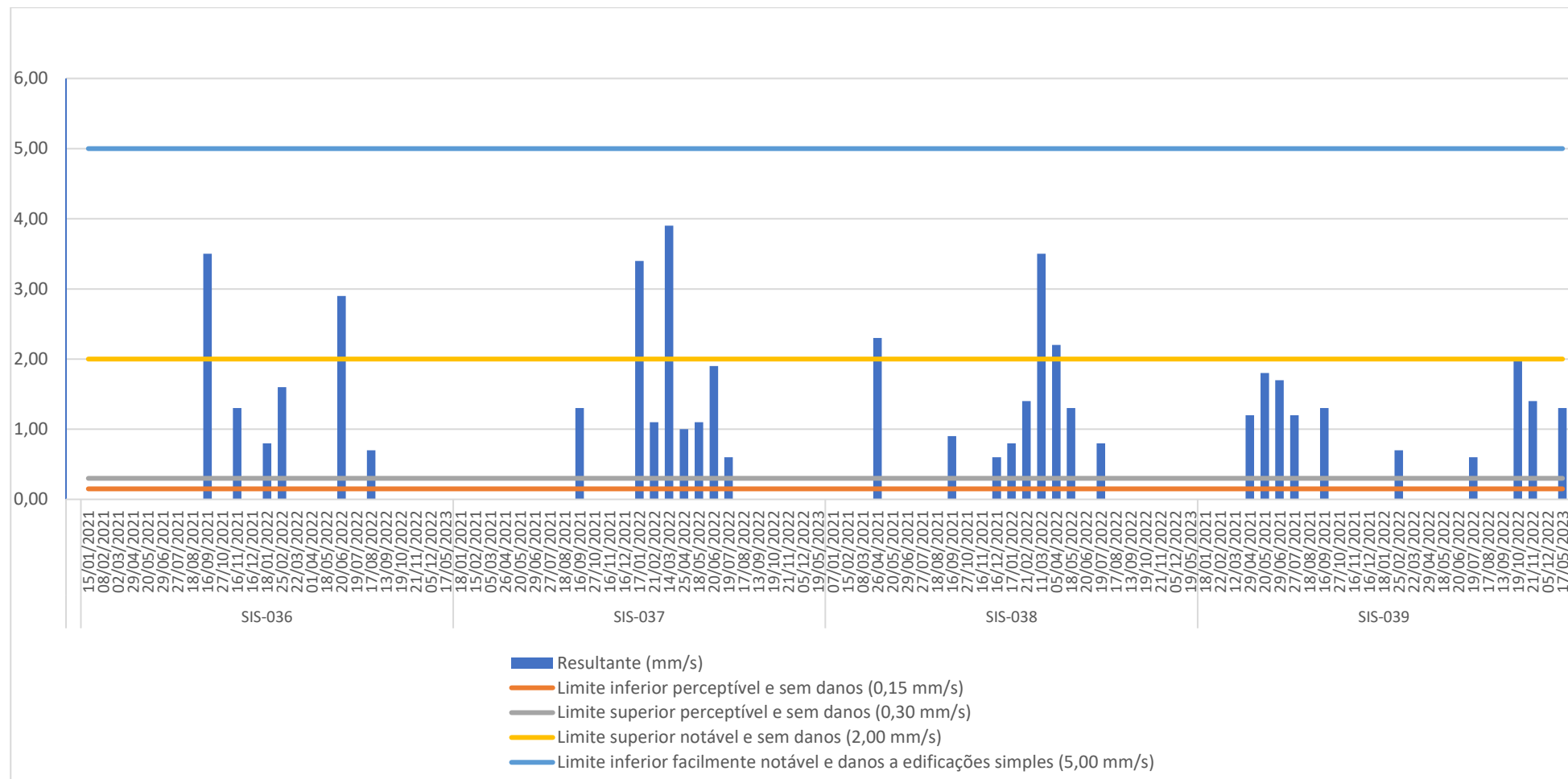


Figura 14. Resultados de vibração, considerando a escala de Whiffin & Leonard (1971), 2023.

6.1.4. Geologia

6.1.4.1. Geologia Regional

As Áreas Diretamente Afetadas, de Influência Direta e Área de Estudo do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo estão localizadas no centro-sul do estado de Minas Gerais, na região do Quadrilátero Ferrífero (QF), conforme definido por Dorr (1969), que abrange aproximadamente 7.000 km² e representa uma região de notável interesse econômico devido à presença de depósitos de grande tonelagem e de classe mundial, ilustradas por uma faixa em preto na **Figura 15**, como uma das unidades do Supergrupo Minas.

Em virtude dessa riqueza e de sua marcante complexidade geológica, o Quadrilátero Ferrífero é reconhecido como uma das regiões mais investigadas e estudadas no contexto geológico brasileiro (ALKMIN, 2004). As sequências que compõem o contexto do QF se encontram ainda em revisão e os estudos mais recentes, Endo *et al.* (2019), consolidaram as seguintes subdivisões: Complexos Metamórficos (ortognaisses); Supergrupo Rio das Velhas (rochas metavulcânicas, máfica-ultramáficas e félsicas, metavulcanossedimentar química, metavulcanoclásticas e metassedimentar clástica); 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).

Na **Figura 16** está ilustrada a coluna estratigráfica regional, ressaltando-se que a mesma não reflete a interpretação mais recente das sequências geológicas (Endo *et al.*, 2019), principalmente no que se refere ao Supergrupo Estrada Real, individualizado a partir de unidades geológicas dos grupos Sabará e Itacolomi.

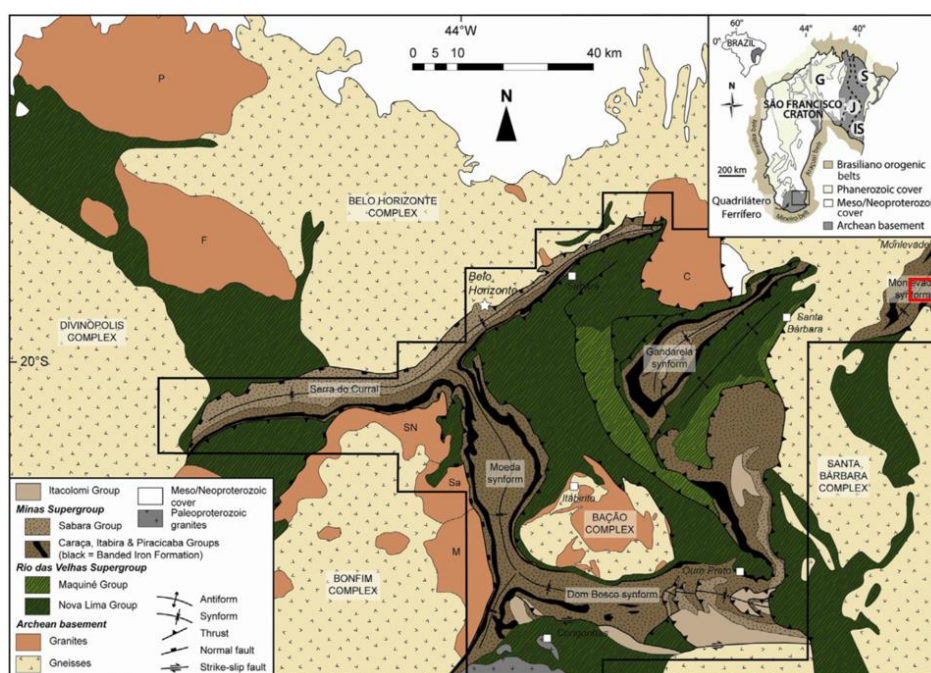


Figura 15. Geologia Regional da província mineral Quadrilátero Ferrífero com a localização da área de estudo em vermelho, a leste da figura (Modificado de Farina *et al.* 2016 *apud* DF+, 2023), 2023.

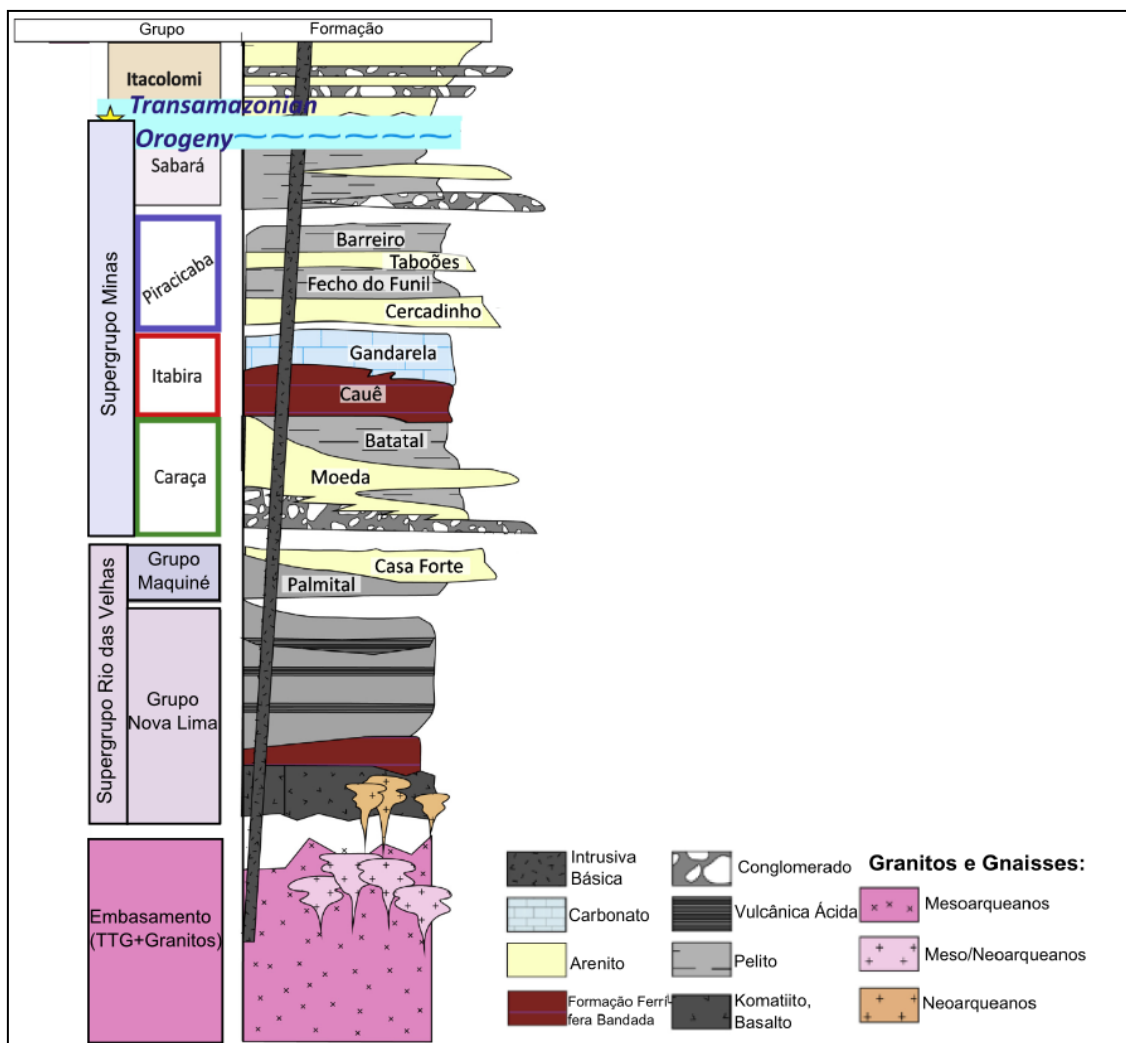


Figura 16. Estratigrafia Regional (MARTÍNEZ DOPICO *et al.* 2017), 2024.

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 Complexo Santa Bárbara;
- do Supergrupo Rio das Velhas com os litotipos do Grupo Nova Lima Indiviso;
- do Supergrupo Minas, contendo rochas da Formação Moeda e Formação Batatal, do Grupo Caraça, Formação Cauê, do Grupo Itabira; Formação Cercadinho do Grupo Piracicaba;
- ocorrências da Formação Saramenha do Grupo Sabará (Supergrupo Estrada Real, segundo Endo *et al.*, 2019);
- Suíte Borrachudos;
- e coberturas recentes ao longo da Área de Estudo (AE).

O empilhamento estratigráfico das unidades dentro da AE pode ser observado na **Figura 17**.

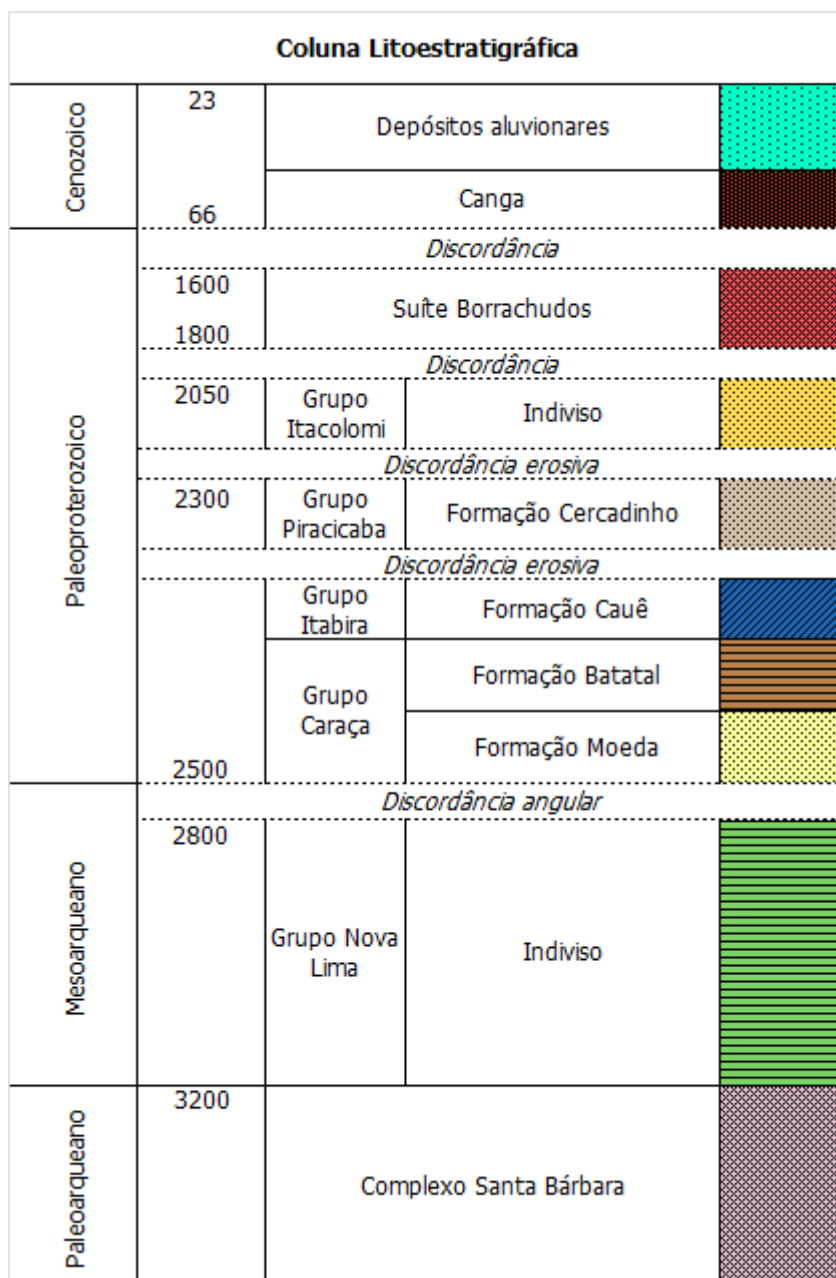


Figura 17. Coluna litoestratigráfica da Área de Estudo, 2024

6.1.4.2. **Geologia Local**

6.1.4.2.1. *Empilhamento Drenado Vale das Cobras*

Segundo as definições de Endo et al. (2019), no contexto da Área Diretamente Afetada as unidades estão dispostas geologicamente em faixas alongadas de direção aproximada NE-SW, com a Suíte Borrachudos na porção central, compondo em quase a totalidade o substrato do Empilhamento Drenado Vale das Cobras (EDVC), com a Formação Cercadinho compondo grande parte da microbacia do córrego das Cobras a montante e uma pequena porção na faixa leste da ADA, logo a jusante da estrutura. Tem-se, ainda: rochas pertencentes ao Grupo Nova Lima Indiviso; rochas do Grupo Itabira, representadas pela Formação Cauê; e rochas do Grupo Itacolomi Indiviso.

O Grupo Nova Lima compõe uma sucessão de rochas sedimentares e vulcânicas intercaladas, submetidas a fortes deformações, cisalhantes e a ação hidrotermal. A unidade abriga os depósitos auríferos de Morro Velho da rocha "Lapa Seca" (quartzo-ankerita xisto). As litofácies que compõem a porção Indivisa do referido grupo são constituídas de filitos terrígenos, quartzo-clorita-xistos, carbonato-quartzo-clorita-xisto, quartzitos, metagrauvacas, metaconglomerados, metavulcânicas félsicas, metaultramáficas, metamáficas tholeiíticas, metabasaltos komatiíticos e formações ferríferas bandadas (ENDO *et al.*, 2019).

A Formação Cercadinho compreende um pacote de rochas metassedimentares marinhas com os litotipos presentes definidos por predominância de quartzitos ferruginosos, filitos prateados e, subordinadamente, xistos róseos e sericíticos, mármore dolomíticos e metaconglomerados.

Já o Grupo Itacolomi, pertencente ao Supergrupo Estrada Real, predominantemente, consiste de quartzitos com estratificação cruzada acanalada, marcada por trilhas de óxido de ferro, metaconglomerados com seixos, calhaus e raramente matacões de veios de quartzo, quartzito, itabirito, filito e granito (ENDO *et al.*, 2019).

A Suíte Borrachudos possui direção preferencial NE-SW, que geralmente se apresenta com espesso manto de alteração. Compreendem litotipos bastante homogêneos de granitos acinzentados a rosas em rocha sã e amarelados quando alterados, de granulação grossa a média. São em sua maioria sienogranitos e possuem três fácies principais compostas por anfibólio-granito, biotita-anfibólio-granito e, de forma mais expressiva, biotita-granito (FERNANDES *et al.*, 1994), sendo que, podem ser constatados ainda *augen* gnaisses, metamonzogranitos e metasienogranitos (ENDO *et al.*, 2019).

Segundo a DF+ (2023), a seção geológico-geotécnica típica do empilhamento drenado até o material da fundação e todas as unidades constituintes são representadas, geralmente, por variações de granitoides da Suíte Borrachudos sobrepostos ou intercalados por variações de mica-xistos e quartzitos do Grupo Piracicaba. Tem-se ainda as coberturas fanerozoicas de alúvios, colúvios, elúvios, cangas e depósitos de tálus, distribuídas de maneira heterogênea nos domínios do ED Vale das Cobras (**Figura 18**).

Os granitoides da Suíte Borrachudos, no contexto da ADA, se apresentam em quatro variedades sendo: em rocha sã, quartzo-feldspática de granulação média a grossa; com ocorrência de biotita orientada segundo a foliação penetrativa, porém sem bandamento gnáissico e pouco fraturado; moderadamente alterado; alterado; e, o respectivo saprólito, com cores rosadas a avermelhadas, aspecto mosqueado, textura sedosa e forte presença de silte, devido à existência de caulim, bem como, presença de fragmentos de quartzo leitoso e de biotita.

Seguindo o empilhamento estratigráfico, o Grupo Piracicaba possui duas litofácies distintas nas delimitações da ADA, contendo mica xistos e seus produtos de alteração, intercalados a quartzitos e os correspondentes níveis intemperizados.

Os micaxistos se expressam na ADA com cinco variedades, desde a rocha sã cinza esverdeada, com mineralogia essencial de quartzo, muscovita e minerais acessórios de granadas indeformadas, até variedades de rochas semi-intemperizadas de cor branca e rocha sã de cor prateada (**Foto 1 e Foto 2**).

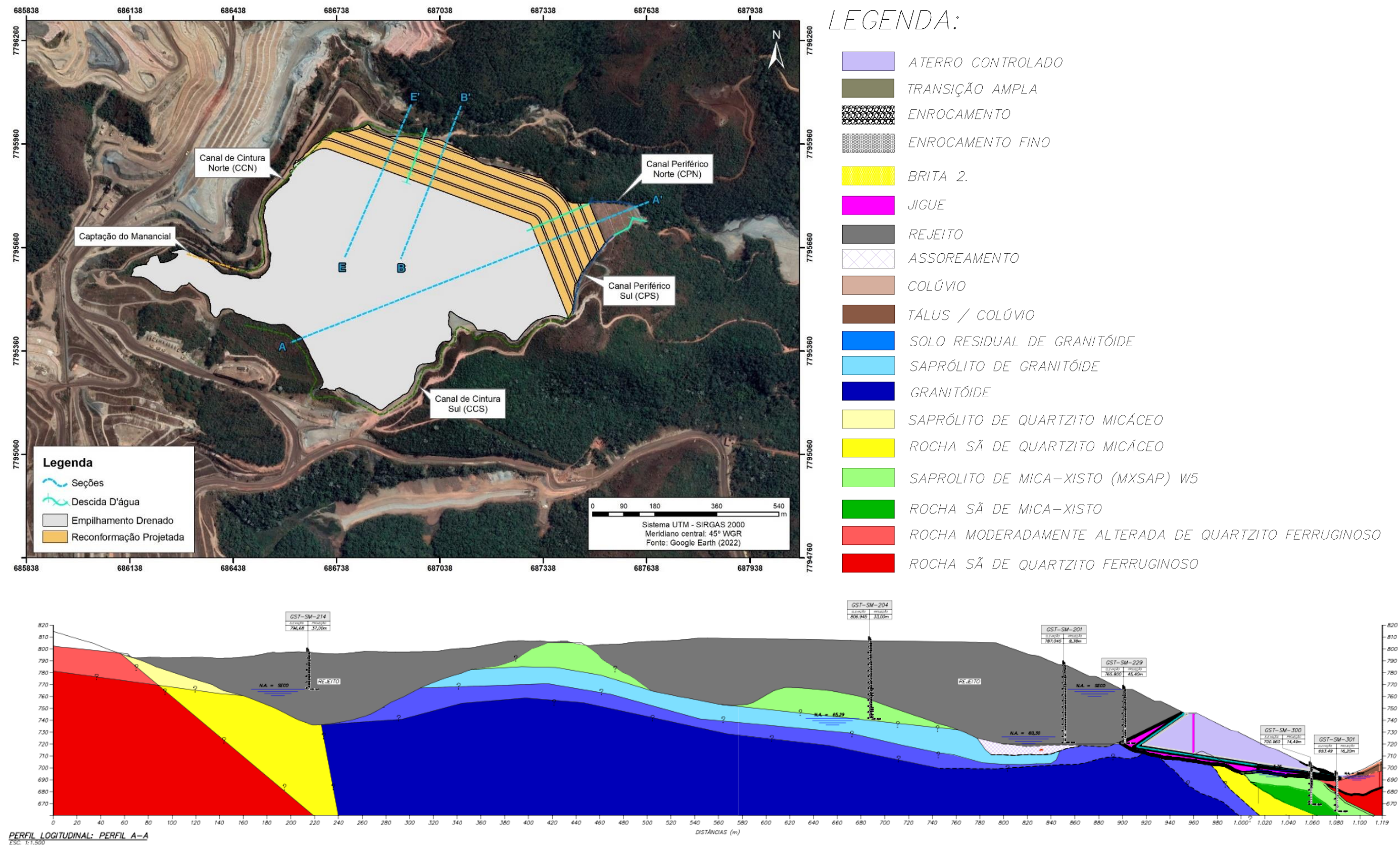
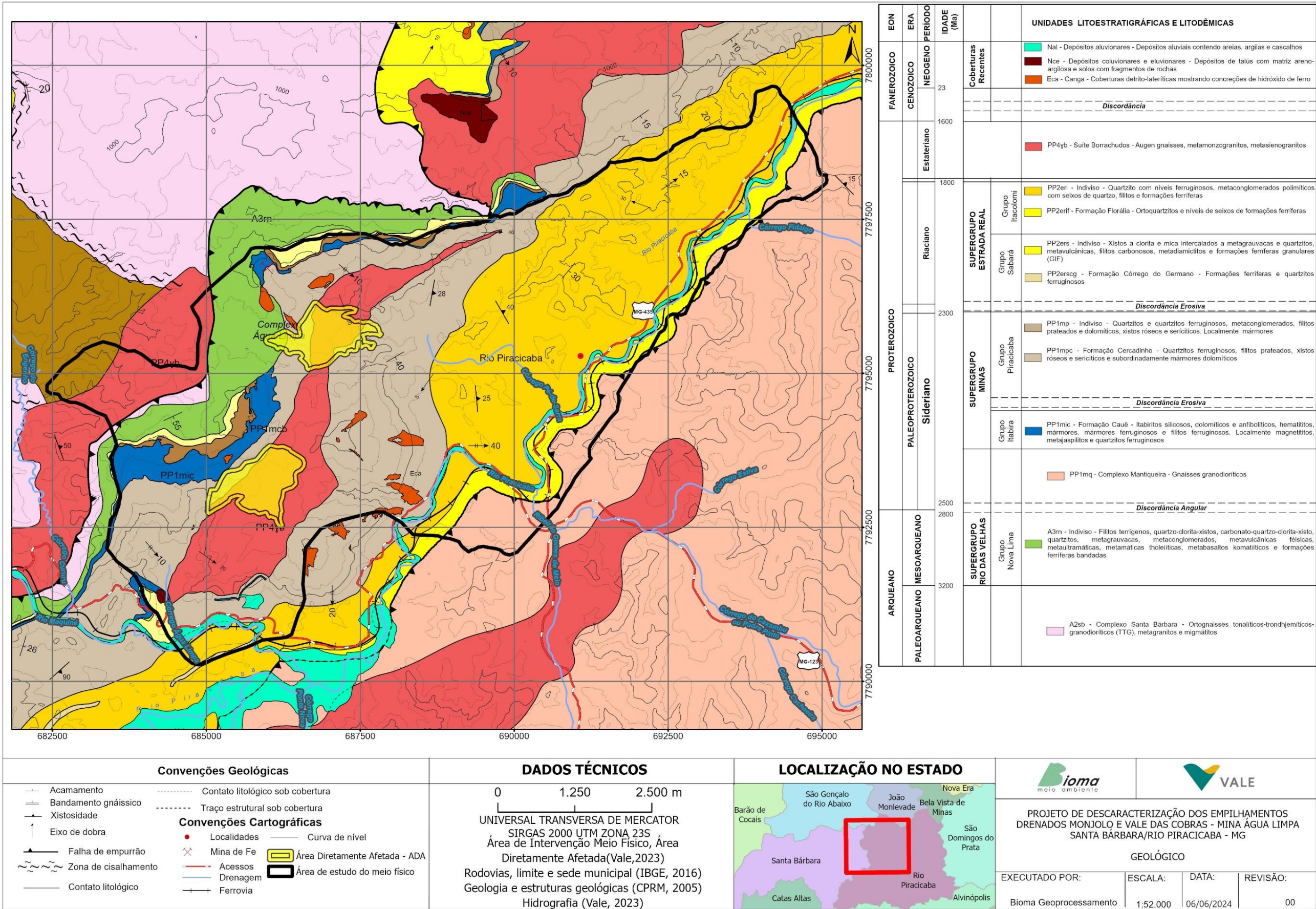


Figura 18. Seção geológico-geotécnica A-A' contendo os litotipos presentes e sua disposição estratigráfica na ADA. Fonte: DF+, 2023.



Mapa 5. Geologia da ADA dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo. Fonte: Bioma, 2024.



Foto 1. Xistos são de cor prateada, com mineralogia essencial de quartzo e muscovita. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 2. Xistos intemperizados, de cor bege-esverdeada, granulação grossa, composto por quartzo, muscovita e sericita. Fonte: Bioma, 2023.

Esta unidade se apresenta moderadamente alterada a alterada, com aspecto cinza esverdeado, ainda com características semelhantes às da rocha sã. O respectivo saprólito xistoso possui coloração branca a avermelhado e é composto por material siltiloso micáceo com aspecto sedoso, com presença de foliações reliquias provenientes das micas e intercalações de veios de quartzo e quartzitos (**Foto 3**). Adicionalmente há presença de solo residual de mica xisto que é formado por material silto-arenoso, compacto, marrom claro a rosado com presença de fragmentos fração areia fina a muito fina de mica e quartzo esférico anguloso, de forma que, devido ao grau de alteração, não é possível observar estruturação reliquiar (**Foto 4**).

Os quartzitos ferruginosos em rocha sã exibem quartzos de granulometria fina a média e possuem matriz ferruginosa disseminada ou intercalada em estratos quartzosos e ferruginosos, com foliação parcial incipiente. Também se expressam nas variedades moderadamente alteradas com coloração parcialmente oxidada e com presença de minerais máficos ferruginosos, parcialmente magnéticos, além de possuírem foliação e planos de fraturas rugosas e planas, oblíquas à xistosidade principal.

É possível verificar ainda uma variação areno-siltosa de cores avermelhadas ocreas correspondentes ao saprólito de quartzito ferruginoso (**Foto 5**). Ainda ocorre quartzito de coloração branca e capa de intemperismo preta, granulometria areia grossa, estratificado e cortado por veios de quartzo (**Foto 6**).



Foto 3. Saprólito xistoso de coloração branca a avermelhada, com intercalações de veios de quartzo e quartzitos. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 4. Xisto intemperizado, de cor bege-esverdeada, granulação grossa, composto por quartzo, muscovita e sericita. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 5. Rocha de matriz ferruginosa, disseminada ou intercalada em estratos quartzosos e ferruginosos, com foliação parcial incipiente. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 6. Quartzito de coloração branca e capa de intemperismo preta, granulometria areia grossa, estratificado e cortado por veios de quartzo. Fonte: Bioma, 2023.

Os quartzitos micáceos variam entre rocha sã, rocha alterada e saprólito, de forma que, em rocha sã demonstram coloração bege acinzentado, com granulação média a grossa e mineralogia predominante composta por quartzo e minerais micáceos gerando foliação incipiente. Quando alterada representa intercalações de mica-quartzo xistos e quartzitos, de coloração cinza-esbranquiçada e marca contatos graduais com o seu respectivo saprólito. O saprólito é constituído por material silto-arenoso geralmente acinzentado, podendo apresentar tons rosados, sendo que, apresentam foliação reliquiar e fragmentos de quartzo, quartzito e micaxistos. O chamado minério de hematita ocorre em porções ao redor da ADA e trata-se de uma rocha compacta composta por mais de 80% de hematita, também na variedade especularita (**Foto 7**).

Recobrimo as unidades geológicas tem-se uma variedade de oito coberturas recentes, sendo a canga estrutural semi-compactada como produto de laterização de rochas ferruginosas exibindo cor avermelhada ocre e exibindo ainda estruturas vesiculares e amigdaloides, o solo laterítico avermelhado e terroso de fragmentos lateríticos friáveis a compactos, a laterita detrítica com grãos ferruginosos de granulometria argilosa até seixo cimentados durante a supergênese (**Foto 7** e **Foto 8**). Os eluvios/colúvios apresentam solos

rosa-avermelhados essencialmente silto-argilosos com ocorrência de pedregulhos de quartzo angulosos frequentes. O colúvio se diferencia da camada anterior pelo menor grau de coesão e apresenta matriz silto-argilosa com fragmentos angulosos. O Tálus/Colúvio é constituído por grandes e robustos blocos angulosos de rocha rolados imersos em uma massa de solo localizado na porção de jusante da ombreira esquerda e ao longo da lateral direita da drenagem que sai após o dreno de fundo. O material de aluvião é composto por areia fina a média com grãos arredondados escuros de composição ferruginosa.



Foto 7. Minério de hematita. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 8. Produto de laterização de rochas ferruginosas exibindo cor avermelhada ocre. Fonte: Bioma, 2023.

6.1.4.2.2. *Empilhamento Drenado Monjolo*

Segundo as definições de Endo *et al.* (2019), no contexto da Área Diretamente Afetada, as unidades estão dispostas geologicamente em faixas alongadas de direção aproximada NE-SW, com a Suíte Borrachudos na porção central compondo a maioria do substrato do Empilhamento Drenado Monjolo (EDMJ) e grande parte do acesso operacional a jusante. A porção a jusante da estrutura, na faixa sul do acesso operacional da ADA e na borda noroeste da estrutura, ocorrendo como substrato de parte do contrapilhamento projetado, está posicionada sobre a Formação Cercadinho (**Mapa 5**).

A Formação Cercadinho, conforme fotos apresentadas a seguir, compreende um pacote de rochas metassedimentares marinhas com os litotipos presentes definidos por predominância de quartzitos ferruginosos, formações ferríferas, filitos prateados e, subordinadamente, xistos róseos e sericíticos, mármores dolomíticos e metaconglomerados.



Foto 9. Formação Ferrífera intemperizada, com os níveis quartzosos de cor bege alaranjada e os ferruginosos de cor escura. Fonte: Bioma, 2024.



Foto 10. Afloramento de xisto de cor rosa, intemperizado, friável, granulação grossa, composto basicamente por quartzo e mica. Contato mais à direita do afloramento com itabirito intemperizado. Fonte: Bioma, 2024.



Foto 11. Rocha de intemperismo de cor preta. Por dentro, a cor varia de prateada a bege, friável, Itabirito intemperizado e por vezes hematítico. Fonte: Bioma, 2024.



Foto 12. Rocha de coloração variando de marrom a bege, composta por quartzo, mica, óxidos de ferro, com granulação grossa, friável, coloração cinza em alguns níveis, com intercalação entre níveis ferruginosos e quartzosos. Fonte: Bioma, 2024.

A Suíte Borrachudos possui direção preferencial NE-SW, que geralmente se apresenta com espesso manto de alteração. Compreendem litotipos homogêneos de granitos acinzentados a rosas, em rocha sã e amarelados quando alterados, de granulação grossa a média. São, em sua maioria, sienogranitos e possuem três fácies principais compostas por anfibólio-granito, biotita-anfibólio-granito e, ocorrendo de forma mais expressiva, biotita-granito (FERNANDES *et al.*, 1994), sendo que podem ser constatados ainda *augen* gnaisses, metamonzogranitos e metasienogranitos ENDO *et al.*, 2019). As fotos abaixo representam a suíte Borrachudos nas proximidades da estrutura.



Foto 13. Granito-gnaiss coeso, com capa de intemperismo de cor escura e cor original branca, composta por quartzo, mica, feldspato e biotita. Fonte: Bioma, 2024.



Foto 14. Alto topográfico correspondente às rochas metaígneas da suíte borrachudos, que correspondem às rochas mais resistentes ao intemperismo da área. Fonte: Bioma, 2024.



Foto 15. Granito-gnaiss coeso, com capa de intemperismo de cor escura e cor original branca. Fonte: Bioma, 2024.



Foto 16. Granito-gnaiss coeso, correspondente à Suíte Borrachudos. Fonte: Bioma, 2024.

Segundo a DF+ (2023), a seção típica do EDMJ até o material da fundação consiste em rejeito, seguido por material rochoso indiviso, este último composto, principalmente, por gnaisses com seus produtos de alteração intercalados a granitos e xistos.

Além disso, foi verificado material de enrocamento e aterramento, posicionados no dique de partida do EDMJ (**Figura 19**).

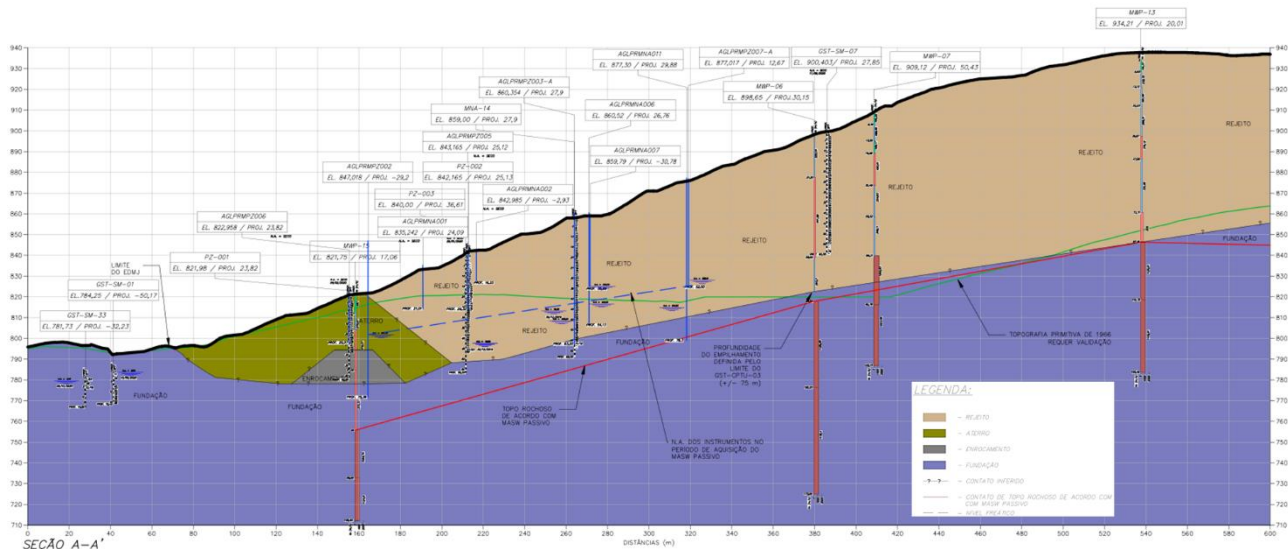


Figura 19. Seção Geológico-Geotécnica Conceitual A-A' para o Empilhamento Drenado Monjolo (Fonte: DF+, 2023).

6.1.5. Geomorfologia e Pedologia

6.1.5.1. Geomorfologia Regional

O Quadrilátero Ferrífero é unidade geomorfológica macro do território brasileiro que expressa, de forma contundente, o controle litoestrutural na esculturação das formas de relevo (CPRM, 2005). A área de estudo, segundo o IDE/SISEMA, apresenta relevo de domínio dos Crátons Neoproterozóicos do Quadrilátero Ferrífero, Unidade Serras do Quadrilátero Ferrífero, com estruturação convexa caracterizada por dissecação e formas de topo convexas.

Conforme descrito por Barbosa (1968), o Quadrilátero Ferrífero, cuja história de formação iniciou-se no Pré-Cambriano, corresponde a um bloco de estruturas geológicas, em seus quatro lados delimitados por serras, cuja sustentação está relacionada à ação da erosão diferencial, menos competente para atuar sobre cristas constituídas por quartzitos e itabiritos, correspondentes a serra do Curral ao norte, a serra do Ouro Branco a sul, a serra da Moeda a oeste e o conjunto formado pela serra do Caraça e a porção sul da serra do Espinhaço a leste.

Para Varajão (1991) o posicionamento altimétrico dos diversos níveis morfológicos é condicionado pelas características litológicas e estruturais da região. Este autor concluiu que "o Quadrilátero Ferrífero constitui um mosaico formado por províncias geomorfológicas ligadas diretamente às condições estruturais, nas quais variações na declividade das vertentes e, sobretudo, variações altimétricas se relacionam às variações litológicas".

Na região do Quadrilátero Ferrífero, a diversidade litológica e os variados arranjos estruturais proporcionam ampla variedade na conformação das vertentes (Tricart, 1961). Os quartzitos resistentes do Grupo Maquiné e Caraça e os itabiritos do Grupo Itabira geralmente resultam em vertentes com declividades íngremes, de até 70°, assumindo formas retilíneas nas escarpas ou levemente convexas a convexo-côncavas nos reversos

estruturais. Em contraste, os mantos de intemperismo sobre granito-gnaisses moldam colinas rebaixadas com vertentes fortemente convexo-côncavas a inclinadas a 25°-30°. Vertentes sobre xistos, menos resistentes ao intemperismo, assemelham-se às anteriores, enquanto aquelas sobre filitos podem apresentar declividades mais acentuadas devido à dificuldade de infiltração da água.

Destaca-se na geomorfologia regional a presença de rampas de colúvio ou "complexos de rampas", notavelmente desenvolvidos no sopé de vertentes dominadas por cristas de itabiritos. Isso é evidente no piemonte oriental da serra da Moeda, entre a crista e a rodovia BR-040, e no piemonte ocidental da serra do Itabirito, nas proximidades do Pico do Itabirito. Tais rampas resultam de fases sucessivas de formação de colúvios, envolvendo retrabalhamentos parciais de materiais mais antigos e o remodelamento da topografia, refletindo diferentes episódios de erosão e sedimentação na evolução regional (Tricart, 1961).

6.1.5.2. Geomorfologia Local

Observando a folha topográfica provisória SE.23-W-IV-4-SO – Rio Piracicaba (DNPM/MME, 1962), na escala 1:25.000, destaca-se para a região da mina de Água Limpa: a serra do Elefante, o morro da Água Limpa, morro da Jacutinga, o pico do Cururu e a serra do Morro Agudo, onde ocorre a maior elevação de 1.175 m. O talvegue de menor cota altimétrica de 650 m, está na calha do rio Piracicaba, nível de base hidrológico regional.

Na região de estudo, as altitudes variam entre 600 e 1.300m e originalmente é classificada como uma região de domínio montanhoso (**Mapa 6**). O relevo regional tem sido caracterizado como fruto da estrutura geológica e de processos de erosão diferencial. Os quartzitos e itabiritos constituem as rochas mais resistentes; os xistos e filitos de resistência mediana; e, granito-gnaisses de resistência baixa. Esta denudação diferencial é verificada em termos de processos físicos, sendo a diferença de altitude em relação ao nível de base, bem como, a área da bacia hidrográfica, variáveis que influem na intensidade da denudação no Quadrilátero Ferrífero.

O **Mapa 7** apresenta o contexto hipsométrico da área de estudo, na qual se verifica a predominância de altitudes entre 600 e 900 m de altitude, principalmente, com ocorrências pontuais de regiões acima dos 1.000m ao norte e à oeste da AE. Segundo classificação estabelecida por Santos *et al.* (2018), a AE possui: predomínio de relevo plano a suave (declividade entre 0% a 8%); relevo ondulado (declividade entre 8% a 20%); e, as classes, forte ondulado (declividade entre 20% a 45%), montanhoso (declividade entre 20% a 45%) e escarpado (> 75%), ocorrendo de forma pontual, principalmente nas porções sul e norte (**Mapa 8**).

Cabe ressaltar que a geomorfologia local e de algumas áreas adjacentes, se encontra severamente alterada pelas atividades minerárias da mina de Água Limpa. No local já foram realizados cortes, aterros, escavações e deposição de material estéril, o que difere a geomorfologia da ADA das áreas ainda inalteradas morfológicamente, conforme observado nas fotos a seguir (**Foto 17, Foto 18, Foto 19 e Foto 20**).

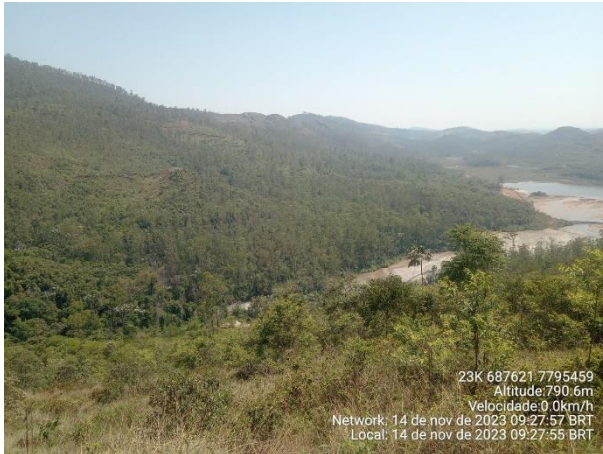


Foto 17. Geomorfologia no entorno da estrutura EDVC, com as áreas de maior altitude ainda inalteradas pela atividade minerária. Foto: Bioma, 2023.



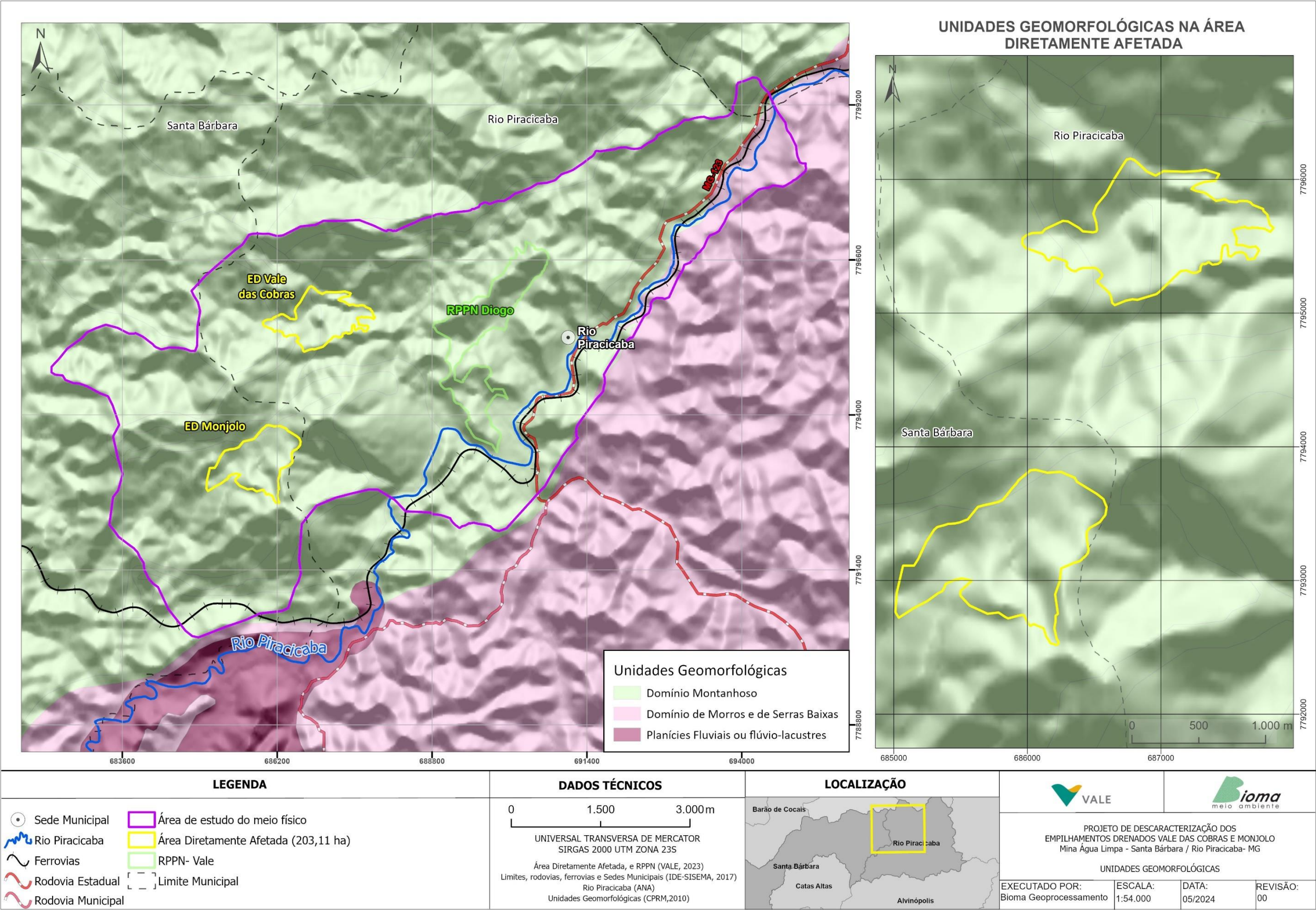
Foto 18. Geomorfologia no entorno da estrutura EDVC, com as áreas de maior altitude ainda inalteradas pela atividade minerária. Foto: Bioma, 2023.



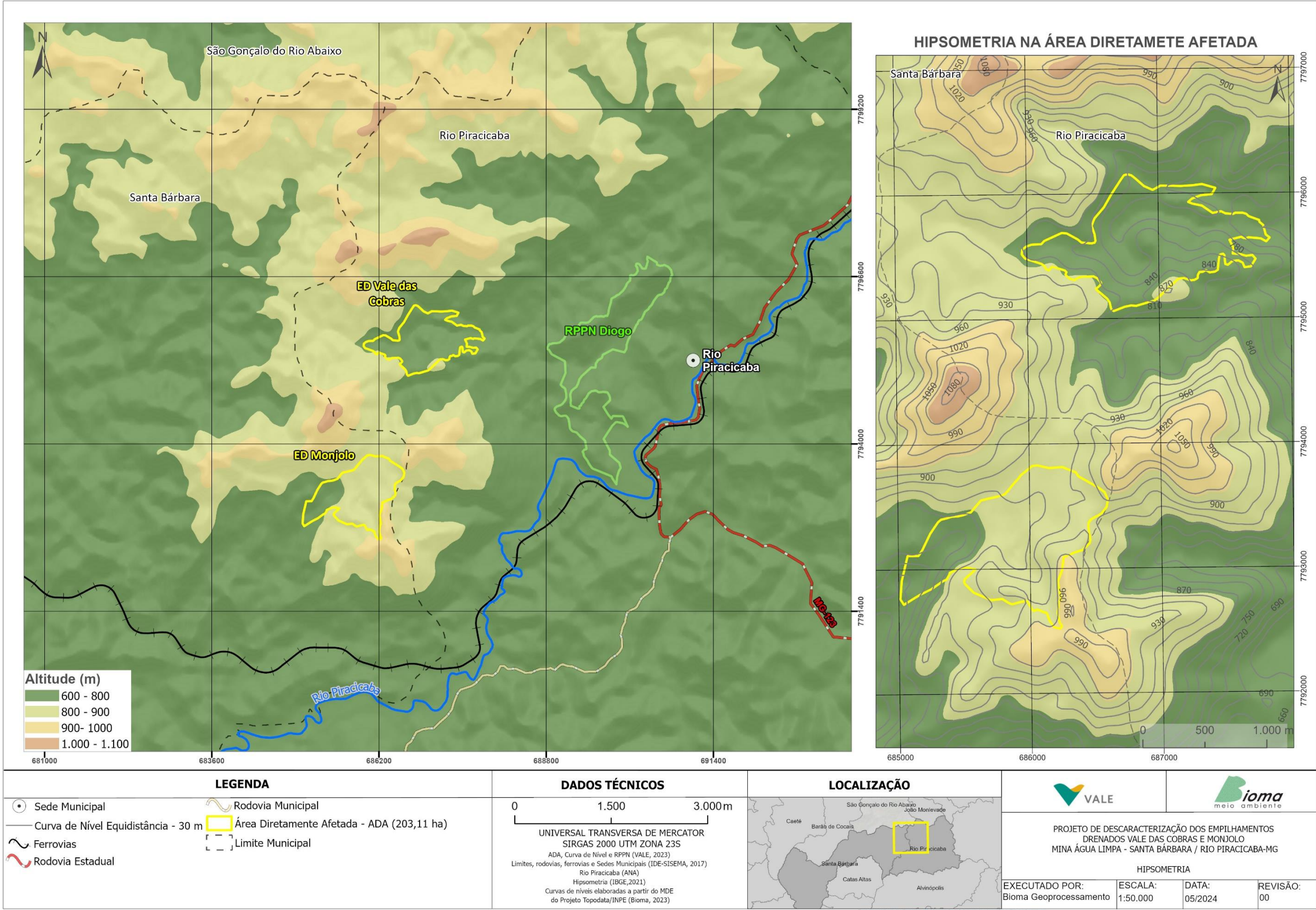
Foto 19. Geomorfologia local, com foco no EDVC, que modifica a original. Foto: Bioma, 2023.



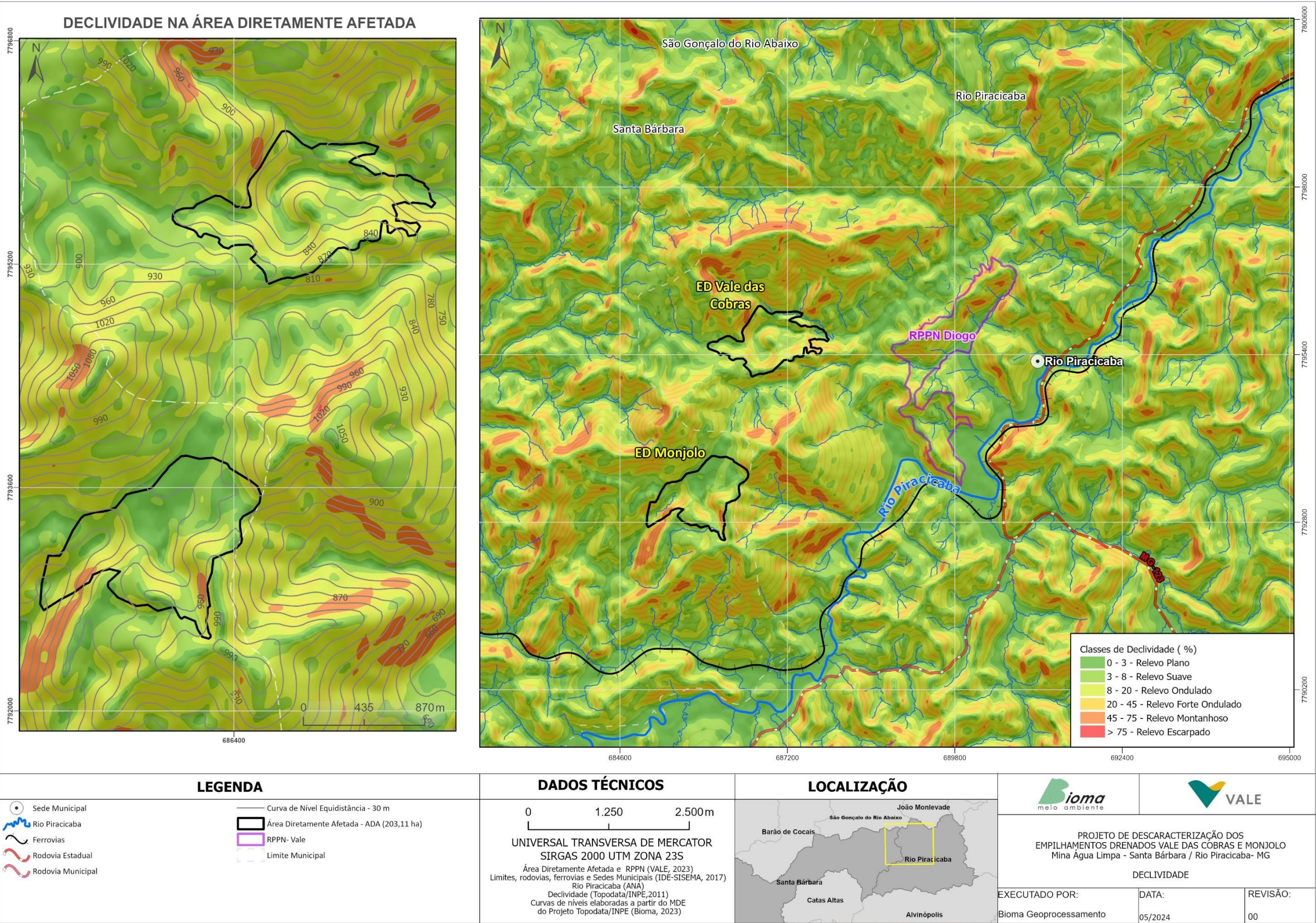
Foto 20. Paisagem local da região de altitude mais elevada da área. Foto: Bioma, 2023.



Mapa 6. Unidades geomorfológicas da região do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo. Fonte: Bioma, 2024.



Mapa 7. Contexto hipsométrico da região do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo. Fonte: Bioma, 2024.



Mapa 8. Declividade da região do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo. Fonte: Bioma, 2024.

6.1.5.3. Pedologia

Predominam na área de estudo (AE), conforme mapeamento de solos disponível no IBGE (IBGE, 2021), os Cambissolos Háplicos Perféricos (Cxj) e os Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos (PVAd), conforme demonstrado no **Mapa 9**.

Os Cambissolos Háplico Perféricos são definidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), como solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura), com a particularidade de ser rico em óxidos de ferro, como hematita e magnetita.

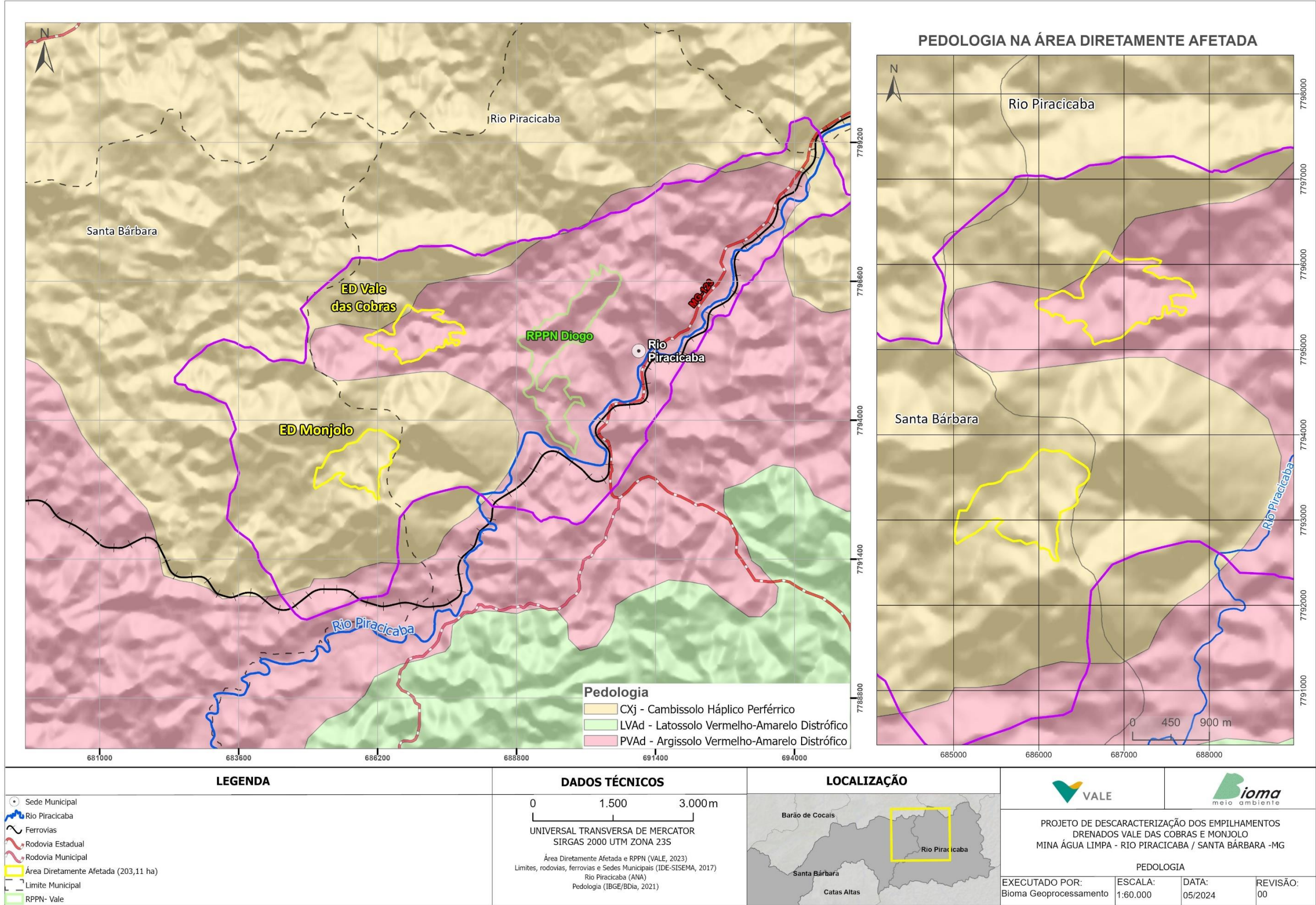
Segundo Zaroni e Santos (2021), estes solos são pouco desenvolvidos e, ainda, apresentam características do material originário (rocha) evidenciado pela presença de minerais primários. São definidos pela presença de horizonte diagnóstico B incipiente (pouco desenvolvimento estrutural) apresentando baixa saturação por bases e baixa a alta atividade da argila. Variam de solos pouco profundos a profundos, sendo normalmente de baixa permeabilidade e aptidão agrícola.

São identificados e normalmente associados a áreas de relevos muito movimentados (ondulados a montanhosos). Em relação ao potencial e limitações ao uso agrícola, os Cambissolos associados a áreas declivosas são mais rasos e apresentam fortes limitações e alta suscetibilidade aos processos erosivos (Embrapa, 2006).

Os Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos são definidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), como solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, com cores vermelho-amarelas e textura argilosa, abaixo de um horizonte A ou E de cores mais claras e textura arenosa ou média. Grande parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo nos horizontes subjacentes. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual.

A associação do gradiente topográfico e dos solos da região à geomorfologia, com paisagens com vales encaixados, profundos e serras com topo convexo alongadas, permite uma maior incisão da drenagem e, consequentemente, maior susceptibilidade erosiva, promovendo ravinamentos e movimentos de massa. A drenagem superficial é notadamente afetada pela diferença na composição litológica, onde rochas mais resistentes interagem de maneira distinta em relação às menos competentes, resultando em processos de erosão diferencial. O escoamento superficial típico da área é do tipo concentrado e se manifesta quando o volume de água se acumula, originando sulcos bem definidos e com uma velocidade superior à de um escoamento difuso.

Cabe ressaltar que a pedologia da AE e de algumas áreas adjacentes, se encontram severamente alteradas pelas atividades minerárias da mina de Água Limpa. No local já foram realizados cortes, aterros, escavações e deposição de material estéril, o que difere a pedologia da ADA das áreas ainda inalteradas ao redor da mina. O **Mapa 9** apresenta a pedologia local no contexto da área de estudo do meio físico (AE) e da ADA.



Mapa 9. Mapa pedológico da região do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo. Fonte: Bioma, 2024.

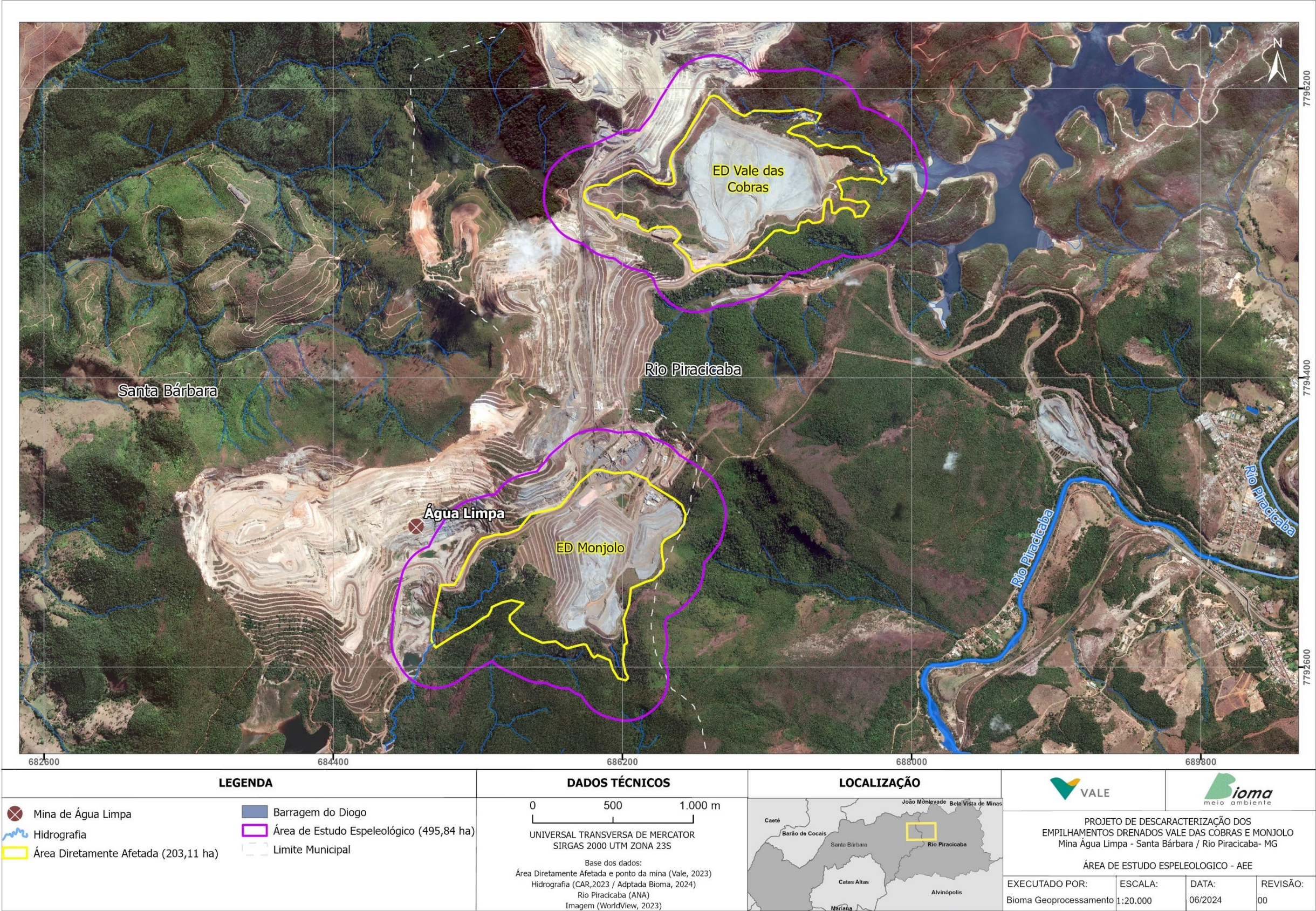
6.1.6. Espeleologia

6.1.6.1. Introdução

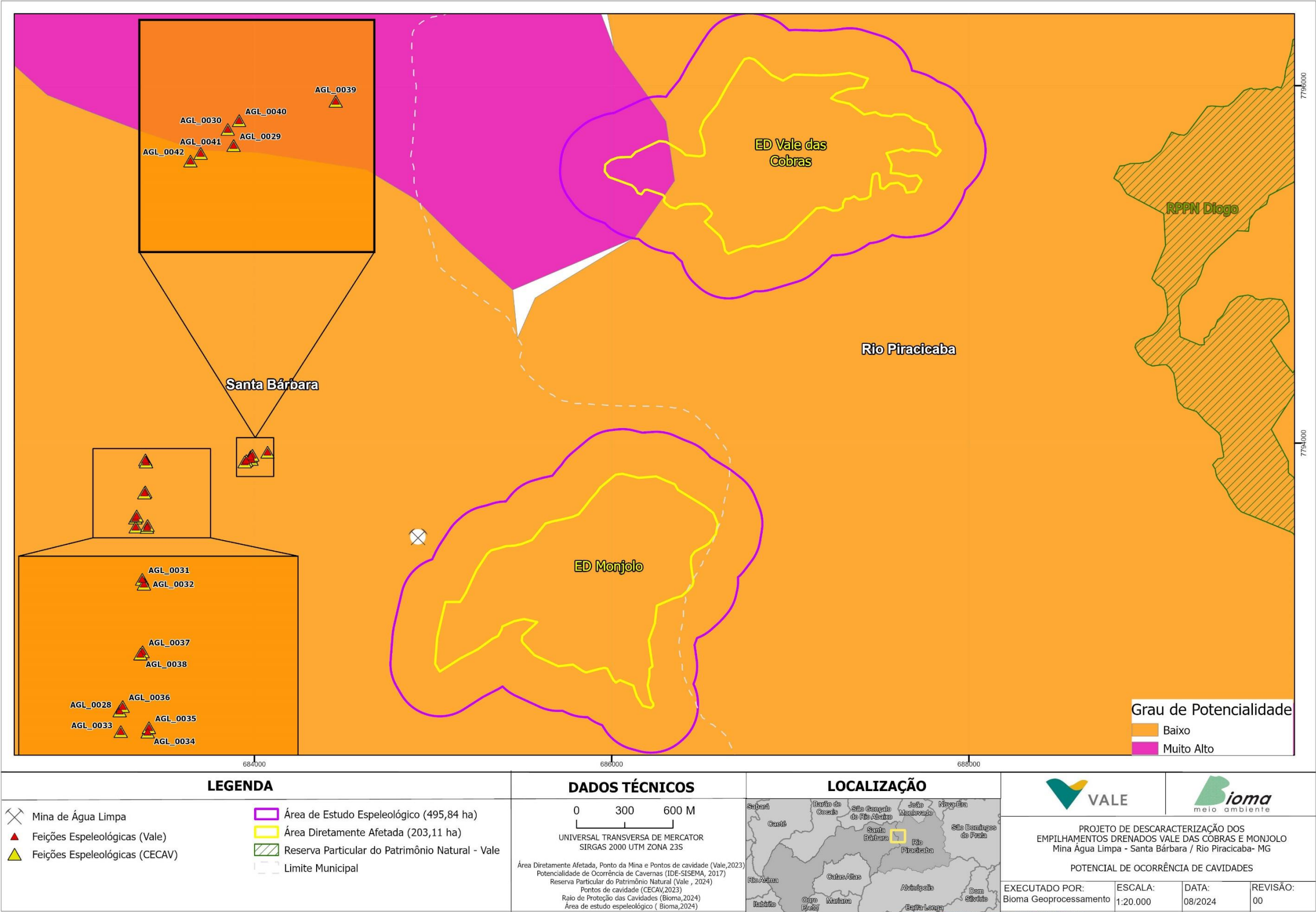
Este Estudo de Prospecção Espeleológica é relativo a empreendimento passível de licenciamento ambiental, referente ao Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo, localizados, respectivamente, nos municípios de Rio Piracicaba e Santa Bárbara, em Minas Gerais (**Mapa 10**). Tais estruturas pertencem à mina de Água Limpa, integrante do Complexo Minas Centrais, da Vale S.A.

A Área de Estudo Espeleológico (AEE) para subsidiar o recorrido acima, corresponde à soma da ADA com um *buffer* de proteção de 250 m em redor da mesma, totalizando, portanto, 495,84 hectares, sendo assim 203,11 ha de ADA e 292,73 ha de *buffer*.

Como pode ser observado no **Mapa 10**, a ADA não é contígua e as estruturas da mesma estão distanciadas entre si, apresentando características distintas no contexto do enquadramento espeleológico, sobretudo no quesito potencial de ocorrência de cavidades, sendo que potencial muito alto ou alto ocorre tão somente no EDVC, como pode ser observado no **Mapa 11**.



Mapa 10. Área de Estudo Espeleológico do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras a norte e Monjolo a sul, localizados na mina de Água Limpa, municípios de Rio Piracicaba e Santa Bárbara, respectivamente, em Minas Gerais. Bioma, 2024.



Mapa 11. Potencial de ocorrência de cavidades para os Empilamentos Drenados Vale das Cobras a norte e Monjolo a sul, segundo IDE/SISEMA baseado em Jansen *et al.* (2012). Bioma, 2024.

6.1.6.2. Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos utilizados para a elaboração do presente estudo consideraram os materiais e métodos descritos nas normas vigentes referentes a legislação espeleológica:

- a) Instrução de Serviço nº 8/2017 da SEMAD, que estabelece os processos para o licenciamento ambiental e a metodologia para os estudos de prospecção e classificação de cavidades em Minas Gerais;
- b) Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente nº 2/2017, que constitui padrões normativos para a classificação da relevância das cavidades naturais e do patrimônio espeleológico brasileiro;
- c) Decreto nº: 6.640/2008, alterado pelo Decreto nº 10.935/2022, que determina e regulamenta sobre a proteção das cavidades naturais no território brasileiro e revoga o Decreto nº 99.556/1990;
- d) Resolução CONAMA nº 347/2004, que estabelece normas de proteção na área de influência de cavidades, constitui o Cadastro Nacional das Informações Espeleológicas (CANIE) e institui outros procedimentos para o processual de licenciamento ambiental.

A metodologia seguiu uma ordem cronológica, compreendendo:

- 1) Revisão bibliográfica das normatizações e procedimentos supracitados nos quatro tópicos anteriores;
- 2) Levantamento de dados bibliográficos e cartográficos da fisiografia da paisagem: espeleologia, geologia, geomorfologia e pedologia;
- 3) Avaliação do potencial de ocorrência de cavidades baseado nos dados colhidos na etapa anterior e a base oficial do IDE/SISEMA, conforme Jansen, *et. al*/ (2012), também seguido pelo CECav/ICMBio;
- 4) Levantamentos prospectivos em campo, com caminharmento nas áreas alvos definidas na etapa anterior, utilizando de GPS Garmin e Alpine Quest e Time Stamp para arquivo fotográfico;
- 5) Mapeamento espeleométrico de todas as feições detectadas em campo, utilizando a metodologia da *British Cave Research Association* (BCRA), em escala 4C, adotando a bússola Brunton com clinômetro acoplado para tomada dos azimutes e inclinação, fita métrica de metal e trena eletrônica para medição das distâncias, escala gráfica Ifrao para as fotografias e planilha de Cadastro de Caverna em Campo;
- 6) Elaboração do relatório dos estudos realizados com digitalização das feições topografadas e descrição de parâmetros e atributos espeleológicos deparados.

O estudo de relevância patrimonial não foi realizado porque o estudo de bioespeleologia, por falta de autorização de coleta/investigação de fauna, já solicitada, não foi deferida (Conforme Anexo A) e pelo fato de não ter sido efetuado o estudo de arqueologia, que será tratado junto ao IPHAN em processo específico.

6.1.6.3. Resultados

6.1.6.3.1. Levantamentos bibliográficos e cartográficos

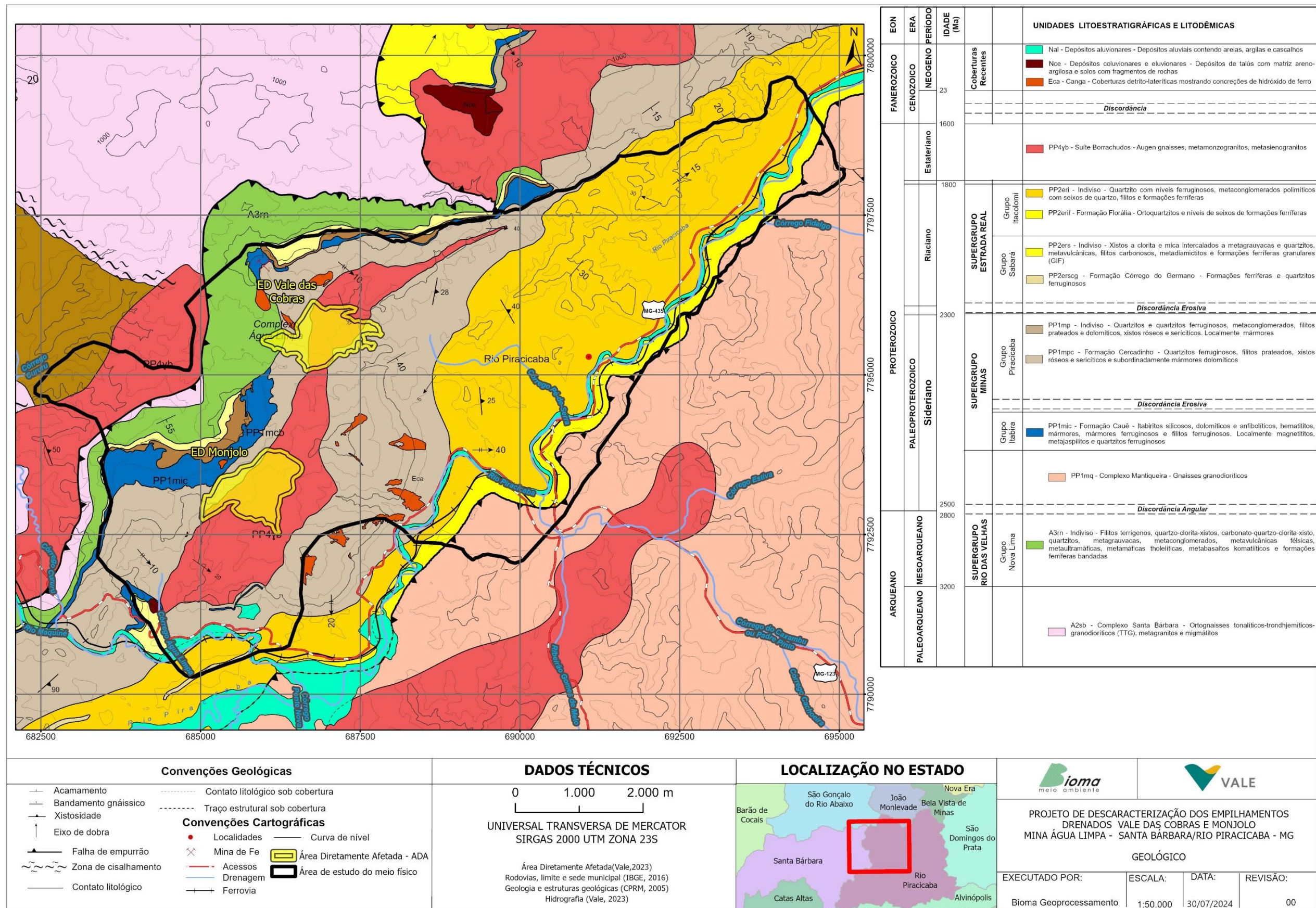
Os levantamentos bibliográficos e cartográficos revelaram para a fisiografia da paisagem da região de inserção dos projetos na Área de Estudo Espeleológico, que o **domínio geológico** apresenta os litotipos mostrados no Mapa 3, 'paralelamente' de noroeste para sudeste, segundo a Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM (2005) (**Mapa 12**), assim dispostos:

(PP1mic) - Formação Cauê (Grupo Itabira, Supergrupo Minas): itabiritos silicosos, anfibolíticos e dolomíticos, hematitos, mármore e mármore ferruginoso e filitos ferruginosos. Localmente magnetitos, metajaspelitos e quartzitos ferruginosos;

(A3rn) - Grupo Nova Lima Indiviso: compreendendo níveis metaconglomeráticos (na base), quartzitos maciços e sericíticos, sericita-quartzo xistos, metaconglomerados e filitos;

(PP1mpc) - Formação Cercadinho (Grupo Piracicaba, Supergrupo Minas): constitui um pacote de rochas metassedimentares marinhas com os litotipos presentes definidos por predominância de quartzitos ferruginosos, filitos prateados e, subordinadamente, xistos róseos e sericíticos, mármore dolomítico e metaconglomerados;

(PP4Yb) Suíte Borrachudos: que geralmente se apresenta com espesso manto de alteração na região, em grande exposição aflorado. Abrangem litotipos homogêneos de granitos acinzentados a rosas em rocha sã e amarelados quando modificados, de granulação grossa a média, que são em sua maioria sienogranitos, possuindo três fácies principais compostas por anfibólio-granito, biotita-anfibólio-granito e, ocorrendo de forma mais expressiva, biotita-granito (FERNANDES *et al.*, 1994), podendo ser ainda constatados augen gnaisses, metamonzogranitos, metasienogranitos (ENDO *et al.*, 2019).



Mapa 12. Geologia Regional para o Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo. Bioma, 2024.

A macro **compartimentação geomorfológica** da região da mina de Água Limpa, segundo a base IDE/SISEMA, é dos domínios dos Crátons Neoproterozóicos do Quadrilátero Ferrífero, unidade das serras homônimas aguçadas por dissecação homogênea ou diferencial.

Observando a folha topográfica provisória SE.23-W-IV-4-SO – Rio Piracicaba (DNPM/MME, 1962), na escala 1:25.000, destaca-se para a região da mina de Água Limpa: a serra do Elefante, o morro da Água Limpa, morro da Jacutinga, o pico do Cururu e a serra do Morro Agudo, onde ocorre a maior elevação de 1.175 m. O talvegue de menor cota altimétrica de 650 m, está na calha do rio Piracicaba, nível de base hidrológico regional.

Portanto, a estruturação geológica/tectônica, associada a alternâncias climáticas (TRICART, 1961), orientaram e exerceram um forte controle no processo de dissecação do relevo, no qual se sobressaem os alinhamentos de cristas e escarpas (Serras da Água Limpa, Elefante e Morro Agudo), com vales encaixados paralelos e as vertentes ravinadas. Nas porções de borda de leste e oeste, onde se encontra o embasamento cristalino há predominância de formas colinosas e vertentes convexas a poli-convexas de dissecação moderada a forte.

As nascentes dos cursos d'água que integram a rede de drenagem estão posicionadas nos flancos das serras da Água Limpa, Morro Agudo e Morro do Elefante, convergindo com direção geral oeste-leste ou noroeste-sudeste para o talvegue do rio Piracicaba. São drenagens que apresentam em seu conjunto nascentes com elevadas altimetrias e forte gradiente hidráulico em função dos desníveis acentuados da região. Os córregos: que formam a rede de drenagem local são Pé-de-Serra, Água Limpa, de Pântano, Canudo e Olaria.

Em termos do **mapeamento pedológico**, segundo o Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA), a área de estudo contém em seus domínios os CAMBISSOLOS e os ARGISSOLOS. Na Área Diretamente Afetada os solos que compõem o substrato são caracterizados por Cambissolos do tipo Háplico Perféricos (CXj).

Os Cambissolos compreendem os solos que estão em transformação e formação, constituídos por material mineral com heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, sendo que são rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho-escura. A classe possui amplas faixas granulométricas, que reduzem a sua capacidade de retenção de água, conferem alta porosidade e permeabilidade de fluídos de forma a gerar um rápido escoamento (SANTOS *et al.*, 2018). Quando perféricos apresentam teores de Fe_2O_3 elevados nas camadas mais superficiais de solo, de forma que este elemento confere aos solos, propriedades como a capacidade de adsorção de metais pesados e fixação de fósforo no solo, diminuindo a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, atuando como cimento e afetando a troca de cátions nos solos.

Esses solos possuem fase cascalhenta, pedregosa e rochosa, saturação por bases média e saturação por alumínio de 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 sua limitação à atividade agrícola (AMARAL *et al.*, 2004). Ressalta-se que a Área Diretamente Afetada, bem como a região da mina de Água Limpa como um todo, não contempla atividades com finalidade de uso agrícola, sendo uma área exclusiva para fins as atividades de mineração.

Os dados **espeleológicos** na consulta bibliográfica resultaram em obtenção de registro de seis reentrâncias, todas consideradas sem relevância patrimonial, descritas segundo a **Tabela 6**.

Tabela 6. Feições espeleológicas e cavidade identificadas na ADA e no buffer de 250 m, segundo estudos secundários disponibilizados pela Vale S.A., para o ED/Monjolo (FUSO 23K – DATUM WGS 84).

ID	TOPONÍMIA	COORDENADAS (UTM)		DISTÂNCIA DA ADA (m)	TIPOLOGIA
1	AGL_0065	687611	7.795938	108	Reentrância
2	AGL_0071	685080	7792654	79	Reentrância
3	AGL_0072	685074	7792678	55	Reentrância
4	AGL_0073	685263	7792972	0	Reentrância
5	AGL_0074	685215	7792811	14	Reentrância
6	AGL_0075	685162	7792508	247	Reentrância

Fonte: ATIVO, 2017.

6.1.6.3.1.1. AGL_0065

Reentrância com dimensões favoráveis (largura = 9,6m; altura máxima = 2,45m; projeção horizontal = 2m) em rocha (xisto), localizada na baixa vertente íngreme (cerca de 30° de inclinação), coberta por mata capoeira, pouco acima de pequeno cânion com córrego (**Figura 20**). Apesar da presença abundante de solo, o piso é muito inclinado (declividade lateral), tornando o local pouco propício para a ocupação humana. Não foram detectados vestígios arqueológicos em superfície, nem sinais de mineração.

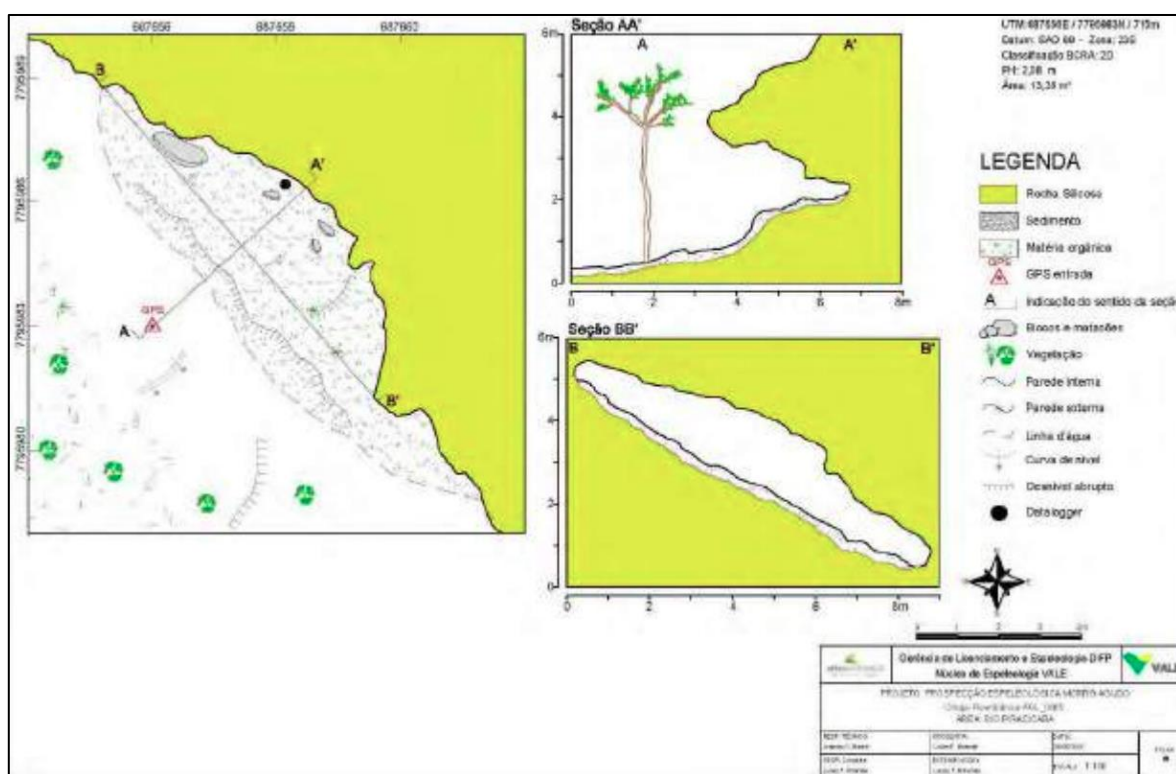


Figura 20. Croqui da cavidade AGL_0065, planta-baixa a esquerda e algumas seções a direita. Fonte: SPELAYON, 2020.

6.1.6.3.1.2. AGL_0071

Localizada em média vertente na porção central do ED Monjolo, a feição apresenta projeção horizontal de 4,21 m e 1,5 m de desnível em uma área de 16,26 m² (**Figura 21** e **Figura 22**).

Sua gênese se deu pela deposição de matacões graníticos sobre calha de drenagem pluvial natural efêmera. A feição forma salão único, ao longo da erosão hídrica em ravina de vertente ao nível da cobertura de solo sob o bloco de matacões, não se desenvolvendo no maciço rochoso. Não foram identificados espeleotemas.

Dentre os aspectos bióticos, foram observados pequenos invertebrados. Com relação à presença de recursos orgânicos, estão presentes depósitos pontuais de galhos, folhas e raízes, além de depósitos clásticos inconsolidados carregados pelo escoamento sazonal.

Referente à incidência de luminosidade em seu interior, a feição não possui zona afótica, sendo formada primordialmente por zona de penumbra e sem características de ambiente subterrâneo. Não foi identificada a presença de vestígios arqueológicos e/ou paleontológicos superficiais, assim como uso histórico-cultural ou religioso.



Figura 21. a) Vista frontal da entrada da feição em túnel AGL_0071; b) Vista dos clastos que conformam o túnel e, no fundo, abertura de acesso secundário e drenagens de enxurrada; c) Outra vista dos blocos; e, d) Vista de blocos, alguns sedimentos e vestígios vegetais. Fonte: Vale, 2022.

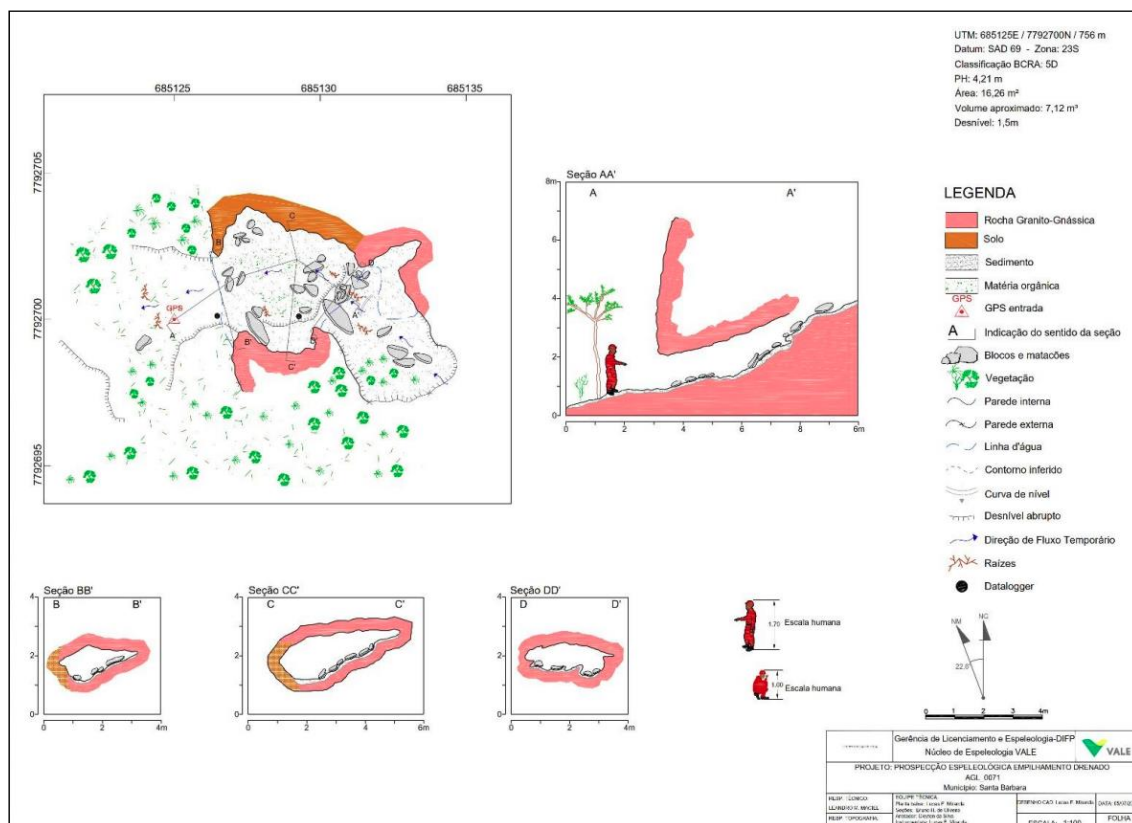


Figura 22. Reentrância AGL_0071. Fonte: Vale, 2022.

6.1.6.3.1.3. AGL_0072

Apresenta projeção horizontal aproximada de 3,02 m (salienta-se que esta medida foi considerada da linha d'água), área de 7,41 m² e, de acordo com sua planta baixa (**Figura 23** e **Figura 24**), possui altura de entrada maior que o seu desenvolvimento.

A feição está inserida em meia encosta com baixa declividade e sua gênese está associada ao abatimento de blocos. O Índice de Estabilidade Ambiental (IEA) é elevado, não foram observados depósitos químicos.

Feições hídricas também não foram evidenciadas.

No tocante à zonação de luminosidade, a feição não apresenta zona afótica mantendo a luminosidade durante todo o dia. Os substratos orgânicos observados foram materiais vegetais, detritos vegetais e raízes. Não é possível realizar separação do ambiente externo com o interno e, também, não existe fechamento da poligonal.

Não foi identificada presença de vestígios arqueológicos e/ou paleontológicos superficiais, assim como uso histórico-cultural ou religioso.



Figura 23. a) Vista lateral da feição sem fechamento da poligonal (ponto zero), observe também a $A > PH$; b) Sedimentos finos no piso; c) Interior com desenvolvimento insipiente; d) Vista lateral esquerda da entrada; e) Vista de fraturas na rocha granítica no final da feição; e, f) Outra vista da lateral esquerda da estrutura. Fonte: Vale, 2022.

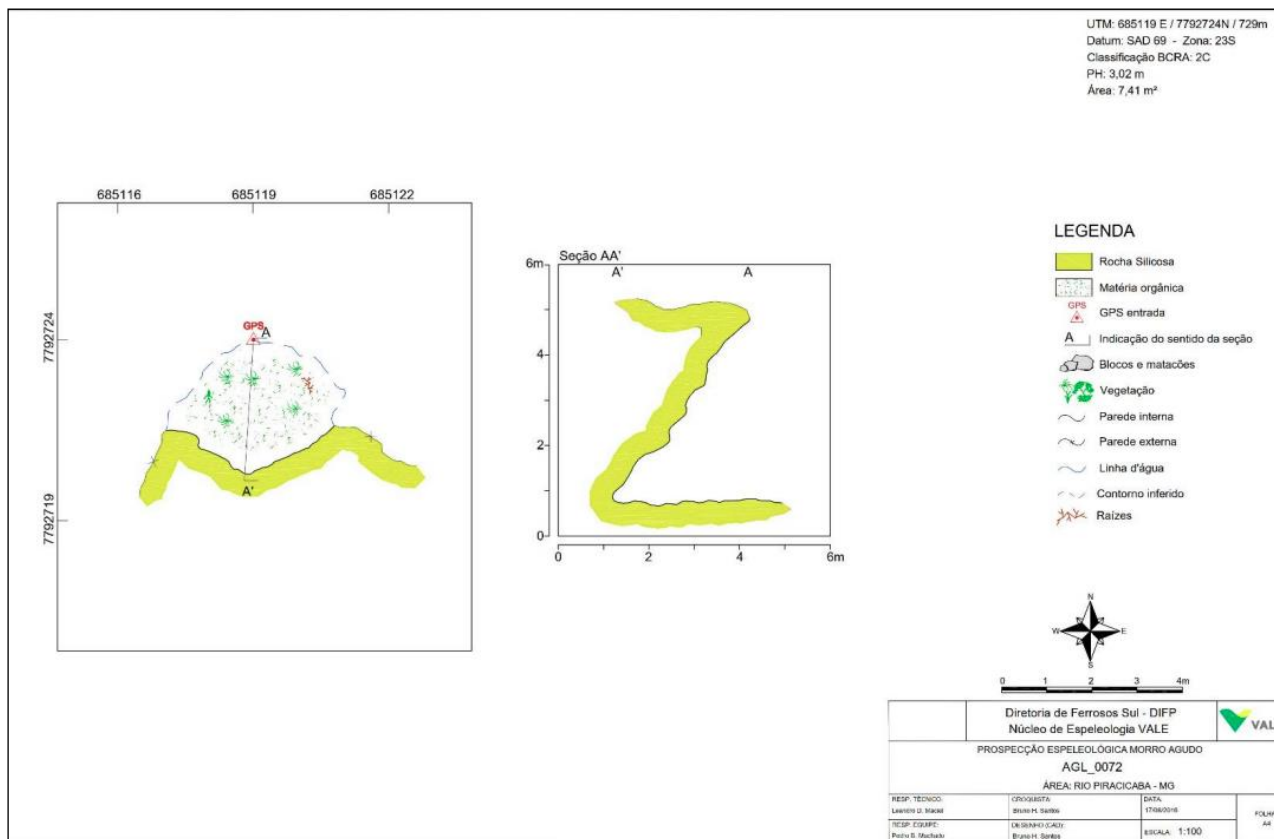


Figura 24. Reentrância AGL_0072. Fonte: Vale, 2022.

Esta feição não apresenta nenhuma característica de ambientes subterrâneos e tem características típicas de reentrância quando observamos a falta de fechamento da poligonal e altura (A) maior que projeção horizontal (PH).

6.1.6.3.1.4. AGL_0073

Apresenta desenvolvimento linear de 3,76 metros, projeção horizontal de 1,99 metros, área de 2,32 m² e, de acordo com sua planta baixa (**Figura 25**), possui altura de entrada menor que o desenvolvimento. Ocorre um único conduto com teto baixo e paredes estreitas. São duas entradas e o teto é formado por um tálus em forma de arco (**Figura 26**).

Localizada em baixa vertente com baixa declividade, na porção central do projeto, sua gênese está associada aos abatimentos de blocos e matacões graníticos, tipo tálus. A feição se encontra do lado de drenagem perene, sem zona afótica, nem características de ambientes subterrâneos.

Não foram identificados espeleotemas. Não foi constatada a ocorrência significativa de recurso orgânico em seu interior. Os substratos orgânicos observados foram detritos vegetais, raízes e material vegetal.

Salienta-se que não foram observadas feições hídricas internas.

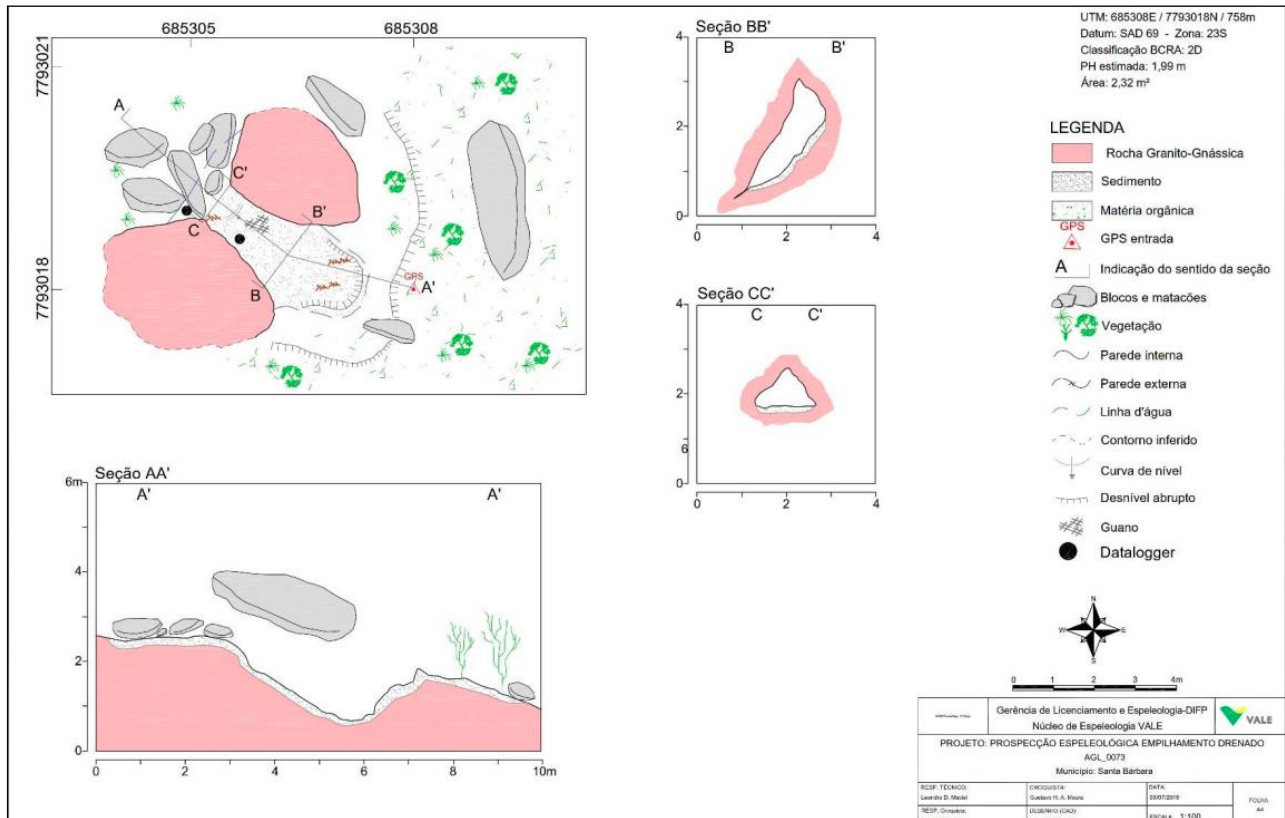


Figura 25. Reentrância AGL_0073. Fonte: Vale, 2022.

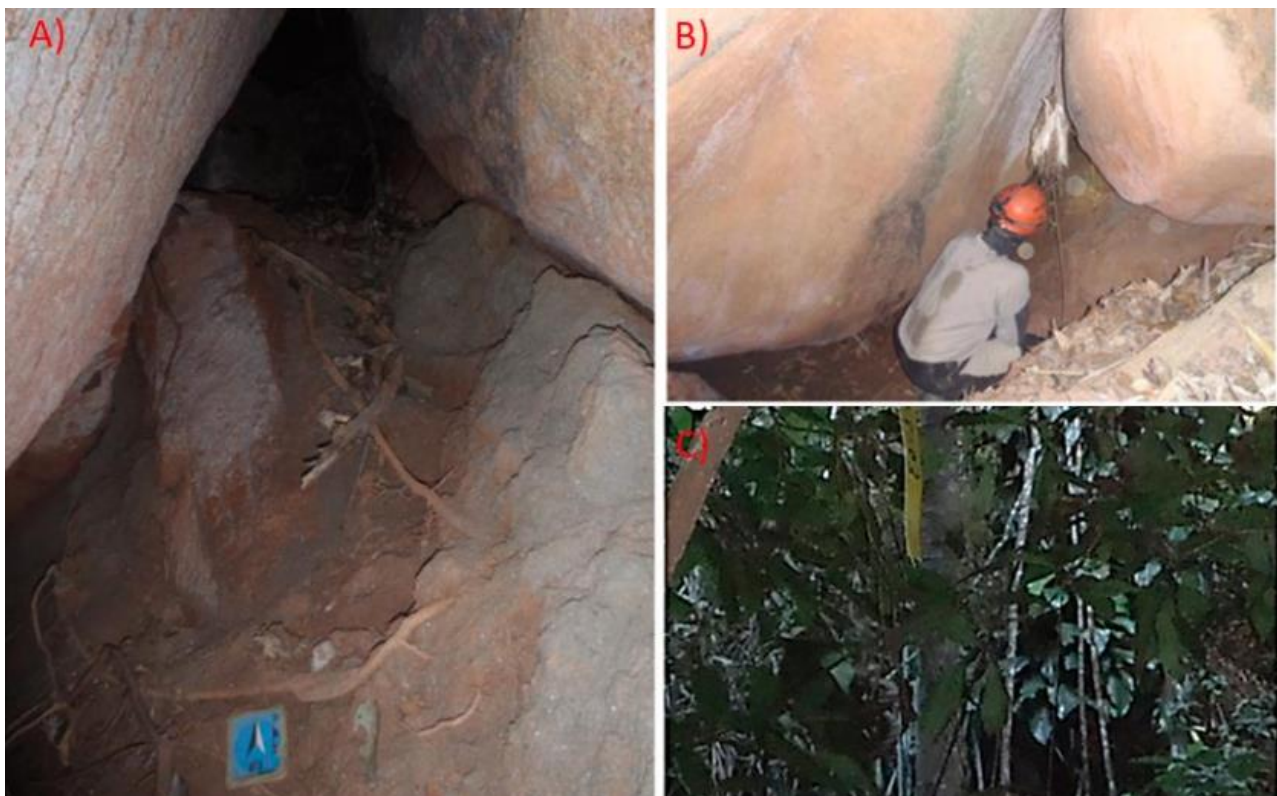


Figura 26. a) Entrada da feição AGL_0073, observando-se sedimentos finos, raízes e partes de vegetação; b) Entrada da feição de tálus em forma de arco e sua pequena PH; c) Vista para o exterior da feição. Fonte: Vale, 2022.

6.1.6.3.1.5. AGL_0074

Está inserida em média vertente com baixa declividade, na porção central do EDM. A AGL_0074, apresenta projeção horizontal de 5,66 m, parte dela inacessível, área de 7,06 m² e, de acordo com sua planta baixa (**Figura 27**), possui altura de entrada menor que a de desenvolvimento, com gênese associada a abatimentos e acomodação de blocos e matacões granito gnáissicos de dimensões decamétricos (**Figura 28**). A feição não forma zona afótica.

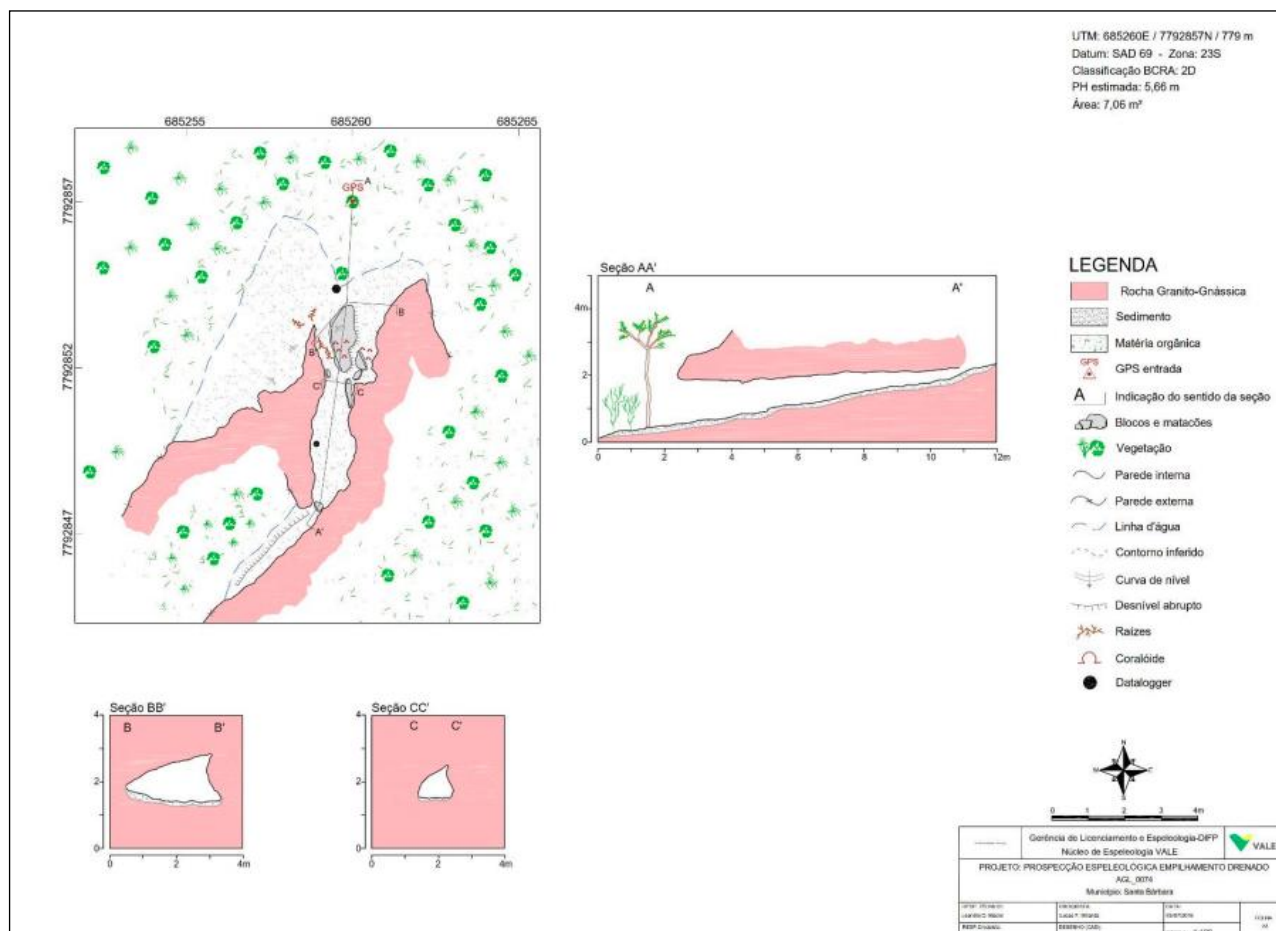


Figura 27. Reentrância AGL_0074. Fonte: Vale, 2022.

Não foram identificados espeleotemas. Presença pouco significativa de depósitos clásticos e biológicos. Não apresenta depósitos químicos.

Esta feição é formada por acomodação de blocos (tipo tálus), apresenta um bloco métrico de granito-gnaiss na entrada e alguns poucos sedimentos arenosos de origem autóctone e alóctone. Pelo fato de ser um duto superficial linear com duas entradas permite a circulação de ar de forma constante, sem características de ambiente subterrâneo devido a presença de luminosidade constante. Aspectos hídricos não foram observados e os substratos orgânicos observados são materiais vegetais e raízes.

Não existem vestígios arqueológicos nem paleontológicos.



Figura 28. a) Vista externa dos blocos métricos da feição de tálus da AGL_0074; b) Vista interna da reentrância conformada por acomodação de blocos; c) Sedimentos arenosos e bloco de rocha, no fundo da entrada menor; d) Detalhe de minerais orientados; e) Fragmento de rocha gnáissica no interior; f) Canal erosivo perto da feição. Fonte: Vale, 2022.

6.1.6.3.1.6. AGL_0075

Apresenta projeção horizontal de 4,52 m, área de 30,92 m² e, de acordo com sua planta baixa (**Figura 29**), possui altura de entrada menor que o desenvolvimento. Ocorre conduto único formado por matacões granito-gnáissicos abatidos, em teto baixo geneticamente associado a depósito de tálus.

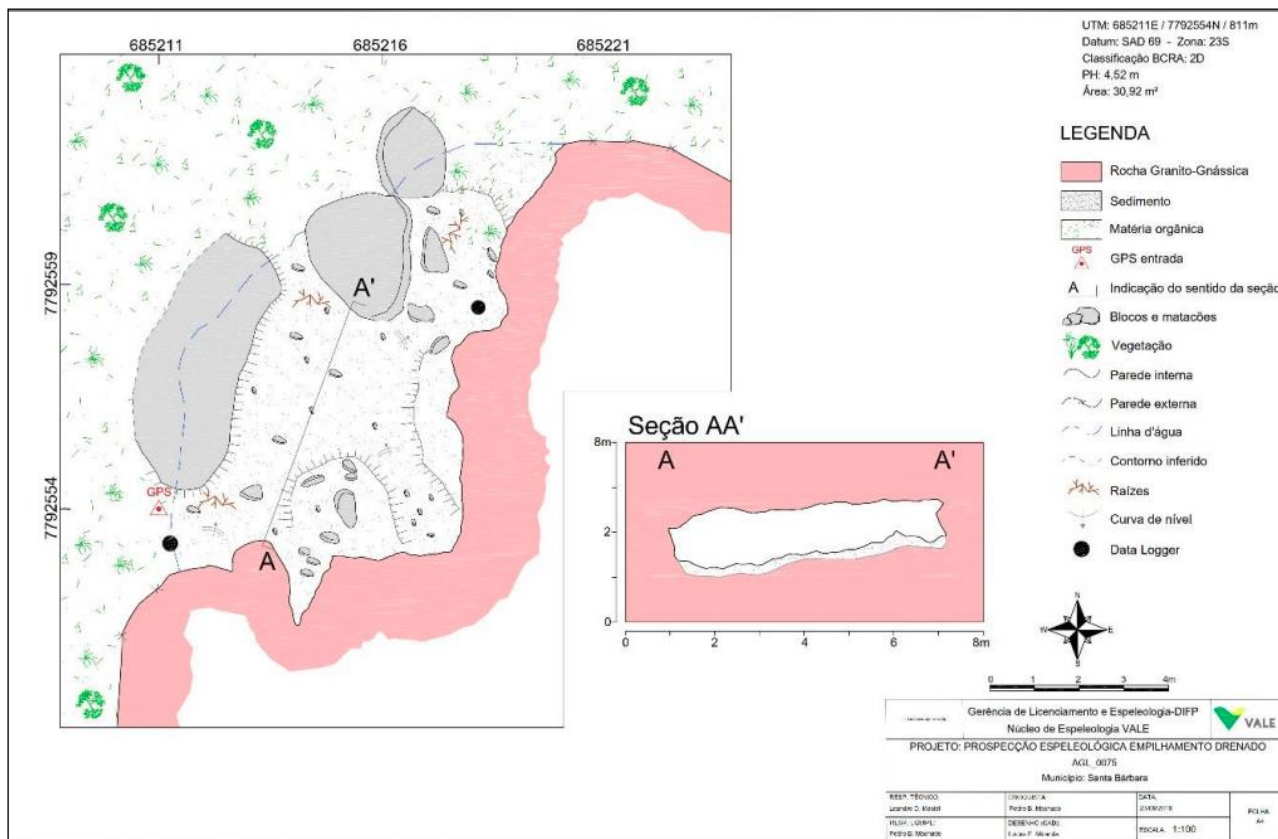


Figura 29. Reentrância AGL_0075. Fonte: Vale, 2022.

Esta reentrância está inserida na média vertente, próxima à base do afloramento granítico-gnássico presente no local. Sua gênese está associada aos abatimentos de blocos e suas acomodações, que originam um pequeno salão (**Figura 30**).

Aparentemente a dinâmica hídrica que incide sobre a reentrância é de caráter pluvial que em períodos de maior aporte retira sedimentos do interior da feição, formando pequenos sulcos erosivos.

Ao adentrar a reentrância se nota incidência de luz por todo o piso do salão, exceto na parte distal da feição, onde há um sombreamento parcial à entrada (sem zona afótica). Não foram observados indivíduos comuns à fauna cavernícola. Não foi observado depósito químico, existem alguns blocos abatidos internamente. Apresenta algumas raízes e não foram vistos vestígios arqueológicos nem paleontológicos.

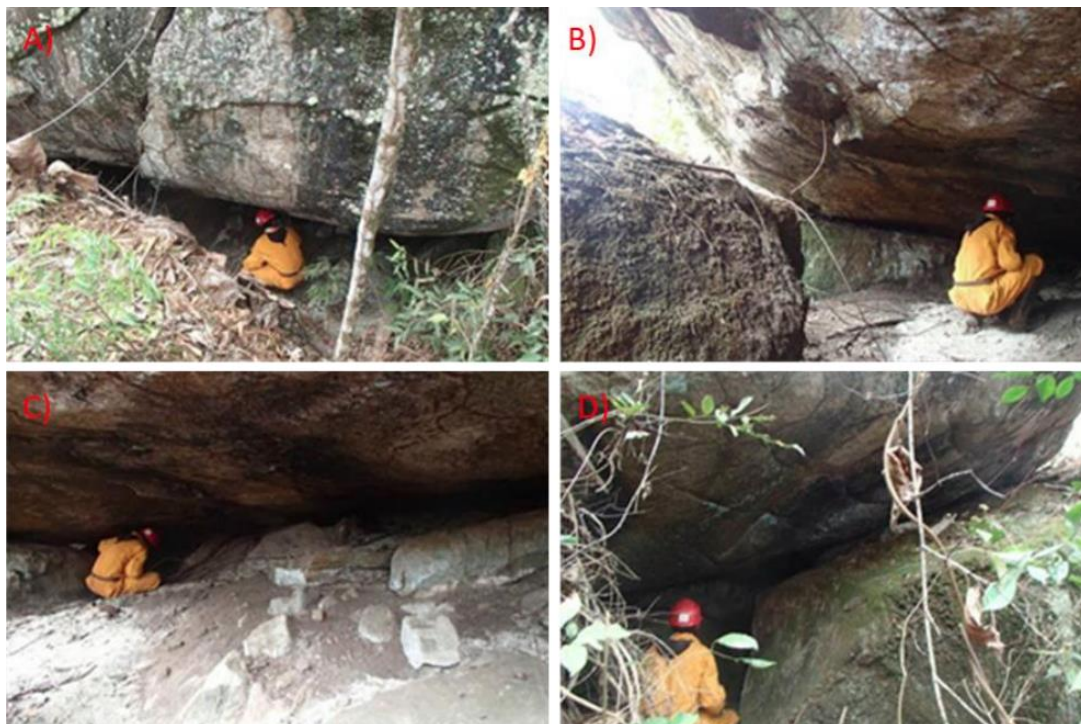


Figura 30. a) Feição AGL_0075, vista da zona de entrada da reentrância em tálus de blocos decamétricos; b) Vista para o interior da reentrância; c) Salão inicial com presença de sedimentos arenosos e finos, no final a presença do sulco; e d) Saída do sulco erosivo que drena a feição. Fonte: Vale, 2022.

6.1.6.3.2. Resultados dos levantamentos de campo

A prospecção espeleológica da Bioma Meio Ambiente foi realizada por quatro profissionais, de forma alternada por um geógrafo/espeleólogo e um geólogo e por um motorista e dois técnicos de campo que, em 23 dias, percorreram, para a prospecção, toda a área da ADA somada ao buffer de 250 m, constituindo assim a Área de Estudo Espeleológico (AEE), utilizando de GPS Garmim, mapa de apoio, smartphone com Alpine Quest para georreferenciamento e Time Stamp para fotografias.

Para o mapeamento das cavidades encontradas foram utilizados trena laser, bússola Brunton com clinômetro acoplado, fita métrica de metal, escala gráfica Ifrao e planilha de Cadastro de Cavidade em Campo (CCC), desenvolvida pela equipe da Bioma Meio Ambiente.

6.1.6.3.2.1. Pontos de controle

A seguir apresentam-se as fotografias dos pontos de controle, com data e coordenadas geográficas em UTM para o Fuso 23 K com DATUM SIRGAS 2000, que demonstram a fisiografia da paisagem de inserção dos projetos em tela.



Foto 21. Xistos e sua coloração prateada, com mineralogia essencial de quartzo e muscovita. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 22. Xisto intemperizado, de cor bege-esverdeado, granulação grossa, composto por quartzo, muscovita e sericita. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 23. Rocha de matriz ferruginosa, disseminada ou intercalada em estratos quartzosos e ferruginosos, com foliação parcial incipiente. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 24. Quartzito ferruginoso de coloração branca e capa de intemperismo preta, granulometria areia grossa, estratificado e cortado por veios de quartzo. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 25. Afloramento da Suítes Borrachudos na região sudoeste do EDM. Fonte: Bioma, 2024.



Foto 26. Detalhe do granito da Suíte Borrachudos. Fonte: Bioma, 2024.



Foto 27. Alto da torre de transmissão da mina de Água Limpa, ao fundo a PDE Cururu. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 28. Serra alinhada (Pico do Cururu, 1.105m) e o EDVC abaixo no centro. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 29. Ao alto da torre de transmissão se observa o vale da região onde está o nível de base local, o rio Piracicaba, com o 'mar' de morros côncavo-convexos do embasamento cristalino. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 30. Do alto da torre de transmissão se observam os aspectos gerais da geomorfologia da região da mina de Água Limpa. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 31. Saprólito xistoso de coloração branca a avermelhada, com intercalações de veios de quartzo e quartzitos. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 32. Xisto intemperizado, de cor bege-esverdeado, granulação grossa. Composto por quartzo, muscovita e sericita. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 33. Minério de hematita. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 34. Produto de laterização de rochas ferruginosas exibindo cor avermelhada-ocre. Fonte: Bioma, 2023.



Fotos 35 e 36. Cambissolo Férrico Distrófico, mina de Água Limpa. Fonte: Bioma, 2023.



Foto 37. Empilhamento Drenado de Vale das Cobras com vista do eixo para jusante. Bioma, 2023.



Foto 38. Vista da porção a montante do Empilhamento Drenado de Vale das Cobras. Bioma, 2023.



Foto 39. Vista do eixo do barramento/alteamentos do EDVC. Bioma, 2023.



Foto 40. Vista da porção dos alteamentos do eixo do EDVC e do dique de partida (abaixo). Bioma, 2023.

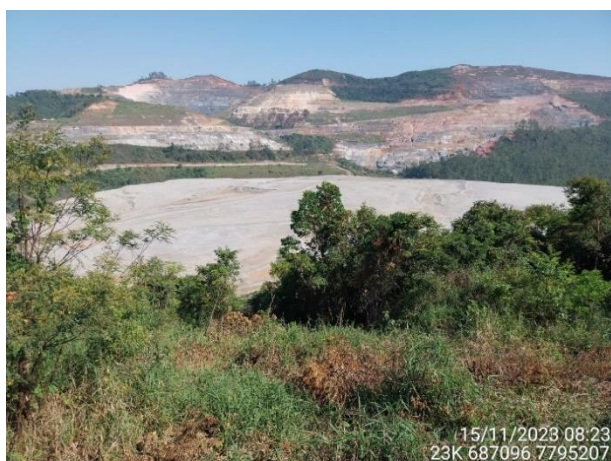


Foto 41. Empilhamento Drenado Vale das Cobras (branco a frente) e ao fundo as cavas de Morro Agudo e Espigão. Bioma, 2023.



Foto 42. Afloramento de quartzito ferruginoso localizado ao lado do lago formado no sopé do EDVC no eixo do córrego Vales da Cobras. Bioma, 2023.



Foto 43. EDM visto de cima do rochedo de granito a direita ao lado plantio de eucalipto com densa vegetação de capim. Bioma, 2024.



Foto 44. Empilhamento Drenado Monjolo visto do alto do rochedo. Bioma, 2024.



Foto 45. Vista do eucaliptal, ao fundo, e denso capinzal como sub-bosque. Bioma, 2024.



Foto 46. Empilhamento Drenado Monjolo visto de cima. Bioma, 2024.



Foto 47. Afloramento de granito no meio do eucaliptal, localizado no *buffer*. Bioma, 2024.



Foto 48. Subida da face nordeste do rochedo do EDM. Bioma, 2024.



Foto 49. Face do afloramento de granito da suíte Borrachudos que se localiza ao lado SE do EDM. Bioma, 2024.

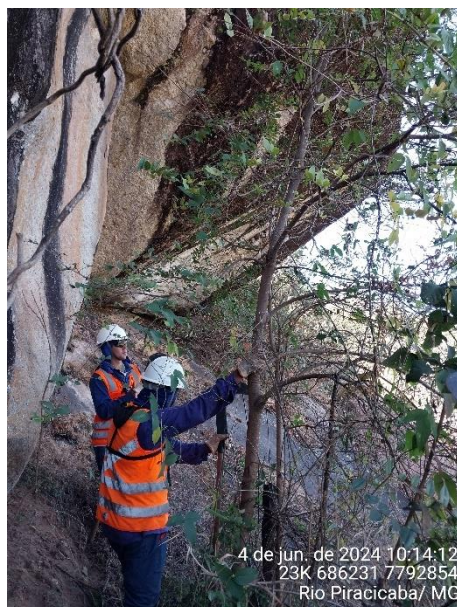


Foto 50. Face do afloramento de granito da suíte Borrachudos que se localiza ao lado SE do EDM. Bioma, 2024.



Foto 51. Visão da subida do afloramento da suíte Borrachudos do EDM. Bioma, 2024.



Foto 52. Amostragem do capinzal na região do EDM que traz enormes dificuldades na prospecção. Bioma, 2024.



Foto 53. Vista da entrada do "boqueirão da onça", localizado a sul, no *buffer* do EDM. Bioma, 2024.



Foto 54. Vista da saída do "boqueirão da onça", onde há acúmulo de águas pluviais e onde foram encontrados rastros de felinos. Bioma, 2024.



Foto 55. Vista do denso sub-bosque de capim localizado no eucalíptal na face leste do "boqueirão da onça". Bioma, 2024.



Foto 56. "Boqueirão da onça". Bioma, 2024.

6.1.6.3.2.2. Resultados espeleológicos

A Área de Estudo Espeleológico (AEE), para o EDVC e para o EDM, corresponde à ADA = 203,11 ha + buffer de 250 m (292,73 ha), totalizando uma AEE de 495,84 ha, conforme pode ser observada no **Mapa 13** e no **Mapa 14**, onde apresentam-se os caminhamentos prospectivos realizados pela equipe da Bioma, segundo a **Tabela 7** e **Tabela 8**, que equalizam os totais destes caminhamentos por estrutura e na **Tabela 9** o resumo dos resultados.

Para o Empilhamento Drenado Vale das Cobras, observam-se duas situações: uma área situada em região de muito alto/alto potencial de ocorrência de cavidades a oeste; e, em maior parte a área, situada em região de baixo potencial de ocorrência de cavernas – segundo Jansen et. al, (2012), adotado pelo IDE/SISEMA e pelo CECAV/ICMBio. Entretanto, pelo levantamento geológico bibliográfico e de campo, observamos que o mapa oficial utilizado não representa a realidade e, neste sentido, foi adotada para toda a AEE da estrutura o conceito de área de alto potencial de ocorrência de cavernas em função da presença de quartzitos como rocha encaixante. Apresenta-se a densidade de caminhada, do EDVC, em separado, na **Tabela 7**.

Tabela 7. Densidade de caminhada por potencial espeleológico para o EDVC, 2024.

Potencial Espeleológico	Densidade de Caminhamento Previsto IS 8/2017 (Km/Km ²)	Área Estudo (Km ²)	Caminhamento Realizado (Km)
Muito alto	20	3,4424	0,4753

Fonte: IS 8/2017 SEMAD (adaptado); VALE, 2023; BIOMA, 2023. * A densidade da malha de caminhada é o percentual da ADA e de seu entorno prospectados, acompanhados da justificativa para os valores adotados.

Ressalta-se que para o Empilhamento Drenado Monjolo (EDM), não existe área com alto/muito alto potencial de ocorrência de cavernas, somente área de baixo potencial, basicamente em função da presença da encaixante representada por granitos da Suíte Borrachudos. Neste sentido apresenta-se a densidade de caminhada, não obstante, em separado, na **Tabela 8**.

Tabela 8. Densidade de caminhada por potencial espeleológico para o EDM.

Potencial Espeleológico	Densidade De Caminhamento Previsto IS 8/2017 (Km/Km ²)	Área Estudo (Km ²)	Caminhamento Realizado (Km)
Baixo	5	3,5471	0,4158

Fontes: IS 8/2017 SEMAD (adaptado); VALE, 2023; BIOMA, 2023. * A densidade da malha de caminhada é o percentual da ADA e de seu entorno prospectados, acompanhados da justificativa para os valores adotados.

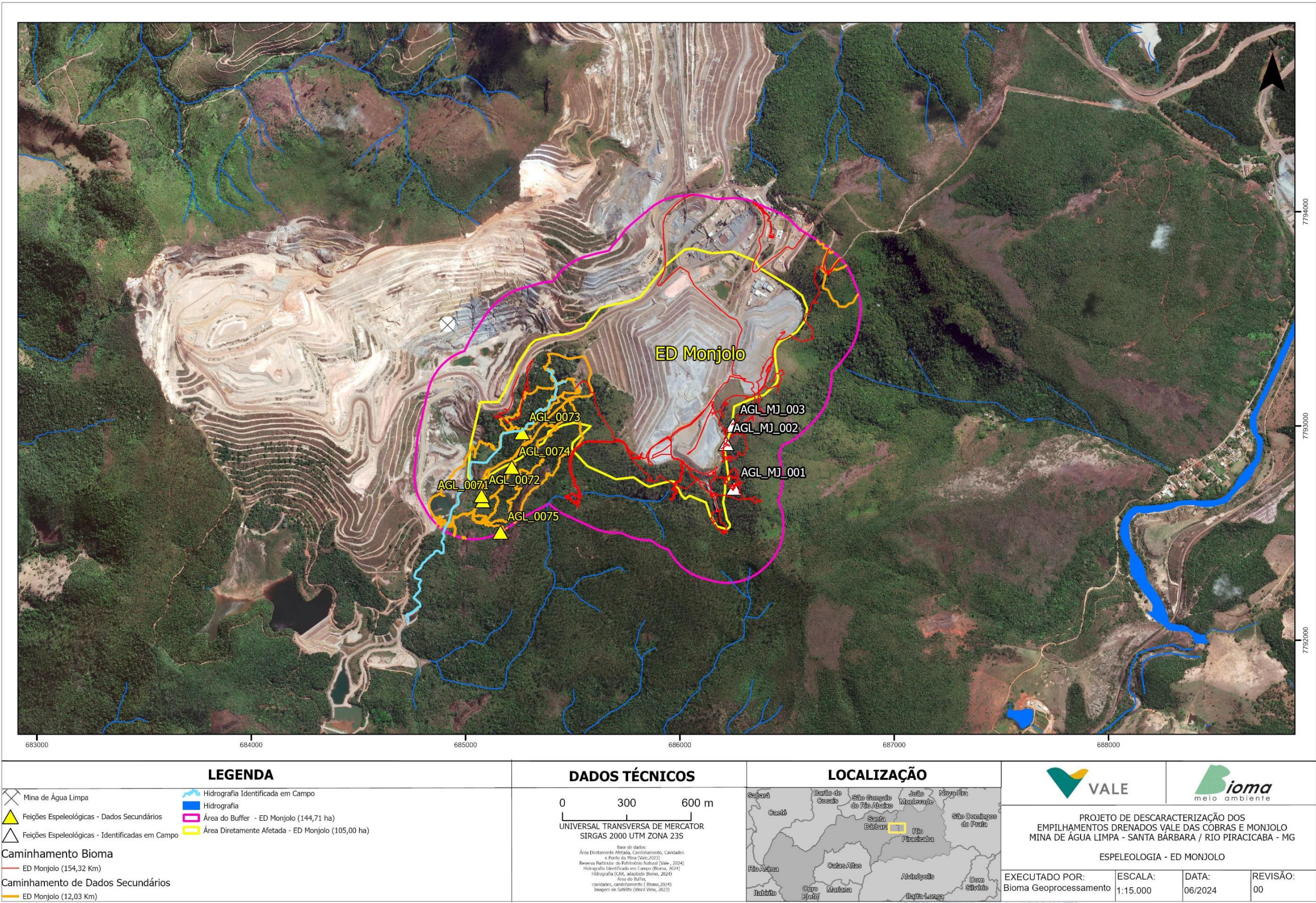
Na **Tabela 9** se apresenta o resumo dos resultados da prospecção em campo, realizada pela Bioma em 2024.

Tabela 9. Resultado da prospecção espeleológica realizada pela equipe da Bioma para os projetos EDVC e EDM, 2024.

Id	Coordenadas (UTM)		Tipologia	Rocha	PH (m)	Área de Influência
AGL_VC_001	686496	7795495	Cavidade	Quartzito	5,3	ADA (EDVC)
AGL_VC_002	686529	7795529	Reentrância	Quartzito	2,89	ADA (EDVC)
AGL_VC_003	686502	7795554	Reentrância	Quartzito	3,5	ADA (EDVC)
AGL_VC_004	686490	7795745	Reentrância	Canga	3,8	AID (EDVC)
AGL_MJ_001	686252	7792713	Cavidade	Granito	27,8	AID (EDMJ)
AGL_MJ_002	686216	7792921	Cavidade	Granito	8,0	AID (EDMJ)
AGL_MJ_003	686247	7793007	Cavidade	Granito	5,6	AID (EDMJ)

*PH= projeção horizontal – método contínuo; Volume calculado com altura da base topográfica mais representativa pra a feição.





Mapa 14. Levantamento prospectivo da espeleologia para o Projeto de Descaracterização do Empilhamento Drenado Monjolo. Bioma, 2024.

6.1.6.3.2.3. Caracterização das feições espeleológicas

A prospecção da equipe da Bioma Meio Ambiente identificou quatro feições espeleológicas na AEE para o EDVC, descritas a seguir (**Mapa 13**).

6.1.6.3.2.3.1. AGL_VC_001

A prospecção da equipe da Bioma Meio Ambiente detectou uma cavidade localizada na face oeste do afloramento de quartzito ferruginoso, intensamente dobrado e com xistosidades, que está posicionado logo ao lado do lago formado no sopé de montante do EDVC.



Foto 57. Caverna AGL_VC_001. Bioma, 2024.



Foto 58. Caverna AGL_VC_001. Espeleólogo entrando para avaliação. Bioma, 2024.

Com relação às suas características físicas, apresenta as seguintes dimensões: 0,90m de altura máxima, com 1 entrada e duas 'janelas', com largura variável, apresenta projeção horizontal e 5,3 m. Não observamos pacotes clásticos ou químicos de sedimentos, sem água, sem elementos socioculturais e sem zona afótica aparente (**Mapa 15**).

Acerca dos aspectos bióticos, foram observados quirópteros, aranhas, tricópteros, formigas, abelhas e marimbondos, observando-se que, conforme mencionado no tópico de metodologia, não foi realizado estudo de bioespeleologia.

Não obstante, ela apresenta recursos orgânicos vegetais, como galhos, folhas e raízes, assim como fezes de capivara na porção da entrada da cavidade.



Foto 59. Interior da cavidade e restos orgânicos vegetais. Bioma, 2024.



Foto 60. Aracnídeo fotografado no interior da cavidade. Bioma, 2024.



Foto 61. Colmeia de abelhas silvestres observada na entrada da cavidade. Bioma, 2024.



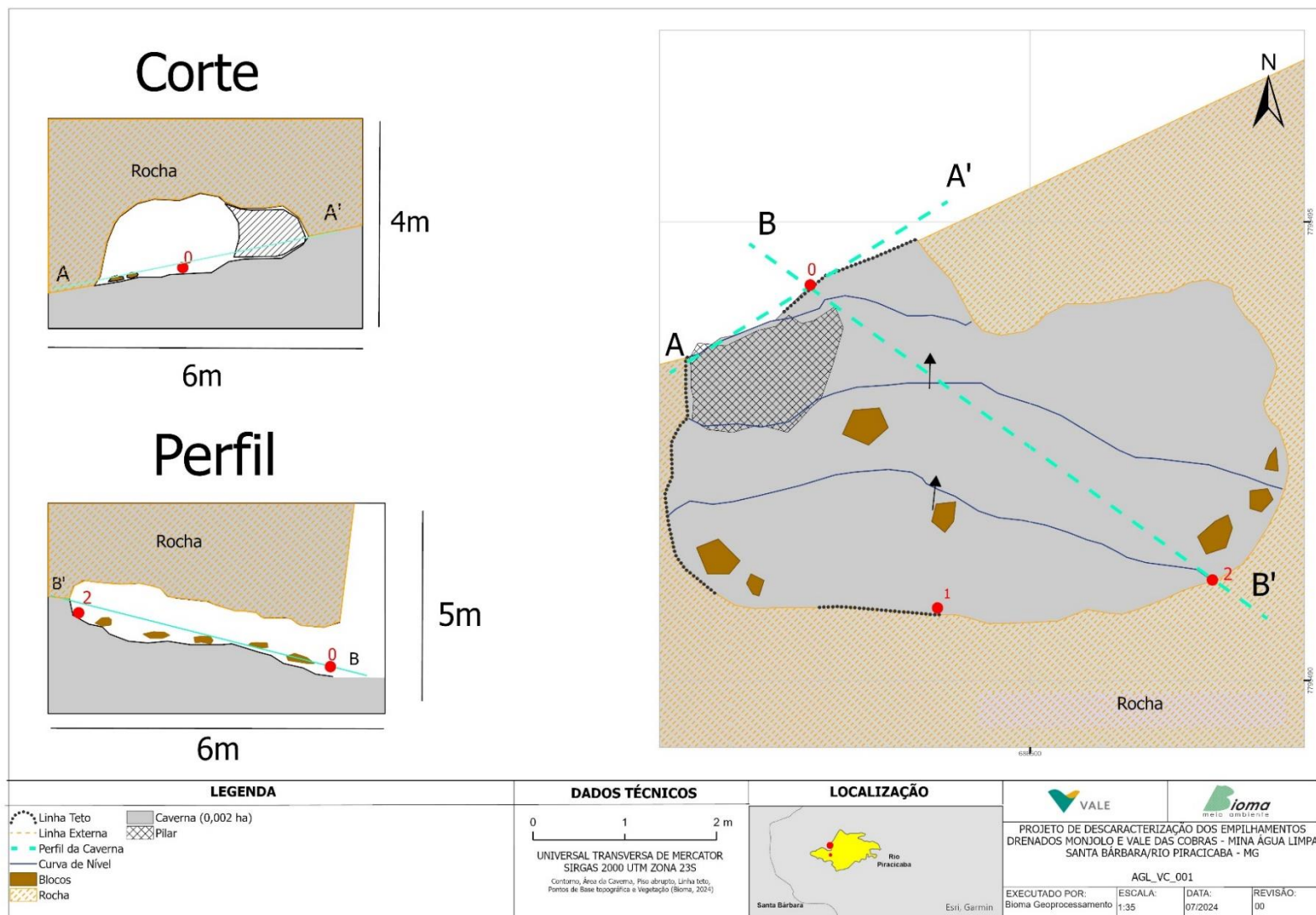
Foto 62. Vista da 'janela' lateral da cavidade. Bioma, 2024.



Foto 63. Aspecto geral da rocha encaixante da cavidade, com dobramentos/xistosidades intercalando quartzito com estratos ferruginosos. Bioma, 2024.



Foto 64. Vista da porção externa que se prolonga a partir da cavidade ao fundo, podendo torná-la com prolongamento de 15 m. Bioma, 2024.



Mapa 15. AGL_VC_001. Bioma 2024.

6.1.6.3.2.3.2. AGL_VC_002

Do outro lado da drenagem (margem esquerda do córrego das Cobras), está situada a AGL_VC_002, que possui 2,89 m de projeção horizontal, 1,90 m de altura na linha d'água e largura de 9,8 m (**Mapa 16**). A estrutura é encaixada em quartzito arenoso, ferruginoso, xistoso e com métricos dobramentos. Sem água, elementos socioculturais, potencial arqueológico ou paleontológico e sem depósitos químicos. Apresentou pequenos invertebrados: aranhas e aporte trófico com galhos, folhas, raízes e fezes de capivara.



Foto 65. AGL_VC_002, localizado na margem esquerda do córrego das Cobras, encaixado em quartzito ferruginoso. Bioma, 2024.



Foto 66. Aporte trófico na AGL_VC_002, representado por fezes secas de capivara. Bioma, 2024.

6.1.6.3.2.3.3. AGL_VC_003

AGL_VC_003, situada na margem esquerda do córrego das Cobras, possui 3,5 m de projeção horizontal com 3,5 m de altura na linha d'água e largura de 12 m. Estrutura encaixada em quartzito xistoso e com métricos dobramentos (**Mapa 17**).



Foto 67. Abrigo 2 (AGL_VC_003) localizado na margem esquerda do córrego das Cobras, encaixado em quartzito ferruginoso. Bioma, 2024.



Foto 68. Abrigo 2 localizado na margem esquerda do córrego das Cobras, encaixado em quartzito ferruginoso. Bioma, 2024.

Durante o mapeamento foi detectada a presença de seis diminutos quirópteros em uma pequena fresta. Sem depósitos químicos ou clásticos (sem potencial paleontológico), sem água, sem zona afótica e como se pode observar, com expressiva quantidade de aporte trófico.

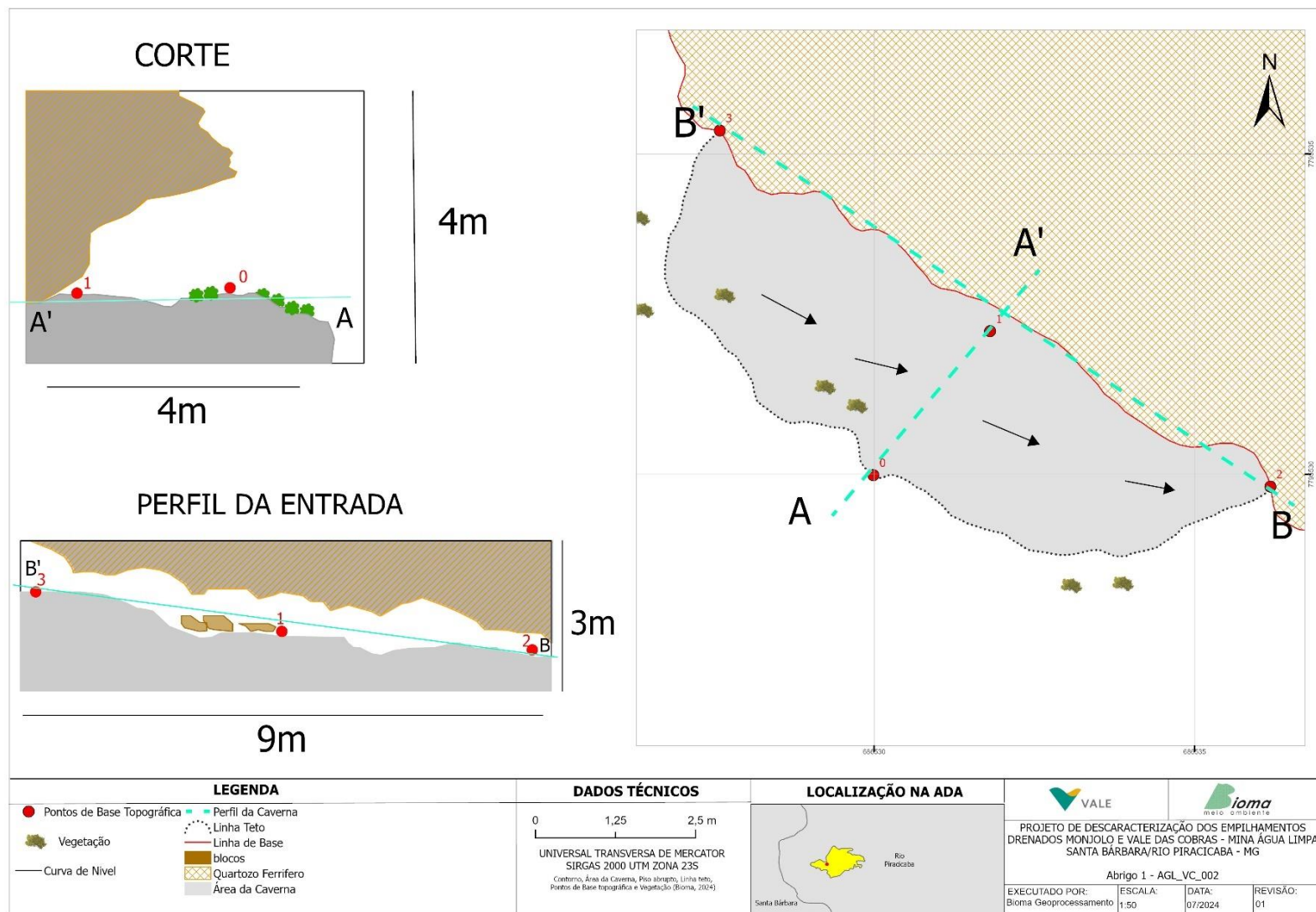


Foto 69. Fresta na rocha onde foi localizada a pequena colônia de quirópteros diminutos. Bioma, 2024.

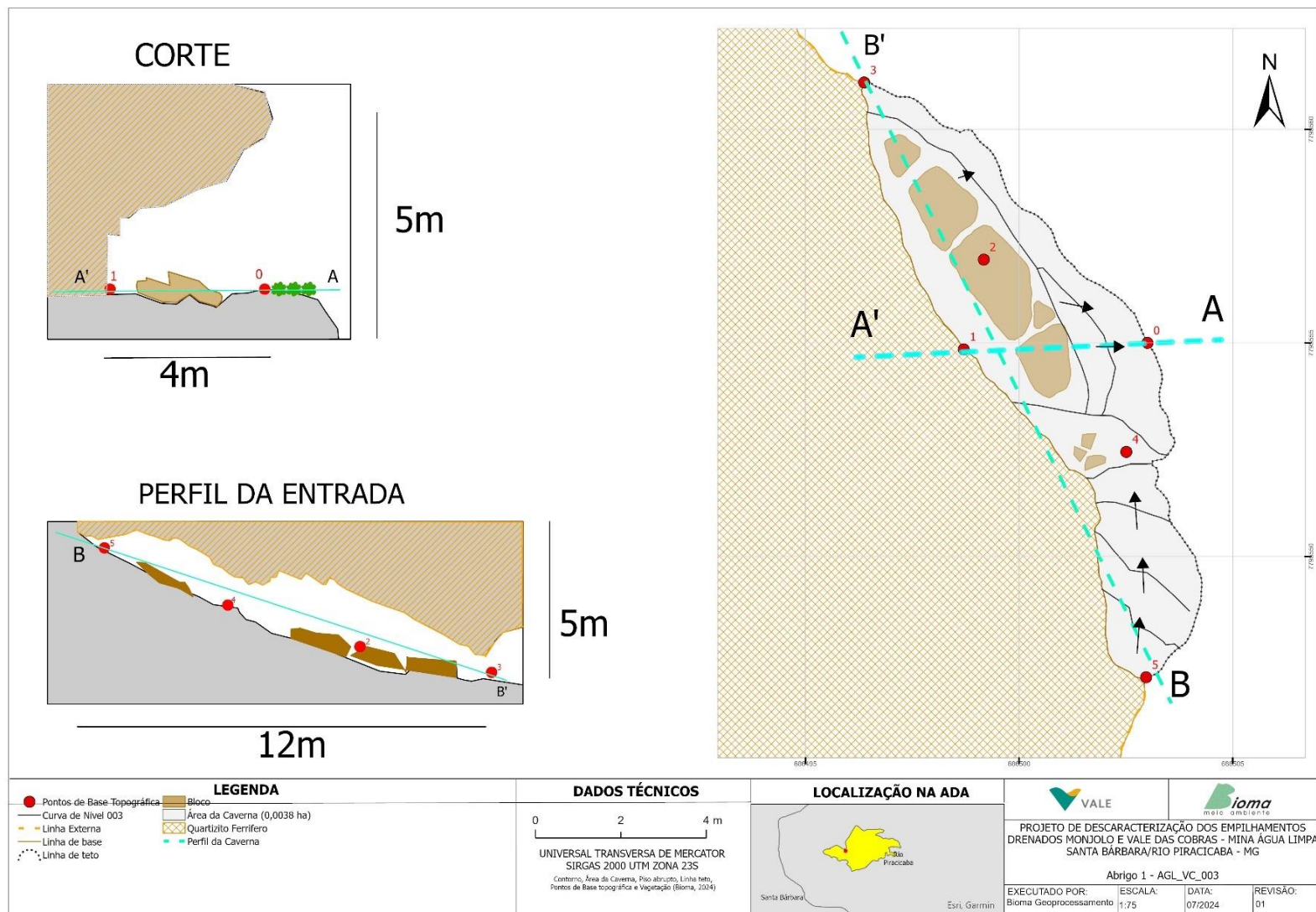


Foto 70. Detalhe dos quirópteros diminutos detectados em AGL_VC_003. Bioma, 2024.

Com potencial arqueológico (entretanto não houve sondagem), sem zona afótica e, como se pode observar, com expressiva quantidade de aporte trófico.



Mapa 16. AGL_VC_002. Bioma, 2024.



Mapa 17. AGL_VC_003. Bioma, 2024.

6.1.6.3.2.3.4. AGL_VC_004

Formada a partir da interface da canga com o solo a feição apresenta características com projeção horizontal de 3,80 m a partir da linha d'água, largura de 10m e altura máxima de 1,60 m (**Mapa 18**), A porção distal apresenta teto baixo impenetrável que se prolonga pela visão mais de 4 m seu desenvolvimento, entretanto sem acesso. Não há afotismo na parte penetrável, o que não se observa na parte impenetrável, onde há pelo menos zona de penumbra.

Não possui recurso hídrico, sedimentação química ou clástica concrecionada. Da mesma forma não foi observado em superfície nenhum elemento sociocultural.

Não foi observada fauna expressiva, somente exemplares da entomofauna de forma esparsa. Não obstante a mesma apresenta recursos orgânicos vegetais: galhos, folhas e raízes.



Foto 71. Vista da porção frontal do Abrigo da Canga. De fácil acesso, logo ao lado da estrada acima do extravasor do sump 16. Bioma, 2024.



Foto 72. Vista da porção interna do Abrigo da Canga. Rocha no teto e solo no piso. Bioma, 2024.



Foto 73. Porção distal do abrigo onde há prolongamento impenetrável. Bioma, 2024.

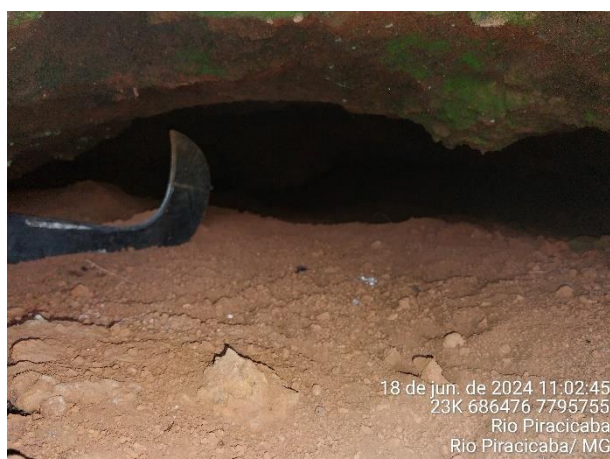
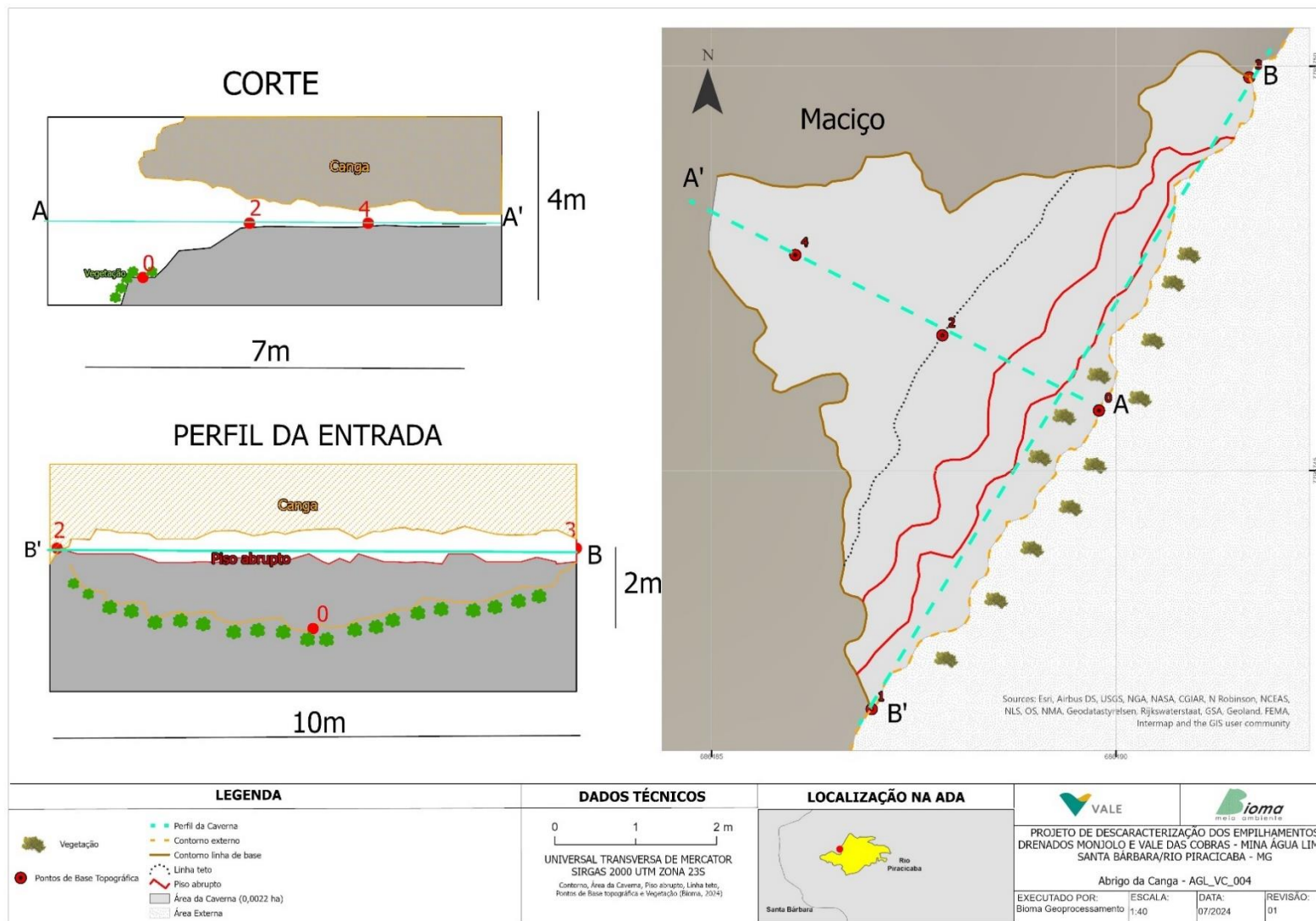


Foto 74. Detalhe da porção impenetrável do abrigo que se prolonga por mais de 4m, com pelo menos zona de penumbra. Bioma, 2024.



Mapa 18. AGL_VC_004. Bioma, 2024.

Durantes os levantamentos de campo foram identificadas três (3) feições espeleológicas na AEE para o EDM, que se seguem descritas (**Mapa 14**).

6.1.6.3.2.3.5. AGL_MJ_001

Cavidade formada a partir de depósito de tálus oriundos da disjunção esferoidal do granito da Suíte Borrachudos. Localiza-se no alto do "rochedo" que fica vizinho ao EDM, possui dois níveis, com projeção horizontal total de 27,8m (**Mapa 19** e **Mapa 20**). Sem zona afótica aparente, com aporte trófico, sem depósitos químicos ou clásticos e sem água.

Não foi identificada biota expressiva na cavidade, somente formigas, aranhas, cupinzeiro, toca de coelho e/ou tatu e ninho de marimbondos. Sem potencial arqueológico ou paleontológico aparente.

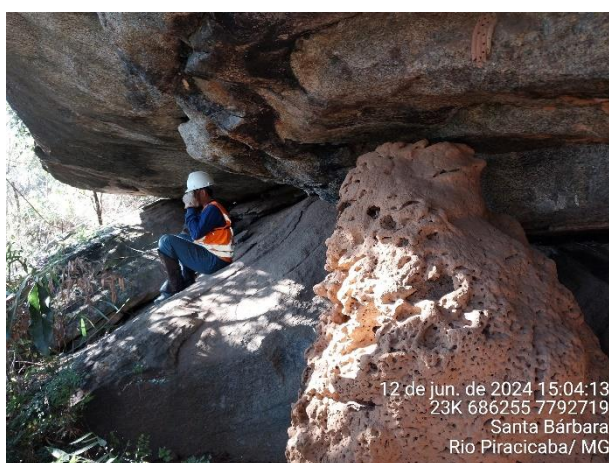


Foto 75. Vista da lateral da entrada da cavidade, originada em depósito de tálus. Grande cupinzeiro na entrada. Bioma, 2024.



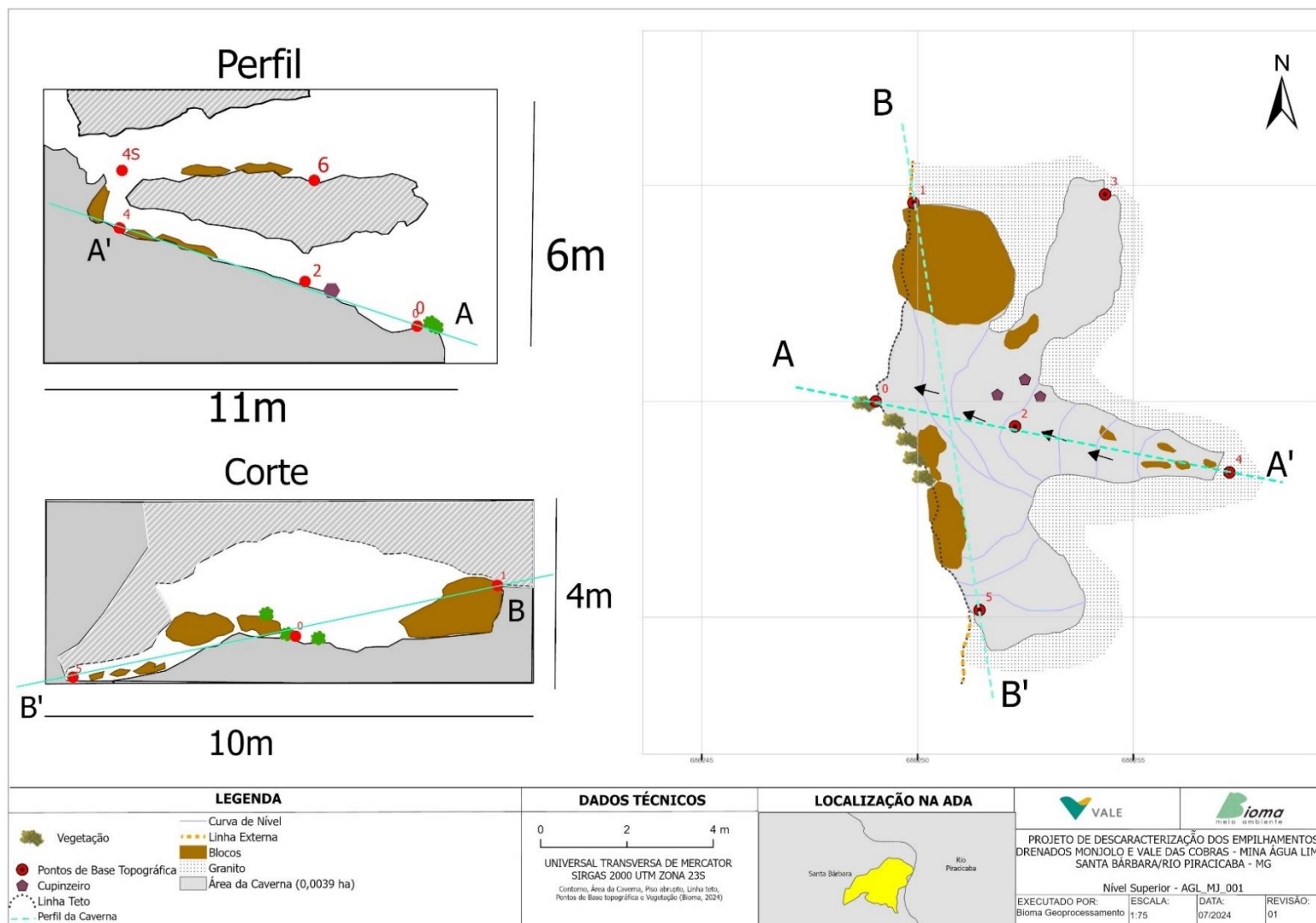
Foto 76. Nível inferior com vista da base 0 em direção à base 4 com distância total de 8,3 m. Bioma, 2024.



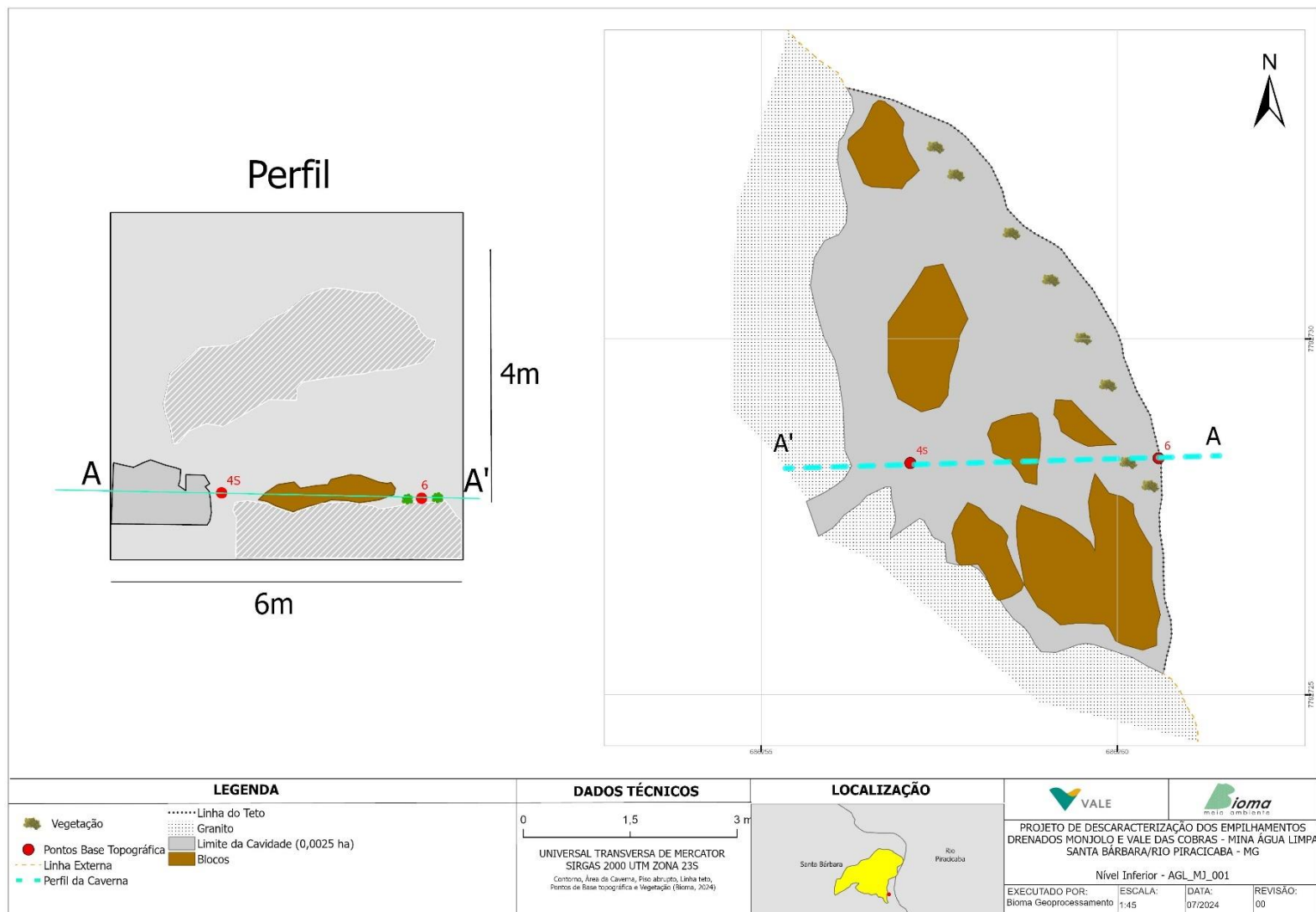
Foto 77. Vista de parte do nível superior da cavidade. Técnico saindo do nível inferior (Base 4). Observamos que não há possibilidade de enquadrar todo o nível superior na foto em função do abismo ao lado da base 6. Bioma, 2024.



Foto 78. Vista da saída do nível superior da cavidade em direção ao topo do rochedo. Observar na foto anterior o técnico apontado a foice para esta saída. Bioma, 2024.



Mapa 19. AGL_MJ_001(Nível superior). Bioma, 2024.



Mapa 20. AGL_MJ_001 (Nível inferior). Bioma, 2024.

6.1.6.3.2.3.6. AGL_MJ_002

Cavidade formada em uma fenda localizada no granito da Suíte Borrachudos, em perfil inclinado (**Mapa 21**). Sem zona afótica aparente, sem água, mas com presença de paleo-canais. Sem deposição química ou clástica concrecionada e com aporte trófico vegetal. Sem potencial arqueológico ou paleontológico.



Foto 79. Vista do afloramento da suíte Borrachudos onde está encaixada a AGL_MJ_002. Bioma, 2024.



Foto 80. Vista da entrada da cavidade, situada em uma fenda no granito. Observar a linha de teto/água externa que não se enquadra na foto. Bioma, 2024.



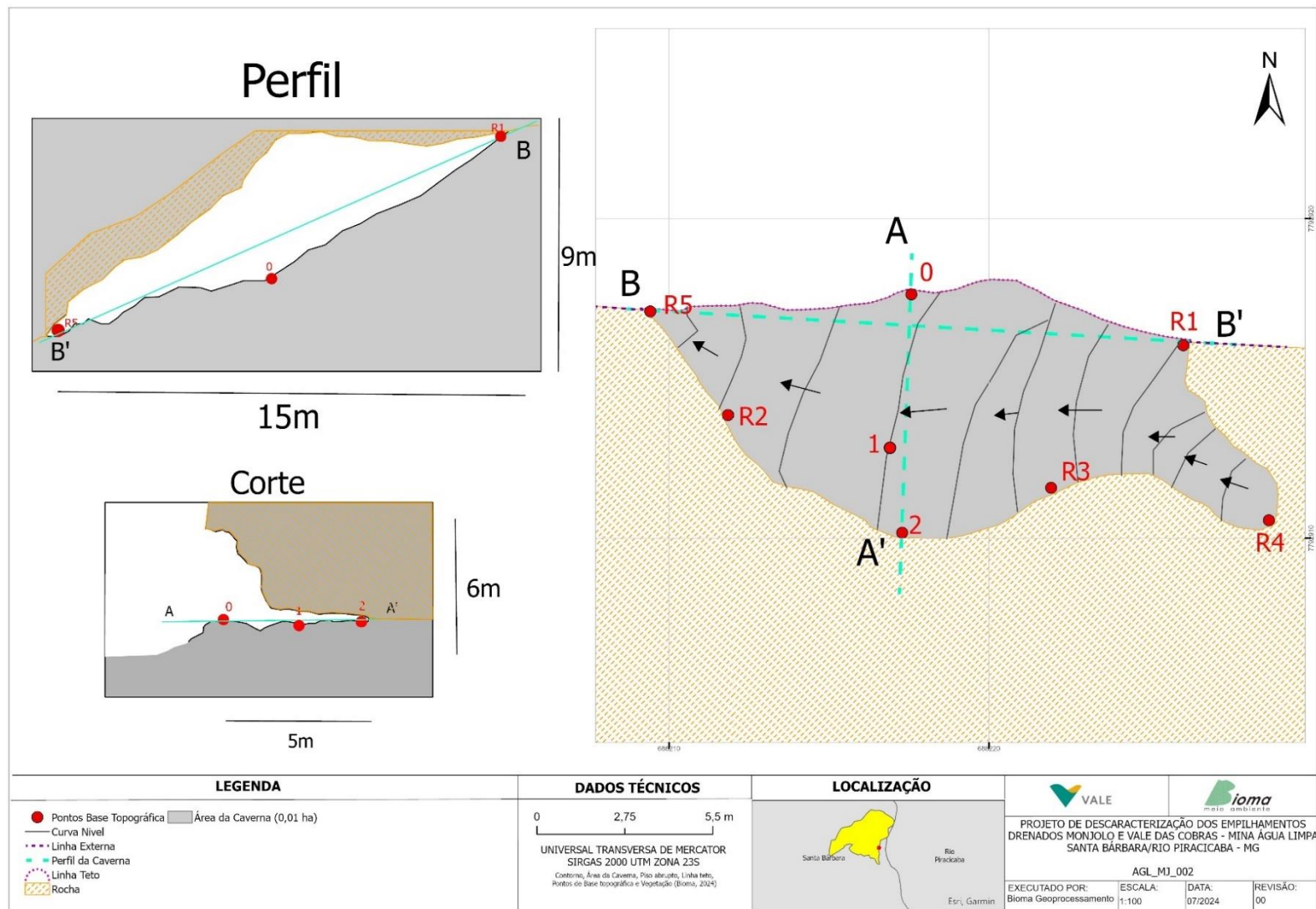
Foto 81. Vista AGL_MJ_002, situada em uma fenda na rocha, demonstrando sua inclinação. Bioma, 2024



Foto 82. Vista AGL_MJ_002, situada em uma fenda na rocha. Bioma, 2024.

Não foram registrados elementos expressivos de bioespeleologia, somente exemplares da entomofauna, como cupinzeiro, formigas, aranhas e vespas.

A cavidade apresenta grande área, em função basicamente da pronunciada linha d'água de teto e seu desenvolvimento lateral, com projeção horizontal de 5,3 m até a parte penetrável, a partir deste ponto se prolonga pela visão cerca de 3m.



Mapa 21. AGL_MJ_002. Bioma, 2024.

6.1.6.3.2.3.7. AGL_MJ_003

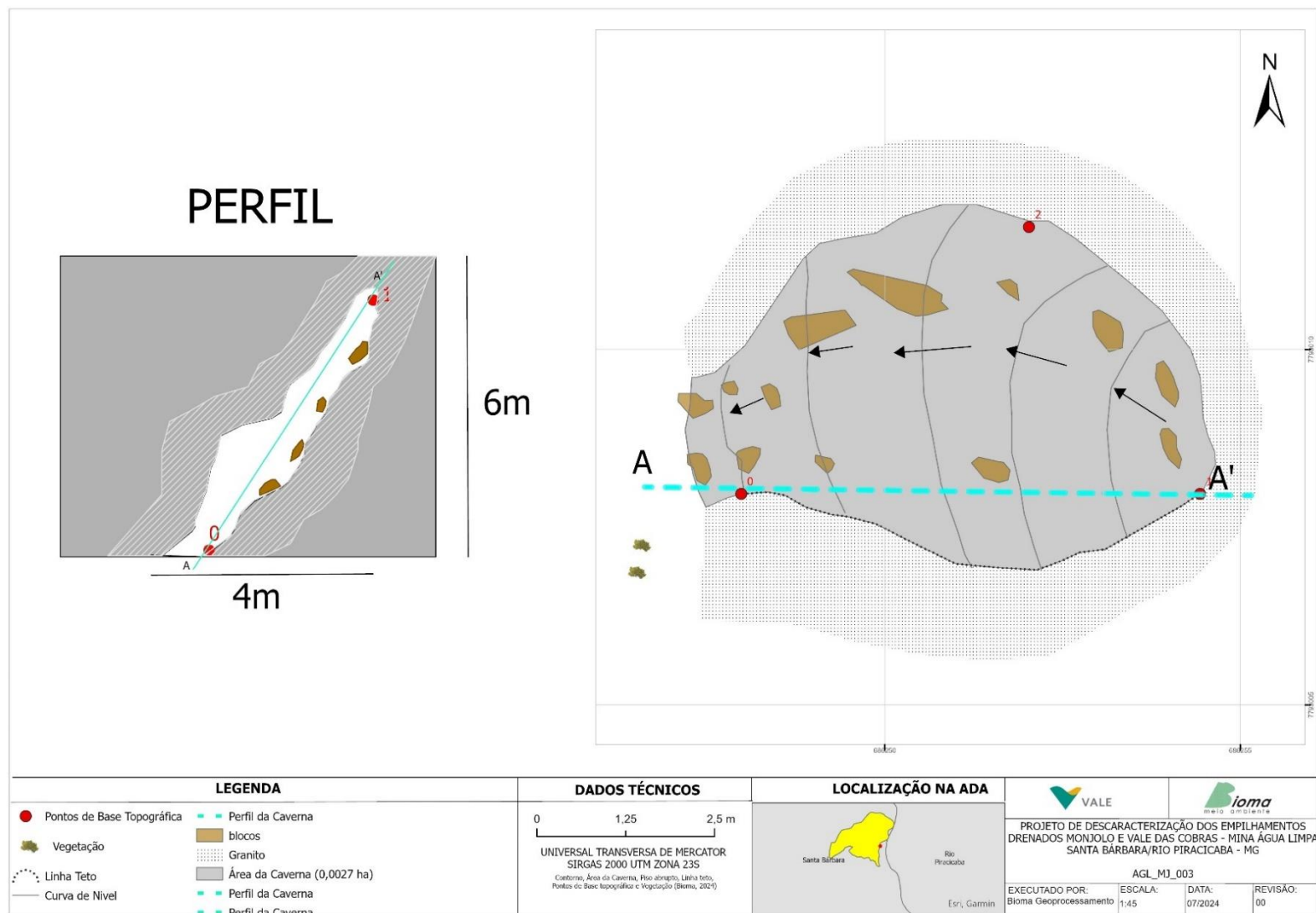
Situada na meia encosta do rochedo da Suíte Borrachudos, desenvolve-se em fenda de disjunção esferoidal (**Mapa 22**). Com projeção horizontal de 5,6 m, sem zona afótica, sem água, sem deposição química ou clástica concrecionada. Não foram observados exemplares biológicos na cavidade. Não há potencial paleo-arqueológico.



Foto 83. Vista da entrada da caverna, situada em uma fenda na rocha. Bioma, 2024.



Foto 84. Vista do interior da caverna, situada em uma fenda no granito. Bioma, 2024.



Mapa 22. AGL_MJ_003. Fonte: Bioma, 2024.

6.1.6.4. Considerações Finais Espeleologia

Considerando que as estruturas EDVC e EDM possuem interface com outros licenciamentos do Complexo Minerário de Água Limpa junto ao SISEMA, os estudos integrantes desses licenciamentos foram a fonte de pesquisa do Estudo de Critério Locacional da Espeleologia em tela.

As feições espeleológicas identificadas pela Bioma Meio Ambiente não foram avaliadas sob os critérios relacionados à bioespeleologia e, no que se refere a arqueologia, se encontra em desenvolvimento processo específico junto ao Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

Importante reafirmar que a ocupação na região da mina de Água Limpa é dominada por antropização há muito tempo imposta por atividades de mineração, tais como: os próprios empilhamentos drenados, canteiros de obras, cavas de mineração, pilhas de disposição de estéréis, vias de acesso com e sem pavimentação, escritórios, oficinas, estacionamentos e outros, como pode ser observado nas fotos dos pontos de controle. Pondera-se que as feições espeleológicas se mantêm intactas e atualmente sem antropização relevante.

O potencial de ocorrência de cavidades é definido, pela legislação, para a ADA + buffer de 250m, como sendo de muito alto/alto potencial somente na porção oeste do EDVC e baixo potencial de ocorrência nas demais áreas incluindo toda a AEE do EDM. Neste estudo consideramos toda a AEE do EDVC como sendo de alto potencial de ocorrência de cavidades em função do levantamento bibliográfico relativo à geologia e as observações de campo que detectaram quartzitos como rocha subjacente.

A região de baixo potencial de ocorrência de cavernas é coincidente e estão sob as rochas da Formação Cercadinho, das petrografias indivisas do Grupo Nova Lima e da Suíte Borrachudos. As rochas do Grupo Nova Lima e da Suíte Borrachudos são competentes frente à dissolução geoquímica. Entretanto, na Formação Cercadinho existem rochas passíveis de dissolução, mesmo que mais lentamente, que são os mármorees dolomíticos, rochas que possuem condições geoquímicas de desmonte erosivo, mas que não foram observadas em campo.

Nas prospecções realizadas pela equipe da Bioma Meio Ambiente não foi identificada nenhuma feição de típica de carste na região da AEE para as duas estruturas – EDVC e EDM.

A partir do exposto acima e segundo a metodologia de estudos e levantamentos expressos nesse documento, foram encontradas sete feições espeleológicas na área de estudo (ADA + buffer de 250m/entorno imediato), sendo três cavernas para o EDM e uma caverna e três reentrâncias para o EDVC (**Mapa 13 e Mapa 14**).

Na caverna AGL_VC_001 foram visualizados morcegos e na reentrância AGL_VC_003, foram fotografados diminutos morcegos em uma pequena fresta. Vale ressaltar que a AGL_VC_001 e a AGL_VC_003 estão dentro da ADA de EDVC, e, portanto, suscetíveis a impactos diretos.

A cavidade AGL_MJ_002 está no limite da ADA e poderá sofrer impactos diretos com a remobilização/acúmulo de sedimentos de rejeitos oriundos da atividade de descaracterização.

As feições consideradas cavidades: AGL_MJ_001 e AGL_MJ_003, não sofrerão impactos diretos advindos das atividades propostas para a Descaracterização do Empilhamento Drenado Monjolo.

O total dos caminhamentos prospectivos foi suficiente e atende à legislação (**Tabela 7** e **Tabela 8**), considerando que, para a estrutura do ED Monjolo, o potencial é de baixa ocorrência de cavidades e as áreas percorridas contemplam sobretudo a ADA e a proximidade desta.

As áreas que ficaram sem caminhamento estão em outra vertente e apresentam baixa probabilidade de ocorrência patrimonial em função da morfologia do relevo e da rocha subjacente.

Para a ED Vale das Cobras, o potencial de ocorrência de cavernas é muito alto/alto e foram percorridas todas as áreas necessárias à vistoria/prospecção.

Observamos, não obstante, que os caminhamentos resultaram em elevados valores, que advém da sobreposição dos mesmos e, neste sentido, o total de caminhamentos foi dividido por quatro.

6.1.7. Recursos Hídricos e Qualidade das Águas Superficiais

Com o objetivo de auxiliar no diagnóstico hídrico da área de estudo do meio físico, este item apresenta os tópicos referentes aos recursos hídricos superficiais da região, utilizando dados secundários para este fim.

6.1.7.1. Recursos Hídricos

Conforme classificação estabelecida pela Resolução nº32, de 15 de outubro de 2003 (MMA, 2003), o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional para fins do gerenciamento de recursos hídricos e implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Desta forma, o território nacional foi subdividido em doze (12) regiões hidrográficas, sendo a Área Diretamente Afetada inserida na região hidrográfica do Atlântico Sudeste. Essa região abrange uma superfície de aproximadamente 214.629 km², contemplando aproximadamente 2,5% do território nacional, subdivididos em cinco Unidades da Federação, sendo elas: Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná (ANA, 2015). Essa região hidrográfica é formada pelas bacias que desaguam no Atlântico, litoral sudeste brasileiro, limitada ao norte pela bacia hidrográfica do rio Doce, a oeste pelas regiões hidrográficas do São Francisco e do Paraná e ao sul pela bacia hidrográfica do rio Ribeira (MMA, 2003).

No contexto de planejamento e gestão dos recursos hídricos a bacia do rio Doce é dividida, no estado de Minas Gerais, em 6 Circunscrições Hidrográficas (CH) e a área de estudo em questão está inserida na CH do Rio Piracicaba, denominada DO2 (PIRH, 2023).

6.1.7.1.1. *Bacia hidrográfica do rio Doce*

O rio Doce nasce nas serras do Espinhaço e Mantiqueira e, após percorrer 850 km, deságua no oceano Atlântico, no estado do Espírito Santo. Seus principais afluentes são o rio Piracicaba, Santo Antônio, Corrente Grande, Suaçuí Grande, Suaçuí Pequeno, Caratinga, Manhuaçu, Guandu, Santa Maria do Doce e São José (PIRH Doce, 2010).

De acordo com o PIRH Doce (2010), a área total de drenagem da bacia do rio Doce é de 86.715 km², sendo 86% dessa área total inserida no estado de Minas Gerais e o restante no Espírito Santo (**Figura 31**).



Figura 31. Localização da bacia hidrográfica do rio Doce. Fonte: PIRH, 2010.

6.1.7.1.2. *Bacia do rio Piracicaba*

A bacia do rio Piracicaba, com área de 5.465,38 km², está localizada na porção oeste da bacia do rio Doce, sendo que o montante de sua área total representa 6,5% da área da bacia e cerca de 1% do território de Minas Gerais (CBH-PIRACICABA, 2013), englobando 20 municípios (total ou parcialmente). A forma da bacia é alongada e acompanha o sentido sudoeste-Nordeste do leito do rio Piracicaba (**Figura 32**).

A palavra Piracicaba, vem do tupi-guarani e significa "Lugar onde os peixes se juntam" e é uma referência às quedas do rio Piracicaba, que bloqueiam a piracema. Esta sub-bacia abriga o maior complexo siderúrgico da América latina, dentre empresas de outros seguimentos (ROCHA, 2021) e constitui um importante microcosmo do território de Minas Gerais (CRUZ; MOREIRA, 2022).

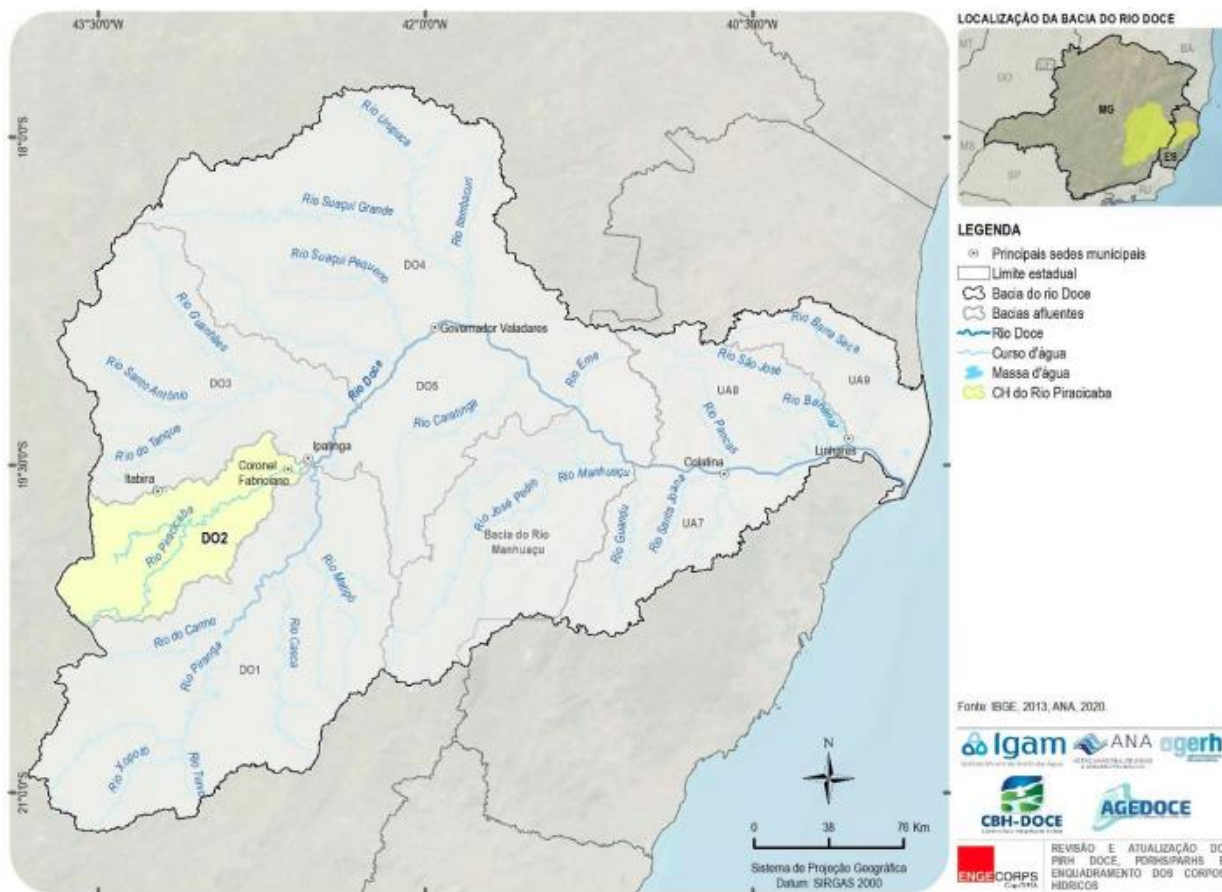


Figura 32. localização da DO2 na bacia hidrográfica do rio Piracicaba. Fonte: PIRH, 2023.

Os principais afluentes do rio Piracicaba são os rios Conceição, Una, Machado, Santa Bárbara, Prata, Peixe e Turvo, além de receber diversas contribuições de córregos e ribeirões em sua rede de drenagem (CBH-PIRACICABA, 2013).

Sua principal nascente se encontra no município de Ouro Preto, na serra do Conta História, mina de Alegria da Vale, e seu exultório se localiza no ponto de confluência com o rio Piranga, a partir do qual o curso d'água passa a ser denominado de Rio Doce. Esta confluência, dista cerca de 137 km da nascente (PIRH, 2023), destaca-se, também, pela proximidade ao Parque Estadual do Rio Doce e dos municípios de Ipatinga, Timóteo e Coronel Fabriciano.

No contexto da Área de Estudo, as principais drenagens que contribuem para o rio Piracicaba pela margem esquerda são os córregos Água Limpa e Pé de Serra, cujas nascentes se encontram posicionadas nos flancos das serras da Água Limpa, Morro Agudo e Morro do Elefante. O córrego Água Limpa drena a área do ED Monjolo, e contribui com o rio Maquiné, que por sua vez desagua no rio Piracicaba, enquanto o córrego Pé de Serra drena a área do ED Vale das Cobras, destacando-se a presença da barragem Diogo em seu médio curso e a sua foz no Rio Piracicaba. Pela margem direita, ainda considerando as principais drenagens da Área de Estudo, contribuem diretamente com o rio Piracicaba o córrego Fidalgo e Ribeirão Gomes de Mello (IDE Sisema, 2024).

6.1.7.2. *Uso da Água*

Os principais usos consuntivos (usos que realizam a captação e o consumo direto da água) na bacia do rio Piracicaba são os voltados para as atividades de indústria, mineração, abastecimento urbano e rural, termelétrica, irrigação e dessedentação animal.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997) institui instrumentos para garantir a disponibilidade hídrica em qualidade adequada a cada tipo de uso demandado pelos usuários, sendo um desses instrumentos a outorga de direito de uso da água. Conforme pesquisa realizada no IDE-Sisema, para diversos usuários e finalidades, existem 22 usos de água outorgados na delimitação da respectiva área de estudo e 35 usos dispensados de outorga, representados no **Quadro 7**.

Quadro 7. Usos de água outorgados na área de estudo, 2024.

Tipo de uso	Modo de uso	Finalidade de uso	Vazão (m³/h)	Regime (h/d)
Cadastro de uso insignificante	Construção de barramento ou açude	Outros	NA	NA
Cadastro de uso insignificante	Construção de barramento ou açude	Aquicultura – Tanque Escavado	NA	NA
Cadastro de uso insignificante	Exploração de água subterrânea	Outros	0,03 m³/h	8
Cadastro de uso insignificante	Construção de barramento ou açude	Aquicultura – Tanque Escavado	NA	NA
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Dessedentação Animal	0,4 l/s	10
Cadastro de uso insignificante	Exploração de água subterrânea	Consumo humano Dessedentação Animal Irrigação	4,3 m³/h	3
Cadastro de uso insignificante	Construção de barramento ou açude	Aquicultura – Tanque Escavado	NA	NA
Cadastro de uso insignificante	Construção de barramento ou açude	Serviços/Lazer e Turismo	NA	NA
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Serviços/Lazer e Turismo	1 l/s	12,66
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Aquicultura – Tanque Escavado Consumo humano	0,3 l/s	24
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Aquicultura – Tanque Escavado Dessedentação animal	1 l/s	5
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Dessedentação animal	0,5	24
Cadastro de uso insignificante	Construção de barramento ou açude	Aquicultura – Tanque Escavado Serviços/Lazer e Turismo	NA	NA
Cadastro de uso insignificante	Exploração de água subterrânea	Consumo humano Dessedentação animal	0,4 m³/h	8
Outorga	Retificação, canalização ou obras de drenagem	Outros	NA	NA
Cadastro de uso insignificante	Exploração de água subterrânea	Serviços/Lazer e Turismo	1 m³/h	8
Cadastro de uso insignificante	Construção de barramento ou açude	Aquicultura – Tanque Escavado Dessedentação animal	NA	NA
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Outros	0,3 l/s	8

Tipo de uso	Modo de uso	Finalidade de uso	Vazão (m³/h)	Regime (h/d)
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Outros	0,6 l/s	8
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Outros	1 l/s	24
Outorga	Construção de barramento ou açude	Outros	NA	NA
Outorga	Captação ou derivação em um corpo de água	Indústria	9 l/s	24
Outorga	Construção de barramento ou açude	Outros	NA	NA
Outorga	Exploração de água subterrânea	Consumo humano	4,53 m³/h	2
Outorga	Exploração de água subterrânea	Abastecimento Público Indústria Dessedentação Animal	68,4 m³/h	16
Outorga	Exploração de água subterrânea	Outros	3,2 m³/h	24
Outorga	Exploração de água subterrânea	Consumo humano	1,277 m³/h	18
Outorga	Construção de barramento ou açude	Indústria	NA	NA
Cadastro de uso insignificante	Exploração de água subterrânea	Dessedentação Animal	1 m³/h	14
Outorga	Captação ou derivação em um corpo de água	Outros	0,011 m³/s	2
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Outros	1 l/s	8
Cadastro de uso insignificante	Exploração de água subterrânea	Dessedentação Animal	0,54m³/h	12
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Outros	1 l/s	8
Outorga	Captação ou derivação em um corpo de água	Outros	4,1 l/s	24
Outorga	Retificação, canalização ou obras de drenagem	Outros	NA	NA
Outorga	Construção de barramento ou açude	Indústria	NA	NA
Outorga	Retificação, canalização ou obras de drenagem	Mineração	NA	NA
Outorga	Retificação, canalização ou obras de drenagem	Mineração	NA	NA
Outorga	Retificação, canalização ou obras de drenagem	Mineração	NA	NA
Outorga	Exploração de água subterrânea	Consumo humano Dessedentação animal	5 m³/h	10
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Irrigação	0,9 l/s	12
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Consumo humano Dessedentação animal Serviço/Lazer e Turismo	0,5 l/s	5,083
Cadastro de uso insignificante	Exploração de água subterrânea	Consumo humano Irrigação	1 m³/h	4
Outorga	Dragagem em corpo de água para fins de extração mineral	Mineração	NA	NA
Outorga	Captação ou derivação em um corpo de água	Indústria	30,6 l/s	24
Outorga	Construção de dique ou desvio em corpo de água	Mineração	NA	NA
Cadastro de uso insignificante	Exploração de água subterrânea	Dessedentação animal	0,5 m³/h	6
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Outros	1 l/s	24

Tipo de uso	Modo de uso	Finalidade de uso	Vazão (m³/h)	Regime (h/d)
Outorga	Construção de dique ou desvio em corpo de água	Outros	NA	NA
Outorga	Construção de dique ou desvio em corpo de água	Outros	NA	NA
Cadastro de uso insignificante	Exploração de água subterrânea	Consumo humano	0,07 m³/h	12
Cadastro de uso insignificante	Exploração de água subterrânea	Dessedentação animal	1 m³/h	14
Cadastro de uso insignificante	Exploração de água subterrânea	Consumo humano Dessedentação animal	0,1 m³/h	24
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Irrigação	1 l/s	6
Cadastro de uso insignificante	Exploração de água subterrânea	Consumo humano	0,4 m³/h	24
Cadastro de uso insignificante	Captação ou derivação em um corpo de água	Consumo humano Irrigação	0,5 l/s	24

Fonte: IDE SISEMA, 2024

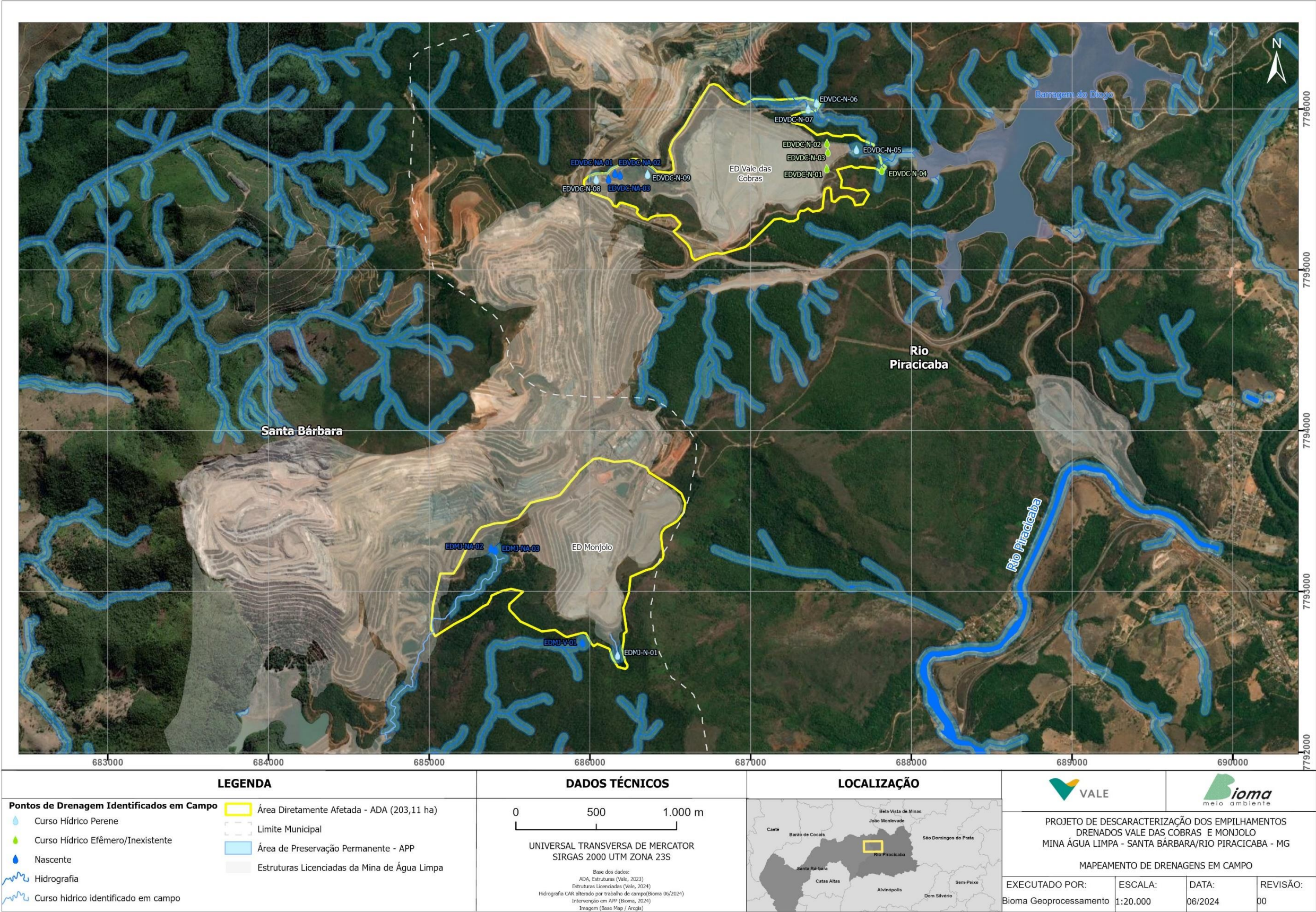
6.1.7.3. Enquadramento das Águas Superficiais

Além da outorga de direito de uso da água, um dos importantes instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997) é o enquadramento dos corpos de água em classes segundo seus usos preponderantes, visando garantir que a qualidade das águas seja compatível com o uso mais restritivo para o qual é destinado. A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o respectivo enquadramento.

A bacia do rio Piracicaba possui seu enquadramento definido pela Deliberação Normativa COPAM nº 09 de 19 de abril de 1994. Entretanto, os córregos das Cobras, Pé-de-Serra e Água Limpa não estão contemplados nesta deliberação normativa. Desse modo, conforme orientação da Resolução CONAMA nº 357/2005, é considerado seu enquadramento como classe 2, enquanto não aprovado o respectivo enquadramento.

6.1.7.4. Aspectos de Campo

Neste item são apresentados os aspectos aferidos *in loco*, concernente às drenagens existentes na ADA no ED Vale das Cobras e no ED Monjolo. O **Mapa 23** apresenta a localização dos pontos de monitoramento no contexto da Área de Estudo do Meio Físico.



Mapa 23. Localização dos pontos de monitoramento de água no contexto da Área de Estudo do Meio Físico, Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das cobras e Monjolo, 2024.

ED Vale das Cobras

O ponto EDVDC-N-01, representado pela **Foto 85**, localizado na porção sul do talude do ED Vale das Cobras, é totalmente antropizado e seco, sem a presença de talvegue. O ponto está englobado por uma via de acesso do talude e não possui drenagens nas adjacências.

Já o ponto EDVDC-N-02 (**Foto 86**), situado na porção norte do talude do ED Vale das Cobras, também se encontra em ambiente antropizado, sem presença de lâmina d'água ou talvegue, inserido em uma via de acesso do talude que não possui drenagens nas adjacências.

O ponto EDVDC-N-03, situado na porção central do talude do ED Vale das Cobras, localiza-se em ambiente antropizado, onde não se observa talvegue ou lâmina d'água (**Foto 87**).

Por fim, o ponto EDVDC-N-04, situado a jusante do ED Vale das Cobras, próximo às vias de acesso, também se encontra seco, conforme apresentado na **Foto 88**, sem presença de talvegue bem definido em meio a vegetação arbórea.



Foto 85. Ponto EDVDC-N-01. Bioma, 2024.



Foto 86. EDVDC-N-02. Bioma, 2024.



Foto 87. Ponto EDVDC-N-03. Bioma, 2024.



Foto 88. EDVDC-N-04. Bioma, 2024.

A jusante dos pontos EDVDC-N-01, EDVDC-N-02 e EDVDC-N-03 está localizado o ponto EDVDC-N-05, no pé da ED Vale das Cobras, que para ser alcançado utiliza-se um acesso com escada (**Foto 89**). No ponto EDVDC-N-05 há a presença de um curso hídrico que conta com um medidor de vazão (**Foto 90**). O ponto supracitado apresenta fluxo de água corrente, situado em meio a vegetação bem preservada, arbórea e herbácea (**Foto 91**). A drenagem do ponto EDVDC-N-05 tem como tributários de montante os cursos d'água EDVDC-N-06 e EDVDC-N-07, que serão apresentados posteriormente, enquanto sua foz é no córrego Pé-de-Serra, que está localizado mais a jusante.



Foto 89. Acessos – Ponto EDVDC-N-05.



Foto 90. Medidor de vazão (vertedor) – Ponto EDVDC-N-05.



Foto 91. Vegetação e condições de fluxo corrente – Ponto EDVDC-N-05.

O ponto denominado EDVDC-N-06, localizado no interior da ADA da ED Vale das Cobras, apresenta lâmina d'água (**Foto 92**), com condições de fluxo corrente e regime de escoamento perene. O talvegue é escavado e profundo, com alguns focos de erosão. A vegetação ao redor é arbórea.

Conforme a base de dados do GIS Mineral, fornecida pelo empreendedor, o ponto EDVDC-N-06 compõe o córrego Água Limpa (**Foto 93 e Foto 94**). Não foi possível identificar o ponto de nascente no local, devido à falta de acesso. O ponto EDVDC-N-06 conflui com o EDVDC-N-07, que será apresentado a seguir.



Foto 92. Ponto EDVDC-N-06 – talvegue e erosão.



Foto 93. Água corrente no talvegue – EDVDC-N-06.



Foto 94. Ponto EDVDC-N-06 – montante.

O ponto EDVDC-N-07, também situado na ADA da ED Vale das Cobras, apresenta lâmina d'água (**Foto 95**), com condições de fluxo corrente e regime de escoamento perene.

O talvegue é escavado e profundo, com alguns focos de erosão (**Foto 96**) e vegetação arbórea ao redor (**Foto 97**).

Assim como EDVDC-N-06, conforme a base de dados do GIS Mineral, o ponto EDVDC-N-07 são tributários do córrego Água Limpa, não tendo sido possível identificar o ponto de nascente, devido à falta de acesso.

O ponto EDVDC-N-06 e EDVDC-N-07 confluem e vão contribuir para o ponto EDVDC-N-05.



Foto 95. Ponto EDVDC-N-07 – lâmina d'água.



Foto 96. Ponto EDVDC-N-07 – talvegue e vegetação.



Foto 97. Confluência das drenagens dos pontos EDVDC-N-06 e EDVDC-N-07.

O ponto EDVDC-N-08 representa a canalização do córrego das Cobras onde, possivelmente, a drenagem se infiltra na via de acesso por meio de dispositivos hidráulicos e surge no ponto indicado na **Foto 98**.

Seguindo a jusante do ponto supracitado, existe um *sump* a montante da canalização, denominado "SUMP 16" (**Foto 99**). A drenagem segue no canal e deságua na barragem do Diogo. A vegetação ao redor é herbácea e arbórea, pouco preservada. O córrego das Cobras desagua na barragem Diogo, cujo efluente se destina ao rio Piracicaba, em sua margem esquerda.



Foto 98. Ponto EDVDC-N-08.



Foto 99. Ponto EDVDC-N-08 – SUMP 16, início da canalização.

O Ponto EDVDC-NA-09 é um corpo hídrico formado por água drenada do Empilhamento e a contribuição de três nascentes, localizados integralmente na ADA da ED Vale das Cobras: EDVDC-NA-01, EDVDC-NA-02 e EDVDC-NA-03 (**Foto 100**, **Foto 101** e **Foto 102**).



Foto 100. Nascente EDVDC-NA-01. Fonte: CLAM Meio Ambiente, 2022.



Foto 101. Nascente EDVDC-NA-02. Fonte: CLAM Meio Ambiente, 2022.

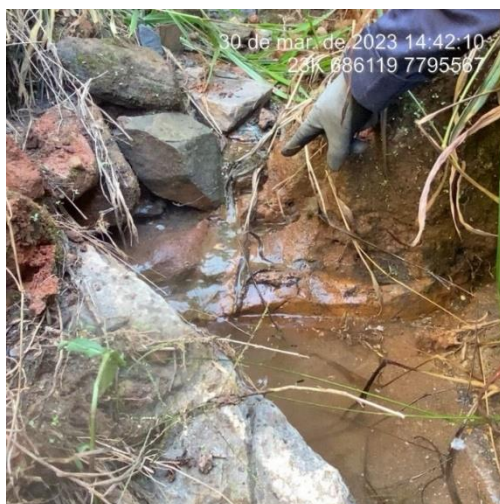


Foto 102. Nascente EDVDC-NA-03. Fonte: Bioma, 2023.

Em síntese, os pontos no ED Vale das Cobras avaliados em campo estão sintetizados no **Quadro 8**.

Quadro 8. Síntese dos pontos mapeados em campo (Sirgas 2000) no ED Vale das Cobras, 2024.

Ponto	Tipologia	X (°)	Y (°)
EDVDC-N-01	Curso Hídrico Inexistente/Efêmero	-43.208852	-19.92672
EDVDC-N-02	Curso Hídrico Inexistente/Efêmero	-43.208856	-19.925292
EDVDC-N-03	Curso Hídrico Inexistente/Efêmero	-43.208796	-19.925787
EDVDC-N-04	Curso Hídrico Inexistente/Efêmero	-43.205584	-19.92678
EDVDC-N-05	Curso Hídrico Perene	-43.207100	-19.925635
EDVDC-N-06	Curso Hídrico Perene	-43.209497	-19.923047
EDVDC-N-07	Curso Hídrico Perene	-43.209995	-19.923383
EDVDC-N-08	Curso Hídrico Perene	-43.222545	-19.92747
EDVDC-N-09	Curso Hídrico Perene	-43.219494	-19.927142
EDVDC-NA-01	Nascente	-43.221433	-19.927116
EDVDC-NA-02	Nascente	-43.221126	-19.927213
EDVDC-NA-03	Nascente	-43.221811	-19.927436

ED Monjolo

Na poligonal da ED Monjolo, foram identificados quatro (4) pontos de destaque para a temática dos recursos hídricos: o primeiro ponto foi denominado como D1, está situado na área do dreno de fundo do empilhamento drenado; a área do ponto EDMJ-N-01 é caracterizada pela presença de saída de água do dreno de fundo do empilhamento (**Foto 103**).

A água flui para um pequeno lago, logo a jusante da saída d'água, de onde é bombeada e lançada em um curso d'água imediatamente a jusante do talude onde se encontra o dique de partida da estrutura.

A vazão é medida por vertedor triangular e régua linimétrica, instalados ao longo do curso d'água (**Foto 104**). Por toda área, é possível identificar dispositivos de drenagem como uma manilha de concreto (**Foto 105**), enrocamentos e conformação do solo para disciplinar o direcionamento das águas. Apesar disso, observou-se que o solo próximo da manilha de concreto estava bem saturado e havia um pequeno escoamento de água por declividade da superfície, que não estava contido por nenhum sistema de drenagem (**Foto 106**).

O curso d'água segue para jusante da estrutura (**Foto 107**), em regime perene, lindeiro a taludes naturais e com largura menor que 10 (dez) metros, conforme constatação feita em campo pela equipe técnica. Por esse motivo, as margens desse curso d'água, a partir das vertentes naturais, são consideradas APP, conforme Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.



Foto 103. Ponto D1 - Dreno de fundo, 2024.



Foto 104. Bombeamento e medição de vazão, 2024.



Foto 105. Manilha de concreto, 2024.



Foto 106. Saturação e escoamento superficial, 2024.



Foto 107. Curso d'água, 2024.

O curso hídrico situado na porção sudeste da ADA, respectiva ao ED Monjolo, compreende uma espécie de lago que foi originado pela interrupção do fluxo de água causada pelo alteamento do empilhamento, o que pode ser confirmado por imagens de satélite antigas da área, além de observação em campo (**Foto 108**).

Foi verificado, pela diferença de coloração entre a vegetação morta, que estaria submersa, e a vegetação verde, o nível que água concentrada pelo lago pode alcançar em épocas de cheia (**Foto 109**).

Toda a área do lago possui réguas linimétricas para medição do seu nível de água. Observou-se o aspecto e a cor cinza do solo encontrado em suas margens e área adjacente, cujas características se assemelham ao material encontrado no empilhamento, o que sugere que o solo do fundo do lago também seja constituído por rejeito. A montante desse lago, é possível encontrar a calha do curso d'água que dá origem a ele (**Foto 110**).

Seguindo em direção sul pelo talvegue do curso d'água, foi encontrada a sua nascente (**Foto 111**), a aproximadamente 74 (setenta e quatro metros) de distância da margem do lago.

A nascente e o curso d'água possuem regimes perenes, com talvegue bem definido, largura inferior a 10 (dez) metros e surgência de água bem localizada, com umidificação do solo a montante, ainda que sem presença de fluxo de água (**Foto 112**). As áreas marginais da nascente e do curso d'água são consideradas APP, conforme Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.



Foto 108. Lago a montante da estrutura, 2024.



Foto 109. Detalhe de nível d'água, 2024.



Foto 110. Calha do curso d'água, 2024.



Foto 111. Nascente, 2024.



Foto 112. Área montante a nascente, 2024.

Na porção sul da ADA, foi identificado um ponto passível de verificação, a partir da análise temporal das imagens de satélite. Esse ponto foi denominado como EDMJ-V-01, sendo realizado um caminhamento no entorno da área para aferição da presença de APP. Neste ponto em específico, não foi possível determinar o local da nascente, conforme corroboram a Foto 113 e a Foto 114.



Foto 113. Ponto (EDMJ-V-01) – Vista da vertente.



Foto 114. Ponto (EDMJ-V-01) - Vegetação e solo seco.

Na porção sudoeste foram identificados, num raio de cerca de 12 metros, dois pontos de surgência denominados EDMJ-NA-02 e EDMJ-NA-03 que confluem no curso d'água apresentado na Foto 115 e na Foto 116.



Foto 115. Ponto EDMJ-NA-02 – Curso d'água e nascentes.



Foto 116. Ponto EDMJ-NA-02 - Detalhe do ponto de confluência com drenagem principal da micro bacia.

A nascente EDMJ-NA-02 está localizada a 813 metros de altitude a meia encosta, apresentando um volume de vazão pequeno e constante, com aspecto límpido e sem odor, formando um pequeno curso d'água bem definido, imediatamente após sua surgência, evidenciado na Foto 117 e na Foto 118.



Foto 117. Ponto EDMJ-NA-02 – Ponto de surgência.



Foto 118. Ponto EDMJ-NA-02 – Jusante nascente.

A nascente EDMJ-NA-03 está localizada a 813 metros de altitude, numa porção de encosta com baixa declividade, com vazão levemente difusa com um ponto de surgência mais significativo com volume pequeno e constante, aspecto límpido e sem odor (Foto 119 e Foto 120).



Foto 119. Ponto EDMJ-NA-03 – Ponto de surgência.



Foto 120. Ponto EDMJ-NA-03 – Surgência difusa.

De forma complementar, foi realizado o caminhamento a jusante das nascentes EDMJ-NA-02 e EDMJ-NA-03 ao longo da drenagem, conforme apresentado na **Foto 121** e na **Foto 122**.

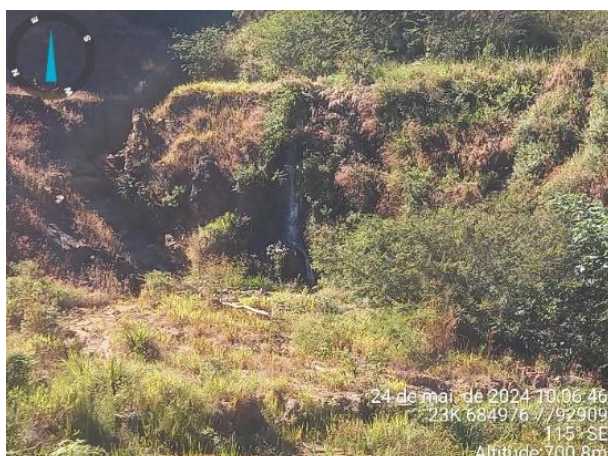


Foto 121. No centro a água vertendo a jusante do curso d'água.



Foto 122. Visão geral do vale que forma a micro bacia.

Em síntese, os pontos no ED Vale das Cobras avaliados em campo estão sintetizados no **Quadro 8**, conforme apresentados no **Quadro 9**.

Quadro 9. Síntese dos pontos mapeados em campo (Sirgas 2000) no ED Monjolo, 2024.

Ponto	Tipologia	X (°)	Y (°)
EDMJ-N-01	Curso Hídrico Perene	-43,220711	-19,954824
EDMJ-V-01	Nascente	-43,223397	-19,953635
EDMJ-NA-02	Nascente	-43,230283	-19,950727
EDMJ-NA-03	Nascente	-43,229226	-19,950068

6.1.7.5. *Qualidade das Águas Superficiais e Efluentes*

Com propósito de subsidiar o diagnóstico hídrico da qualidade das águas superficiais, foram utilizados dados do Resumo Executivo Anual, de autoria do IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. O IGAM realiza a análise das amostragens para avaliar o Índice de Qualidade das Águas – IQA, sendo esse índice determinante

para avaliação da qualidade das águas no contexto do abastecimento público. A **Figura 33** ilustra os valores de IQA, assim como o seu enquadramento.

Valor do IQA	Classes	Significado
$90 < IQA \leq 100$	Excelente	Águas apropriadas para tratamento convencional visando ao abastecimento público.
$70 < IQA \leq 90$	Bom	
$50 < IQA \leq 70$	Médio	
$25 < IQA \leq 50$	Ruim	Águas impróprias para tratamento convencional visando ao abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados.
$IQA \leq 25$	Muito Ruim	

Figura 33. Classificação do índice de IQA (Fonte: CETESB, 2008).

O IGAM possui estações de monitoramento distribuídas pelo território mineiro em locais estratégicos para a gestão dos recursos hídricos. Desta forma, a estação de monitoramento que apresenta maior proximidade quanto à intervenção é denominada RD025, inserida na poligonal da Área de Estudo do Meio físico. A estação está situada na bacia do rio Piracicaba, no município de Rio Piracicaba/MG. As informações da estação e os valores do IQA para os anos de 2020 e 2021 (**Tabela 10**) indicam que em ambos os anos o indicador é classificado como médio, apresentando resultados ligeiramente melhores em 2021.

Tabela 10. Valores do IQA para a estação de monitoramento de interesse.

Corpo d'água	Estação	Município	IQA em 2020	IQA em 2021
Rio Piracicaba	RD025	Rio Piracicaba	61	62,6

Fonte: IGAM, 2021.

De modo complementar, foi realizada a 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, Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022 e Resolução CONAMA nº 430/2011.

As informações obtidas têm como propósito subsidiar a análise do comportamento hídrico da qualidade da água superficial no contexto da área de estudo e das atividades pertinentes à descaracterização dos empilhamentos drenados Vale das Cobras e Monjolo.

6.1.7.5.1. Metodologia

A metodologia para elaboração do diagnóstico da qualidade das águas superficiais contempla a análise dos dados da matriz superficial da rede de monitoramento a partir de dados secundários, com dois pontos situados no entorno da área de estudo. Os dados representam seis campanhas de amostragem para o ponto, ALP-VAL-46, contemplando os meses de novembro e dezembro de 2023 e os meses de janeiro, maio, junho e julho de 2023, para representar o diagnóstico hídrico nas proximidades do Empilhamento Drenado Vale das Cobras. Já para a intervenção prevista no Empilhamento Drenado Monjolo, a análise do monitoramento hídrico contempla a realização de seis campanhas de amostragem para o ponto ALP-BAR-03. O período considerado

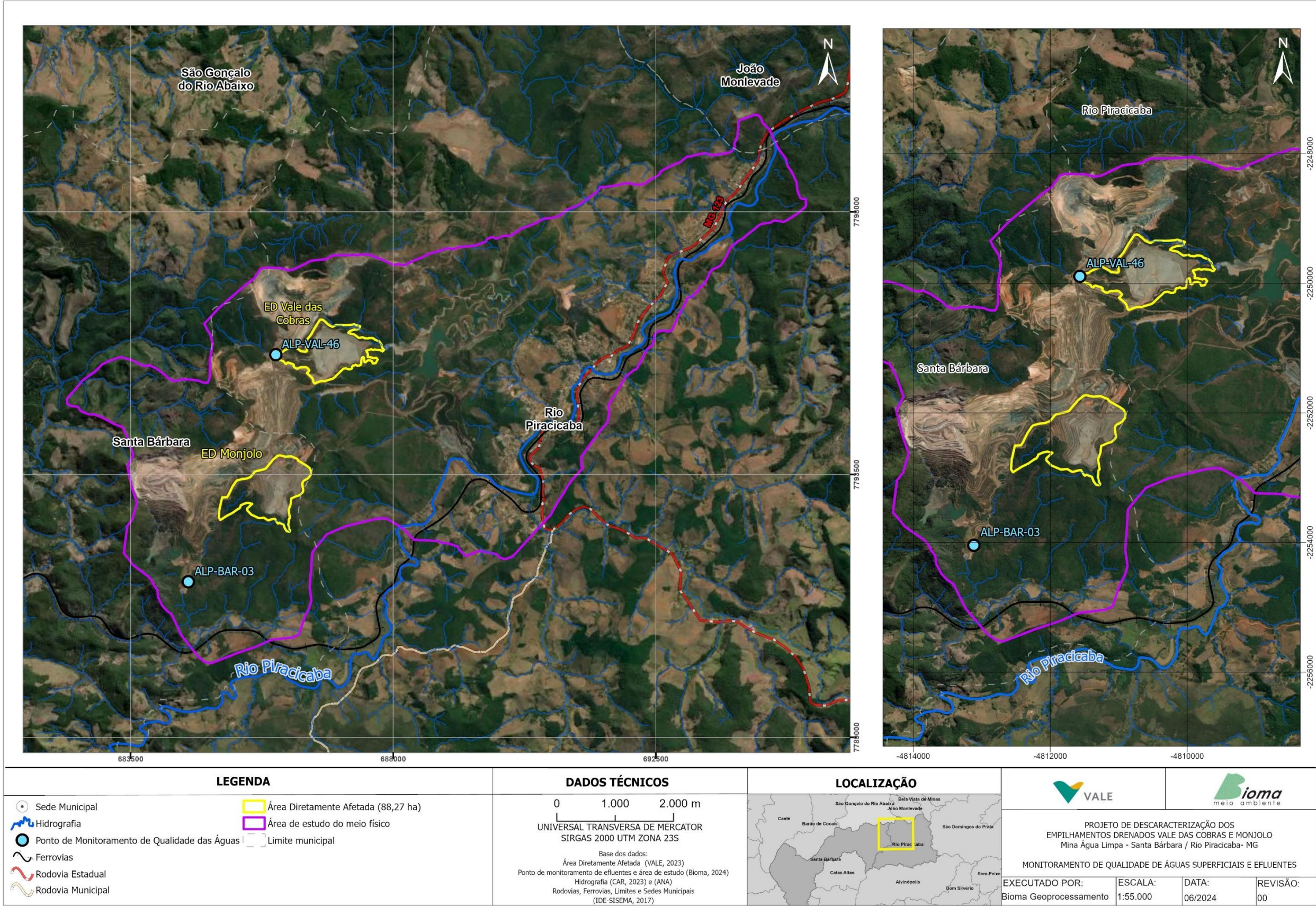
para o diagnóstico compreende os meses de novembro e dezembro de 2022 e os meses de janeiro, maio, junho e julho de 2023.

A escolha dos pontos de monitoramento teve como premissa a localização geográfica mais próxima da intervenção, a disponibilidade de dados e a representatividade quanto à intervenção. O ponto denominado ALP-VAL-46 está situado a montante das intervenções no córrego das Cobras. A justificativa para inserção desse ponto no diagnóstico se baseia na importância da avaliação das condições hídricas à montante da intervenção. O ponto denominado ALP-BAR-03 está inserido no trecho imediatamente a montante do córrego água Limpa no rio Maquiné, à jusante da intervenção, no córrego Água Limpa. O padrão de qualidade nestes pontos segue as disposições das Resolução CONAMA nº357/2005, Resolução CONAMA nº430 de 13 de maio de 2011 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº08/2022. A descrição da rede de monitoramento da qualidade de água superficial utilizada no diagnóstico está presente no **Quadro 10**.

Quadro 10. Descrição da rede de monitoramento da qualidade da água superficial, 2014.

Denominação do Ponto de Amostragem	Matriz	Parâmetros	Coordenadas		Enquadramento
			Latitude (N)	Longitude (E)	
ALP-VAL-46	Águas Superficiais	Condutividade elétrica, Cor Verdadeira, DBO, Fenóis, Ferro Dissolvido, Ferro Total, Fosfato, Manganês Dissolvido, Manganês Total, Nitrato (como N), Nitrito (como N), Nitrogênio Amônico, Óleos e Graxas, Oxigênio Dissolvido, pH, Sólidos Dissolvidos Totais, Sólidos Suspensos Totais, Temperatura Amostra e Turbidez	7.795.554	685.988	Classe 2
ALP-BAR-03	Efluentes	Cádmio total, chumbo total, cianeto dissolvido, cobre total, coliformes termotolerantes (quanti), coliformes totais (quanti), cor verdadeira, cromo hexavalente total, cromo total, cromo trivalente total, DBO, DQO, estreptococos fecais (quanti), fenóis, ferro dissolvido, ferro total, fosfato (como P) total, manganês dissolvido, manganês total, mercúrio total, OD (in situ), óleos e graxas minerais, óleos e graxas vegetais e animais, óleos e graxas visíveis, pH, sólidos sedimentáveis totais, sólidos suspensos totais, sólidos totais, surfactantes aniônicos (substâncias tensoativas), temperatura amostra, temperatura ar, turbidez (in situ) e zinco total.	7.791.665	684.490	Classe 2

O **Mapa 24** apresenta a localização dos pontos de monitoramento no contexto da Área de Estudo do Meio Físico.



Mapa 24. Localização dos pontos de monitoramento de água no contexto da Área de Estudo do Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo, Meio Físico, 2024.

6.1.7.5.2. Resultado e interpretação de dados

A **Tabela 11** apresenta os resultados obtidos do monitoramento de qualidade das águas superficiais para o ponto ALP-RIO-46.

Tabela 11. Resultados do monitoramento de qualidade de água superficial no ponto ALP-RIO-46, 2023.

Parâmetros	Unidade	RESOLUÇÃO CONAMA 357/05	COPAM- CERH/MG 08/22	ALP-RIO-46					
		Classe 2	Classe 2	Nov/22	Dez/22	Jan/23	Mai/23	Jun/23	Jul/23
Condutividade Elétrica	µS/cm	-	-	63,7	36,9	68,4	79,9	78,5	76,7
Cor Verdadeira	mgPt/L	75	75	11	5	15	5	5	5
DBO	mg/L	5	5	2	2	2	2	2	2
Fenóis		0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Ferro Dissolvido		0,3	0,3	0,096	0,071	0,05	0,05	0,05	0,05
Ferro Total		-	-	1,6	2,4	1,5	1,8	1,5	2,2
Fosfato		-	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Manganês Dissolvido		-	-	0,337	0,84	1,1	0,759	0,625	0,58
Manganês Total		0,1	0,1	0,343	0,939	1,2	0,826	0,683	0,647
Nitrato		10	10	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Nitrito		1	1	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
Nitrogênio Amoniacal		3,7, para pH≤7,5 2,0, para 7,5<pH≤8,0 1,0, para 8,0<pH≤8,5 0,5, para pH>8,5	3,7, para pH≤7,5 2,0, para 7,5<pH≤8,0 1,0, para 8,0<pH≤8,5 0,5, para pH>8,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,09	0,05
OD		>5	>5	6,51	6,81	7,26	6,88	7,7	7,9
Óleos e Graxas Visíveis		VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA
pH	mg/L	6-9	6-9	6,03	7,2	7,1	7,81	6,4	7,5
Sólidos Dissolvidos Totais		500	500	44	46	41	53	50	60
Sólidos Suspensos Totais		-	100	25	25	14	6	5	5
Temperatura Amostra	°C	-	-	21,3	21,18	25,2	20,8	20,4	18,2
Turbidez (in situ)	UNT	100	100	80	45	18,7	30,12	23,3	26,52

Fonte: Bioma, 2023.

Foram avaliados um total de 19 parâmetros, sendo constatado desconformidade de acordo com os limites estabelecidos apenas quanto a concentração de manganês total, de acordo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e DN COPAM nº 08/2022.

O manganês total apresentou desconformidade durante todo o período analisado, sendo os maiores valores encontrados nos meses de dezembro e janeiro que compreendem o período chuvoso. Desenvolve coloração negra na água e as coleções hídricas, neste período, encontram-se impróprias para o consumo humano de acordo com a Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde. As concentrações elevadas de manganês podem estar também correlacionadas com a geoquímica do substrato litológico desta região, com ocorrência em grande parte da bacia de rochas ricas neste elemento, como exemplo, os itabiritos, quartzitos, xistos e filitos ferruginosos e manganésíferos de unidades dos supergrupos existentes no entorno da Área de Estudo do meio físico.

A **Tabela 12** apresenta os resultados obtidos do monitoramento de qualidade de efluentes para o ponto ALP-BAR-03. Foram avaliados um total de 33 parâmetros, não sendo constatadas desconformidades com os limites estabelecidos pelas Resolução CONAMA nº 430/2011 e DN COPAM nº 08/2022.

Apesar de não contemplado pelas respectivas normas, o parâmetro indicativo da presença de coliformes termotolerantes apresentou valores elevados para os meses de dezembro de 2022 e junho de 2023. Este parâmetro corresponde a um subgrupo de bactérias do grupo coliformes que fermentam a lactose a $44,5 \pm 0,2$ °C em 24 horas, tendo como principal representante da *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal, estando sempre presente, em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros.

A presença dos demais grupos podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, como por exemplo, efluentes industriais, ou em material vegetal e solo em processo de decomposição (CETESB, 2020).

O parâmetro concernente aos coliformes totais, também apresentou valor elevado no mês de dezembro de 2022. Apesar de não serem estabelecidos limites pelas normas respectivas é um indicativo da degradação da qualidade das águas superficiais. O valor encontrado corresponde a 160.000 NMP/100 ml, todavia as chuvas características desse período possivelmente corroboraram para elevação desse parâmetro.

Tabela 12. Resultados do monitoramento de qualidade de efluentes no ponto ALP-BAR-03, 2024.

Parâmetros	Unidade	RESOLUÇÃO CONAMA 430/11	COPAM- CERH/MG 08/22	ALP-BAR-03					
		Classe 2	Classe 2	Nov/22	Dez/22	Jan/23	Mai/23	Jun/23	Jul/23
Cadmio Total	mg/L	0,1	0,1	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Chumbo Total		0,1	0,1	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cianeto Dissolvido				< 0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobre Total				< 0,0025	<0,0025	0,00336	<0,0025	0,00568	<0,0025
Coliformes Termotolerantes (quanti)	NMP/100mL			180	2200	180	45	330	110
Coliformes Totais (quanti)				180	160000	450	68	330	490
Cor Verdadeira	mgPt/L			< 5,0	<5	5,9	<5	6,9	<5
Cromo Hexavalente Total	mg/L	0,1	0,1	< 0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cromo Total		0,5		< 0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Trivalente Total		1	1	< 0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
DBO		60	60	8,01	6,58	7,05	8,35	6,56	5,83
DQO		180	180	31,0	22	22	28	20	22
Estreptococos fecais (quanti)	NMP/100mL			11	26	6	80	12	23
Fenóis	mg/L	0,5		< 0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Ferro Dissolvido		15	15	< 0,050	0,069	<0,050	0,086	0,081	<0,050
Ferro Total				0,343	0,236	0,369	0,542	0,785	0,578
Fosfato (como P) Total				< 0,30	<0,3	<1,5	<0,3	<0,3	<0,3
Manganês Dissolvido		1	1	0,182	0,584	0,56	0,254	0,232	0,464

Parâmetros	Unidade	RESOLUÇÃO CONAMA 430/11	COPAM- CERH/MG 08/22	ALP-BAR-03					
		Classe 2	Classe 2	Nov/22	Dez/22	Jan/23	Mai/23	Jun/23	Jul/23
Manganês Total				0,257	0,698	0,659	0,269	0,322	0,518
Mercurio Total		0,01	0,01	< 0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
OD (in situ)				5,78	7,8	6,91	6,02	6,03	6,97
Óleos e Graxas Minerais		20	20	< 5,0	<5	<5	<5	<5	<5
Óleos e Graxas Vegetais e Animais		50	50	< 5,0	<5	5	<5	<5	<5
Óleos e Graxas Visíveis				Virtualmente ausentes	Virtualmente ausentes	Virtualmente ausentes	Virtualmente ausentes	Virtualmente ausentes	Virtualmente ausentes
pH		5-9	5-9	6,26	7,68	7,91	7,06	6,82	7,68
Sólidos Sedimentáveis Totais	mL/L	1	1	< 0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sólidos Suspensos Totais		100	100	25	7	23	11	5	5
Sólidos Totais	mg/L			144	119	118	87	93	95
Surfactantes Aniônicos (Substancias Tensoativas)		2	2	< 0,045	<0,045	<0,045	0,247	0,226	<0,045
Temperatura Amostra	°C	40	40	23,10	21,5	24,5	24,6	23,1	23,8
Temperatura Ar				25,40	22,2	26,6	30,4	25	24
Turbidez (in situ)	UNT			45,00	22	35,52	6,3	15	17,63
Zinco Total	mg/L	5	5	< 0,0050	0,0282	0,0079	<0,0050	0,043	0,0419

Fonte: Bioma, 2024.

6.1.8. Recursos Hídricos e Qualidade das Águas Subterrâneas

6.1.8.1. *Uso das águas*

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.

O potencial e a disponibilidade hídrica subterrânea são avaliados a partir da capacidade de produção dos poços expressos em vazão específica e a capacidade de armazenamento calculada com o estudo do regime de recessão ou de esgotamento do escoamento superficial. A partir dos poços analisados por PARH 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 34**).

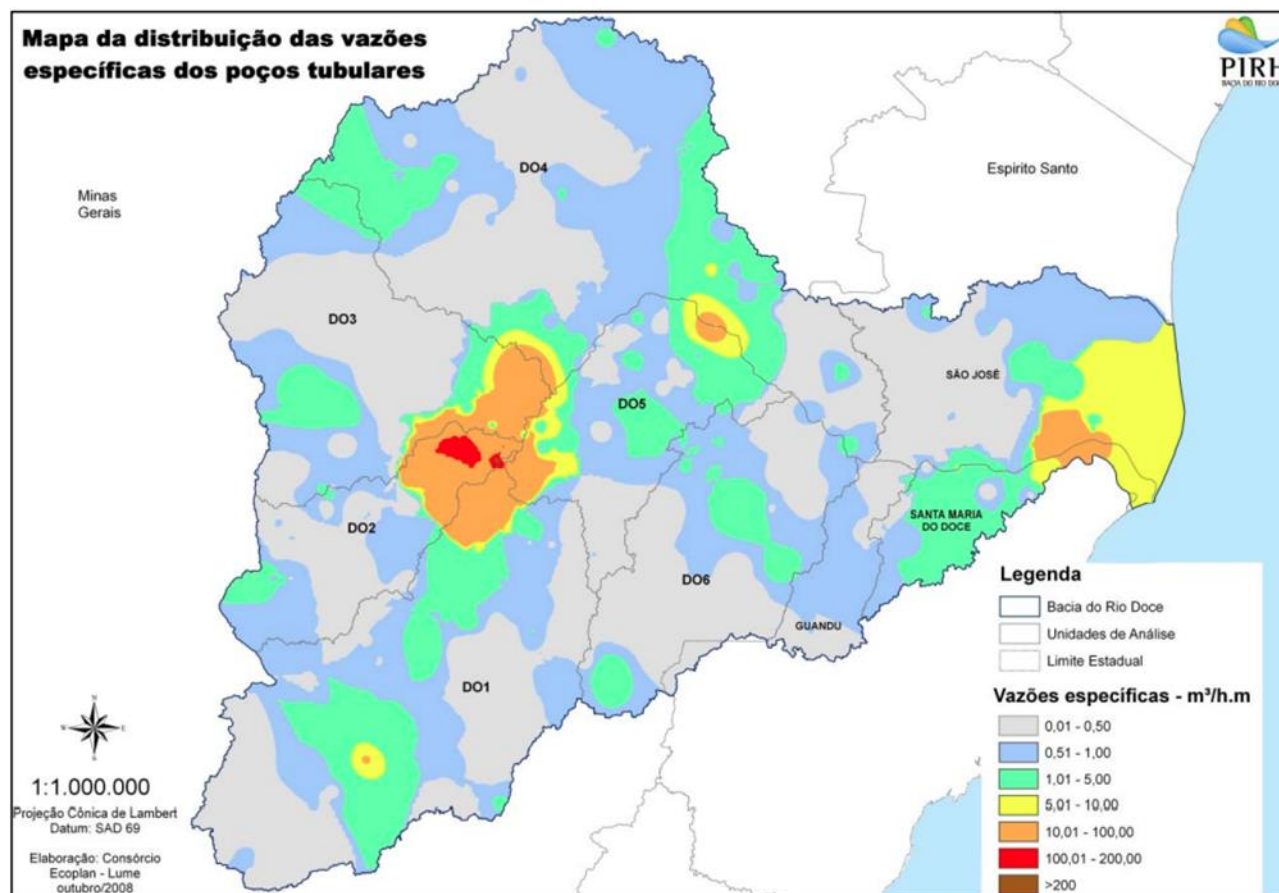


Figura 34. Distribuição das vazões específicas dos poços inventariados da bacia do rio Piracicaba. Adaptado de: PARH RIO PIRACICABA, 2010.

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; e, irrigação. No total, utilizaram-se as informações de 1.171 captações de águas subterrâneas no meio rural e na **Tabela 13** disponibiliza-se o número de captações por 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 13**).

Tabela 13. Número e tipos de captações por localidade na bacia do rio Piracicaba.

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
Itabira	36	29	138
Jaguaraçu	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

Fonte: PARH RIO PIRACICABA, 2010.

6.1.8.2. Contexto Hidrogeológico

As unidades hidrogeológicas das Áreas Diretamente Afetadas (ADAs) estão representadas em três sistemas baseados nos litotipos predominantes das sequências geológicas, sendo eles: o Aquífero Xistoso, com as rochas do Grupo Nova Lima Indiviso; o Aquífero Quartzítico Cercadinho, representado pelos quartzitos da Formação Cercadinho; e o Aquífero Granito-gnáissico, formado pelas rochas intrusivas da Suíte Borrachudos (**Mapa 25**).

Sistema Aquífero Xistoso

Compreendem rochas do Grupo Nova Lima Indiviso e formam aquíferos fissurais descontínuos, livres a confinados por metapelitos e xistos de menor permeabilidade, tendo seu condicionamento hidráulico por fraturas, diaclases, juntas e falhas. O nível de água para esses aquíferos é geralmente raso com mediana de

12,7 metros de profundidade, relacionado à ocupação de baixos topográficos adjacentes a maiores elevações do relevo. A recarga ocorre por pluviosidade em horizontes silto-arenosos conectados ao fraturamento de camadas quartzosas, podendo ter contribuição das drenagens e dos aquíferos de topo. A descarga ocorre por nascentes pontuais ou difusas com vazões de mediana correspondente a $1,1 \text{ m}^3/\text{h}$, com valor máximo de aproximadamente $150,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (BEATO *et al.*, 2005).

Sistema Aquífero Quartzítico Cercadinho

Esse aquífero encontra-se entre as rochas metassedimentares químicas do Grupo Itabira na base, limitado por discordância erosiva, e entre os corpos intrusivos sobrepostos aos quartzitos, de forma que, localmente podem estar recobertos por camadas regolíticas e sedimentos alúvio-colvionares, 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 alúvio-colvionares 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 alúvio-colvionares, apresentando valores de vazão entre 10 e $50 \text{ m}^3/\text{h}$ (BEATO *et al.*, 2005).

Sistema Aquífero Granito-Gnáissico

São litotipos que possuem espesso manto de alteração, com gnaisses e granitos da Suíte Borrachudos. Podem ser recobertos por colúvios de canga de espessuras diversas. São aquíferos livres a semiconfinados por camadas superficiais, heterogêneos, anisotrópicos e o seu regime de fluxo é condicionado por tectonismo. A piezometria para estes aquíferos ocorre em profundidades rasas com mediana de 4,23 metros, relacionados aos declives suaves em baixos topográficos. A recarga se dá a partir da infiltração pluviométrica sobre os mantos regolíticos argilo-arenosos conectados à rocha por fraturas. A infiltração se intensifica por contribuição de aportes de águas superficiais, elevada precipitação, baixo declive e vegetação arbórea. A descarga se dá pela presença de nascentes pontuais ou difusas, com mediana de vazões na ordem de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, podendo atingir até $8,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (BEATO *et al.*, 2005).

6.1.8.2.1. Condições e Parâmetros de Fluxo

A partir da avaliação hidrogeológica e geração de dados de modelagem hidrogeológica da região das cavas de Morro Agudo e Espigão do Pico, elaborados pela Watergeo (2020), foi realizado uma correlação com as proposições levantadas com a ADA da ED Vale das Cobras, tendo em vista que, o estudo supracitado incorpora em algumas análises dados referentes a região da ADA e adjacências, tornando os dados locais pertinentes e aplicáveis para aproximação com esse estudo. Aplica-se então a relação das condições e comportamentos das

sequências geológicas agrupadas nos sistemas aquíferos, além de, proposições acerca dos parâmetros hidráulicos, condições de fluxo, propriedades hidrodinâmicas e quantitativo de recarga para unidades em granito-gnaisses, quartzitos e xistos.

Segundo o autor supracitado, os tipos de aquíferos correlacionados às litologias da ADA são definidos como aquíferos porosos representando as cangas e solos que sobrepõem as sequências geológicas, os aquíferos fissurais com quartzitos e granito-gnaisses e, por fim, os xistos, que localmente na região da mina de Água Limpa se manifestam como unidades confinantes de aquíferos e/ou aquíclides (**Quadro 11**). Tem-se ainda as unidades mais produtivas representadas por itabiritos e hematitas, entretanto, essas litologias não ocorrem no contexto da ADA, sendo dispensada o aprofundamento e descrição do referido sistema aquífero associado.

Quadro 11. Unidades hidrogeológicas.

Unidade Hidrogeológica	Tipo de Aquífero	Litologia Predominante
Aquíferos porosos recentes	Poroso	Canga e solo
Aquíferos quartzíticos	Fissural	Quartzitos e quartzitos ferruginosos
Aquíferos em rochas granito-gnáissicas	Fissural	Gnaisses
Unidades confinantes	Não se aplica (aquitados e/ou aquíclides)	Xistos

Fonte: WATERGEO, 2020.

Tendo em vista que as rochas quartzíticas e xistosas ocorrem como encaixantes das formações ferríferas, que os granito-gnaisses tem o seu comportamento prioritariamente associado às descontinuidades, que as coberturas/manto de intemperismo terem o seu papel fortemente associado à recarga dos aquíferos subjacentes e que os maiores índices de fluxo subterrâneo estão associados aos itabiritos e hematitas, o fluxo geral da mina de Água Limpa é preferencialmente condicionado pelas formações ferríferas. Embora de insignificante condutividade hidráulica, as unidades confinantes apresentam grande importância no condicionamento do fluxo das águas subterrâneas.

Dessa forma, as intercalações faciológicas com características hidrogeológicas distintas no domínio do Aquífero Cauê gera anisotropia, causando direção predominante de água de NW para SE na região da mina de Água Limpa acompanhando as estruturas geológicas regionais, tendo em vista que, representa o panorama geral do complexo minerário e torna sua análise aplicável ao contexto da ADA (**Figura 35**).

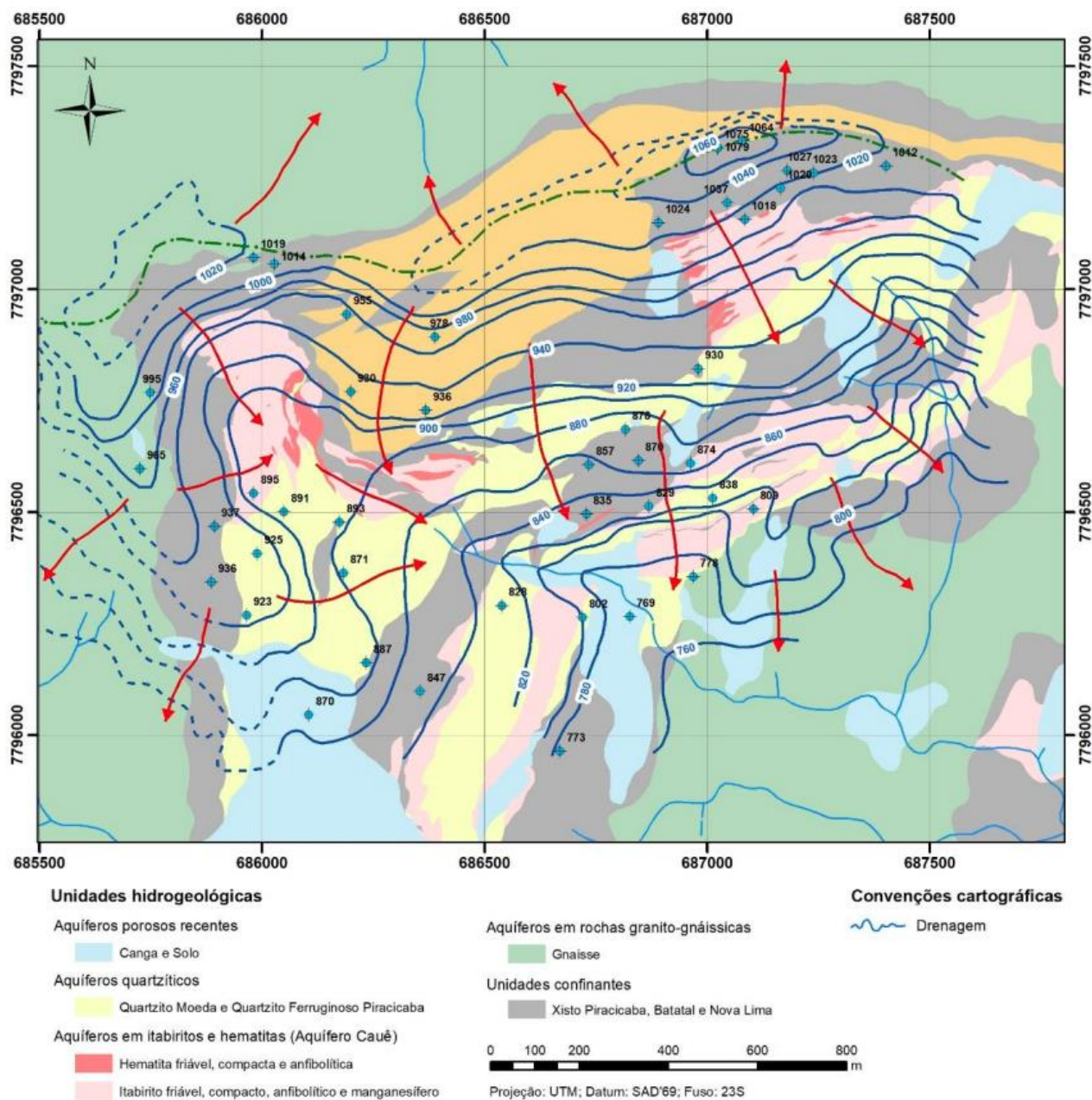


Figura 35. Mapa hidrogeológico da área das cavas Morro Agudo e Espigão. (Fonte: WATERGEO, 2020).

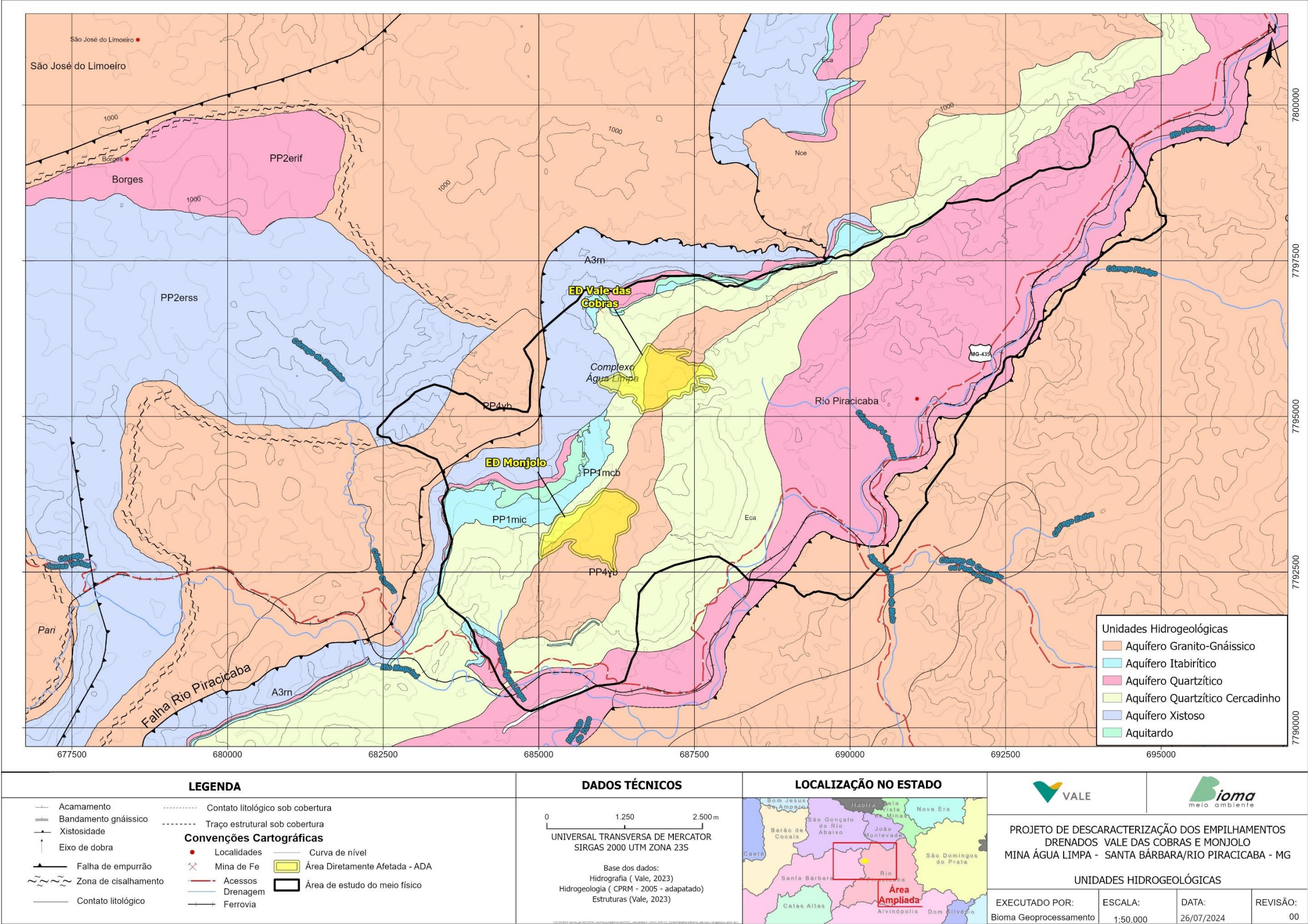
Foram adotados, ainda, pela WATERGEO (2020) informações acerca da taxa de recarga para os litotipos locais, de forma que, aquíferos posicionados em gnaisses e quartzitos apresentam individualmente uma taxa de 15% da recarga pela a pluviosidade anual. Os xistos, atuando como unidades confinantes, entretanto com capacidade de armazenar água, apresenta taxa de 12% de recarga pela pluviosidade.

Após a calibração do modelo do autor supracitado, foram obtidos valores de condutividade hidráulica para cada litofácia, contendo variedades de gnaisses, xistos, quartzitos, coberturas, itabiritos e hematitas, veios de quartzo e brechas. Dentre as informações pertinentes relativas a ADA, exclui-se desta análise as litofácies associadas à formação ferrífera, brechas e veios de quartzo, tendo em vista que, o mapeamento local realizado pela DF+ (2023) não demonstra a aparição das referidas unidades geológicas (**Tabela 14**).

Tabela 14. Valores de condutividade hidráulica (K) obtidos.

DESCRIÇÃO	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (m/dia)		
	Kx	Ky	Kz
Xisto compacto	0,003	0,003	0,001
Canga	1	1	1
Quartzito friável	0,03	0,03	0,03
Gnaiss compacto	0,001	0,001	0,001
Gnaiss friável	0,01	0,01	0,005
Xisto friável	0,001	0,001	0,001
Quartzito compacto	0,001	0,001	0,001
Solo e aterro	1	1	1

Fonte: WATERGEO, 2020.



Mapa 25. Unidades hidrogeológicas da área de estudo. Fonte: Bioma, 2024.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. Portal HidroWeb. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 19 set. 2023.
- AMARAL et al. Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 97p. 2004.
- ANM. (Agência Nacional de Mineração) Resolução ANM nº.: 95, de 7 de fevereiro de 2022. Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração. Brasília: 7 fev. 2022.
- ANM. Agência Nacional de Mineração. SIGBM - Sistema de Gestão de Segurança de Barragem de Mineração: Pesquisar Barragem. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acessado em 08 nov. 2023.
- 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.
- 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%8DVEL-SONORO-EM-%C3%81REA-HABITADAS.pdf>. Acesso em: 12 out. 2023.
- ATIVO AMBIENTAL. Prospecção Espeleológica – Mina de Água Limpa. Projeto Morro Agudo. Santa Barbara e Rio Piracicaba. Março de 2017.
- BARBOSA A. L. M. Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero. Ouro Preto, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. 68p.; 1968.
- BEATO, D. A. C.; MONSORES, A. L. M.; BERTACHINNI, A. C. Projeto APA Sul RMBH: hidrogeologia, mapa hidrogeológico, escala 1:50.000 em 3 partes. Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.
- BRASIL. 2017. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 02 de 30 de agosto de 2017. Institui a metodologia de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas.
- BRASIL. 2022. Decreto Lei nº. 10.935, de 12 de janeiro de 2022. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional.
- BRASIL. Decreto Federal nº.: 6.640/2008, regulamenta, define, dá ações e outras providências ao Decreto Federal 99.556/1990 e ao patrimônio espeleológico brasileiro. 2008.
- BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Brasília: 30 set. 2020.
- CECAV/CANIE. (Centro de Pesquisa, Conservação e Manejo de Cavernas/Cadastro Nacional das Informações Espeleológicas). <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cecav/cadastro-nacional-de-informacoes-espeleologicas/canie>. Acesso: 1/2/2023. 2024.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Apêndice E: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf> Acesso em: 05 set. de 2023.
- CONSELHO ESTADUAL DE DE POLÍTICA AMBIENTAL- COPAM. Deliberação Normativa COPAM nº248, de 23 de novembro de 2023. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar para o Estado de Minas Gerais e dá outras providências.. Diário do Executivo. Belo Horizonte, 23 nov. 2023. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=58282>. Acesso em: 04 de jan. de 2024.

- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução CONAMA nº 347, de 10 de setembro de 2004. Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 13 set. de 2004.
- 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: 13 jun. 2023.
- COPAM. (Conselho Estadual de Política Ambiental) Deliberação Normativa nº.: 217, de 6 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Diário do Executivo de Minas Gerais, 8 dez. 2017.
- CORREIA NEVES J. M., DILASCIO M. V., FERNANDES M. L. S., MARCIANO V. R. P. R., OLIVIERA R. C., 1994. Granitos Borrachudos: um exemplo de granitogênese anorogênica na porção central do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte. Geonomos, 2, 2: 23-29.
- CPRM. (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais). Geologia do Quadrilátero Ferrífero. 2005.
- DF+. (DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos Ltda.). Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo S-4312. Especificação Técnica. Nº Vale ET-1191MM-X-00008. 2023a.
- DF+. (DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos Ltda.). Projeto de Descaracterização dos Empilhamentos Drenados Vale das Cobras e Monjolo S-4312. Relatório Técnico. Nº Vale RL-1191MM-X-00011. 2023b.
- DF+, 2023. Projeto Básico, PDR (Pilha de Disposição de Rejeitos) Vale das Cobras – Empilhamento Drenado Vale das Cobras. Projeto de Descaracterização - Relatório Técnico (RL-1191MM-X-00011).
- DNPM/MME. (Departamento Nacional de Produção Mineral/Ministério de Minas e Energia) Carta Planialtimétrica, folha Rio Piracicaba - SE.23-W-IV-4-SO. Escala 1:25.000. 1962.
- 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 05 set. 2023.
- ENDO I., *et al.* Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000. Ouro Preto, Departamento de Geologia, Escola de Minas – UFOP – Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero: www.qfe2050.ufop.br. 2019.
- ENDO I. Projeto Morro Agudo – MOA – Complexo Água Limpa. Ouro Preto. Setembro de 2018. 16p.
- FARINA, F. *et al.* The Archeane-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Brasil: current models and open questions. Journal of South American Earth Sciences, v. 68, p. 4-21, 2016.
- FERNANDES, M. L. S.; MARCIANO, V. R. P. R. O.; OLIVEIRA, R. C.; NEVES, J. M. C.; DILÁSCIO, M. V. 1994. Granito Borrachudos: Um Exemplo de Granitogênese Anorogênica na Porção Central do Estado de Minas Gerais. Geonomos, v. 2 (2), 23-29.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. Plano de energia e mudanças climáticas de Minas Gerais: resumo executivo. Belo Horizonte: FEAM, 2015. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/T8a10n47WuWW9IIFuxojZRFpfqjarTQ4.pdf>. Acesso em 17 jul. 2023.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. Índice Mineiro de Vulnerabilidade Climática. Belo Horizonte: FEAM, 2015. Disponível em: <https://clima-gerais.meioambiente.mg.gov.br/vulnerabilidade-territorial>. Acesso em 12 out. 2023.

- IBGE/BDiA. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Banco de Dados de Informações Ambientais). <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geologia/23382-banco-de-informacoes-ambientais.html>. Último acesso: 2/2/2024.
- IBGE - EMBRAPA - Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/15829-solos.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 19 Jan. 2024.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Banco de Dados Meteorológicos. Brasília, 2022. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 19 set. 2023.
- IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.
- JANSEN D. C. et al. Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil, na escala 1:2.500.000. Revista Brasileira De Espeleologia – Rbesp/ Vol. 2. Nº 1. 42-57p. 2012.
- MARTÍNEZ DOPICO, C.I., LANA, C., MOREIRA, H.S., CASSINO, L.F., ALKMIM, F.F. U-Pb ages and Hf-Isotope data of detrital zircons from the late neoproterozoic Minas basin, SE Brazil. Precambrian Research 291. 2017.
- 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.
- MINAS GERAIS. Lei nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019. Institui a política estadual de segurança de barragens. Belo Horizonte, MG: Diário do Executivo de Minas Gerais, 25 fev. 2019a.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº.: 2/2017, constitui padrões normativos para a classificação da relevância das cavidades naturais e do patrimônio espeleológico nacional. 2017.
- OLIVEIRA, O. A. B.; OLIVITO, J. P. R.; RODRIGUES-SILVA, D. Caracterização da Unidade Espeleológica e das Unidades Geomorfológicas da Região do Quadrilátero Ferrífero – MG. Espeleotema. v.22, n.1. 2011. p. 61-80. SBE - Campinas, SP, 2011.
- 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: 22 dez. 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.
- SANTOS, H. G., ZARONI, M.J, Almeida, E. P. C. Cambissolos Háplicos. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/cambissolos/cambissolos-haplicos>. Acesso em: 19 Jan. 2024.
- SCHOBENHAUS, Carlos., *et al.* (2002). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos – (SIGEP). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. DNPM, 2002. 554 p.
- SEMAD (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável). 2022. Termos de referência para enquadramento locacional. <http://www.meioambiente.mg.gov.br/component/content/article/13-informativo/3504-termos-de-referencia-para-os-criterios-locacionais-de-enquadramento>. Acesso em 22/11/2023.
- SEMAD. Secretaria de Estados de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. Instrução de Serviço nº.: 8/2017, estabelece diretrizes para os estudos de prospecção e classificação de cavidades.

http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2018/PADRONIZA%C3%87%C3%83O_PROCEDIMENTOS/IS_08-2017_-_Cavidades_-_Revis%C3%A3o_1_-_05-10-2018.pdf. Acesso em 23/11/2023.

SETE SOLUÇÕES E TECNOLOGIA AMBIENTAL. Estudo de Impacto Ambiental – EIA - Projeto de Expansão da Cava Morro Agudo e da PDE Nova Cururu e Ampliação da Tancagem do Posto da Mina de Água Limpa - Municípios de Rio Piracicaba e Santa Bárbara/MG. Abril de 2021- pg.350-359.

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: 19 Jan. 2024.

SPELAYON CONSULTORIA. Análise de Relevância de Cavidades Naturais Subterrâneas: Caracterização Espeleológica. Projeto de Expansão Mina Morro Agudo. Volume 1. 2020.

SPELAYON CONSULTORIA. Análise de Relevância de Cavidades Naturais Subterrâneas: Classificação da Relevância. Projeto de Expansão Mina Morro Agudo. Volume 4. 2020.

SUPRAM-MG. Instrução de Serviço (IS) SEMAD nº.: 3/2014. Instrução dos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos considerados efetivo ou potencialmente poluidores ou degradadores de cavidades naturais subterrâneas. 2014

SUPRAM-MG. Instrução de Serviço (IS) SEMAD nº.: 8/2017. Procedimentos para análise dos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos e de atividades efetiva ou potencialmente causadoras de impactos sobre cavidades naturais subterrâneas. 2017

TRICART J. (1961) O modelado do Quadrilátero Ferrífero Sul de Belo Horizonte, *Annales de Geographie* 70(379): 255–272.

UHLEIN A.; NOCE C.M. Quadrilátero Ferrífero. In: Hasui Y., Carneiro C.D.R., Almeida F.F.M., Bartorelli A. (eds). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca. 2012.

VARAJÃO C. A. C. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*. 21(2):138-145. 1991.

WINGE, Manfredo. *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: CPRM, 2013. 332 p. , v. 3.

WINGE, Manfredo., *et al.* *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. CPRM, 2009. v. 2, 516 p. 2009.

WATERGEO, 2020. Análise Hidrogeológica – Expansão das Cavas Morro Agudo e Espigão. Relatório Técnico. Vale/ Watergeo Solutions. Belo Horizonte.